

Monitoring de la performance d'un bâtiment résidentiel durable à ossature double en bois

RAPPORT



Technologie de la mécanique du bâtiment



Le génie du confort et de l'énergie



**Mesurage de la performance d'un bâtiment résidentiel durable
à ossature double en bois**

Louis Dion, Technologie de l'électronique

Isabelle Vézina, Technologie de la mécanique du bâtiment

Cégep de Rimouski

Rapport de projet

version finale

Remerciements

Ce projet a été possible grâce à l'investissement financier majeur de la Société d'habitation du Québec. Développement Économique Canada et le Cégep de Rimouski y ont aussi contribué financièrement.

Merci au département de Technologie de l'architecture pour sa collaboration et un merci tout particulier à Julie Lessard du SEREX pour ses précieux conseils et ses encouragements.

De plus, la contribution d'élèves, des techniciens de laboratoire et d'enseignants de nos deux programmes, qui ont mis la main à la pâte, a été des plus appréciée.

Les Jardins de Métis ont généreusement accepté que nous utilisions leur maison comme banc d'essai, ce n'est pas rien. Finalement, merci à tous les artisans qui ont permis à ce bâtiment de voir le jour de nous avoir intégrés dans cette réalisation régionale et de nous avoir soutenus durant la réalisation de notre projet.

Table des matières

INTRODUCTION.....	4
DESCRIPTION DE LA MAISON ERE132.....	6
1 - Élaboration du système de monitoring.....	9
2 - Emplacement des sondes.....	22
3 - Sélection des sondes.....	28
4 - Installation des équipements de monitoring.....	37
5 - Acquisition et partage de données.....	45
5.1 Système d'acquisition automatisée.....	45
5.2 Disponibilité des données.....	48
6 - Validation des différents points d'acquisition de données.....	50
7 - Résultats du projet et planification du suivi.....	51
BIBLIOGRAPHIE.....	53
ANNEXE 1 – Distribution du plancher radiant.....	55
ANNEXE 2 – Composition des murs.....	57
ANNEXE 3 – Position des sondes.....	58
ANNEXE 4 – Liste des interventions.....	66
ANNEXE 5 – Groupes de mesures.....	67
ANNEXE 6 – Environnement visuel pour l'affichage des données.....	69

INTRODUCTION

Le projet de maison écologique est né de la volonté d'avoir un projet rassembleur dans le Bas-Saint-Laurent, qui, par son Créneau en Écoconstruction, désire éduquer et sensibiliser tous les intervenants reliés au marché de la construction ainsi que le grand public, aux meilleures pratiques en matière d'habitation performante. Le Bas-Saint-Laurent veut aussi consolider ses expertises régionales et prouver qu'il est possible de construire des habitations résidentielles avec une sélection de matériaux locaux à faible impact environnemental où le rapport coût-bénéfice est exceptionnel et très concurrentiel. Autrement dit, que les exceptions d'aujourd'hui deviennent le commun de demain. C'est pour cette raison qu'a été entrepris le projet de la Maison écologique du Bas-Saint-Laurent, maintenant nommé ERE 132, une habitation conçue par une équipe multidisciplinaire qui regroupe 78 organisations, dont 53 partenaires bâtisseurs essentiellement issus du milieu industriel du Bas-Saint-Laurent, et qui est érigée sur les terrains des Jardins de Métis.

C'est dans ce contexte que le Cégep de Rimouski et ses partenaires ont voulu employer leur expertise pour développer un ensemble d'outils précis et abordables de monitoring qui permettra d'approfondir les connaissances des différents intervenants de la construction et de valider les performances des choix effectués lors de la conception de la Maison ERE 132. Le projet consiste à planifier, installer et rendre fonctionnel les outils de monitoring afin que leurs données soient valables, pertinentes et cohérentes. Ces outils permettront de mesurer les données nécessaires pour évaluer le potentiel de la récupération du refroidissement nocturne, l'énergie emmagasinée dans la dalle de plancher due au solaire passif, la performance de l'enveloppe à double ossature, le comportement des matériaux régionaux à faible émission de COV et le respect des conditions de confort.

La première étape du projet consistait à faire une revue des systèmes de monitoring de bâtiments existants. Puisque le temps prévu n'a pas été suffisant, il n'y a pas eu assez d'informations pertinentes repérées pour justifier d'y consacrer une partie du rapport. Nous avons tout de même retenu, que pour rendre des données interprétables, elles doivent provenir d'un système de monitoring permettant des comparaisons. Les projets réunissant les conditions de comparaison étant très difficiles à obtenir, ils sont souvent l'apanage de groupes de recherche bien établis¹ qui peuvent monter des projets de monitoring faits sur des maisons jumelles dans lesquelles les conditions

¹ *Conseil national de recherches Canada (CNRC) à Ottawa et Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) à Shawinigan*

intérieures sont rigoureusement contrôlées. Les gens consultés lors de cette familiarisation sont unanimes dans leurs recommandations : il faut partir avec des hypothèses, des méthodes d'analyse et des résultats attendus clairement définis.

Tout au long de la réalisation du projet de monitoring, nous avons donc gardé en tête ces recommandations. Toutefois, certains paramètres ont été mesurés en considérant d'autres facettes, soit :

- le projet comporte un aspect pédagogique tout aussi important que son aspect de recherche appliquée;
- les résultats du monitoring seront disponibles pour quiconque en fera la demande;
- il n'y a aucun bâtiment monitoré à l'est de Québec (à notre connaissance);
- la vocation du bâtiment est, en même temps, un banc d'essai de monitoring, un centre d'interprétation de la maison écologique modèle du Bas-Saint-Laurent et une maison pouvant être habitée.

Toutes ces facettes ont donc mené au projet présenté dans ce rapport.

DESCRIPTION DE LA MAISON ERE132

Maison unifamiliale de 2 étages de volume simple et compact, sans sous-sol, de 1862 pi carré (173 m carré) de surface de plancher totale chauffée. Elle compte onze pièces, dont six au rez-de-chaussée — voir sur le dessin 2 : hall d'entrée (1), cuisine (2), salle à manger (3), salle de séjour (4), chambre (5), salle d'eau (6) —, et cinq à l'étage — voir sur le dessin 3 : aire d'interprétation (7), deux chambres (8-9), salle mécanique (10) et la salle de bain (11). La surface fenestrée de la Maison écologique est de 72 % au sud, 4 % à l'ouest, 10 % au nord et 14 % à l'est. Des pare-soleils sont installés sur la façade sud afin de limiter l'apport solaire interne en été, tout en le favorisant en hiver.



Dessin 1: Élévation sud



Rez-de-chaussée

Dessin 2: Identification des pièces du rez-de-chaussée



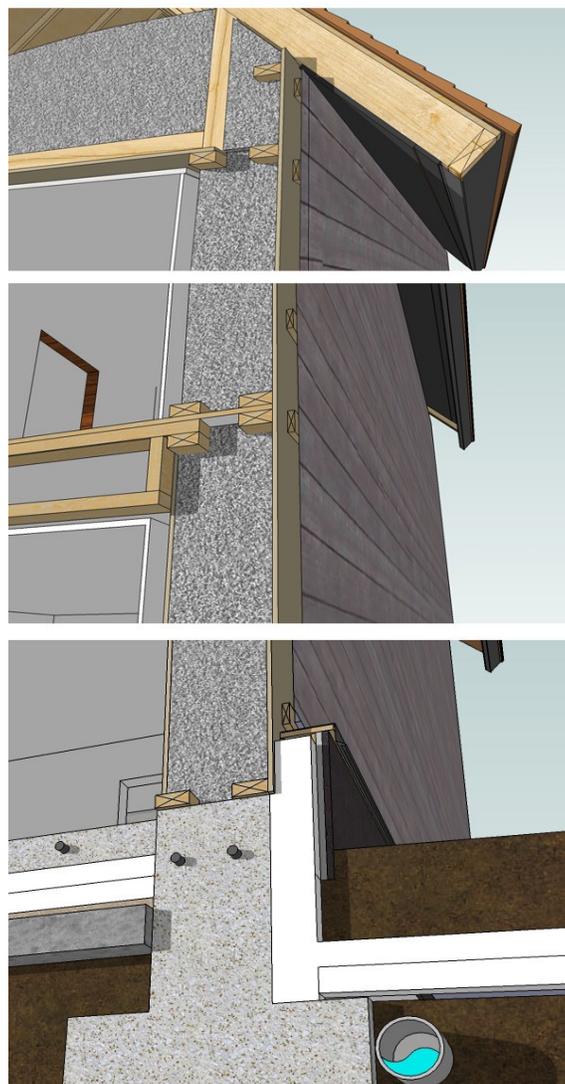
Étage

Dessin 3: Identification des pièces de l'étage

La maison est alimentée par la municipalité en eau potable, est reliée au réseau de transport d'électricité et est munie d'un système autonome de traitement des eaux usées de type Écoflo. Elle est chauffée par un plancher radiant hydronique avec fournaise électrique au rez-de-chaussée et par des plinthes électriques (dont deux radiant) à l'étage. Un ventilateur récupérateur de chaleur (VRC)

est présent pour assurer une ventilation adéquate. Un récupérateur de chaleur des eaux grises (PowerPipe) est aussi installé, de même qu'une colonne de radon. Les équipements de plomberie sont standards, mais avec des robinetteries à faible débit d'eau, et les appareils électroménagers sont tous approuvés EnergyStar, à l'exception de la cuisinière. Aucun système particulier d'énergie renouvelable² n'a été inclus. Par contre, les branchements au chauffe-eau sont prêts pour installer un éventuel système de panneaux solaires hydroniques.

La double ossature en bois remplie de cellulose permet d'atteindre un niveau d'isolation supérieur à R-48, tout en réduisant au minimum les ponts thermiques. La technique d'installation par injection à haute intensité favorise une répartition égale de l'isolant dans les murs, sans affaissement avec le temps, et les ouvertures sont scellées après la pose. Spécifiquement, les murs se composent comme suit : revêtement extérieur en bois, fourrure de bois, pare-air, carton-fibre enduit Éco, colombage 2x4 FSC, 285 mm d'isolant de cellulose injectée, colombage, pare-vapeur, fourrure de bois ou contreventement, fourrure de bois double, gypse et lambris de bois à certains endroits. Le toit, avec ses 610 mm d'isolant de cellulose en vrac, atteint R-79. Finalement, sous le plancher de béton, on retrouve, sur la pleine surface, deux épaisseurs de polystyrène expansé haute densité de 64 mm pour un niveau d'isolation de R-22. Les fenêtres à haute efficacité de la Maison ERE 132 se caractérisent par un thermos triple, un emplacement des LOW-E selon l'orientation nord-sud ou est-ouest, un cadre en bois recouvert d'aluminium, une teinture à faible émission de COV et des détails d'insertion selon Passive House³. L'objectif étant, par toutes ces mesures mises en place, d'obtenir une étanchéité exemplaire.



Dessin 2: Coupe type des murs

² Tels que panneaux solaires photovoltaïques, panneaux solaires thermiques, éoliennes, géothermie...

³ Programme volontaire international de standards de construction de maisons écologiques.

À l'extérieur, on retrouve un parement en aluminium – récupéré à 99 % – embossé plié fini ardoise sur le toit. Puis, un parement de bois (épinette traitée avec une teinture opaque) en clin rainuré jumelé sur les murs avec, à certains endroits, un parement d'ardoise et un parement de bardeau de cèdre « pureau⁴ ». Les galeries sont faites de bois en pontage de mélèze strié avec un couronnement métallique. Notons aussi les gouttières en bois de cèdre, avec descentes pluviales sur chaîne aboutissant dans des bassins de captation d'eau de pluie, mises en place pour l'arrosage extérieur.

À l'intérieur, les murs de l'étage sont recouverts de plaques de plâtre peintes afin de répondre aux exigences de résistance au feu applicables au bâtiment. Autrement, plus de 50 % des murs de la Maison ERE 132 sont recouverts de lambris de bois de tremble blanchi ou de tremble torréfié. Soulignons, tout particulièrement, une poutre de bois lamellé-collé et deux poteaux qui supportent les poutrelles ajourées du plancher de l'étage. Au sol, on retrouve un plancher de béton écologique — dont de la cendre volante qui remplace 30 % du ciment Portland. Le béton est poli (fini diamant) et comporte des sections à motif estampé avec insertion de verre recyclé et de verre saupoudré. À l'étage, le revêtement est en bois franc (érable). L'ameublement intégré de la cuisine et des salles de bain est composé de plusieurs matériaux, mais toujours sans COV, où le bois est privilégié – surtout en surface, tel que le dessus de l'îlot en érable lamellé collé.

4 Partie non recouverte d'une tuile.

1 - Élaboration du système de monitoring

Les choix de conception de la Maison ERE 132 faisant l'objet de cette étude ont été regroupés en six grands thèmes qui sous-tendent les hypothèses et les questionnements à valider :

Thème 1 : Refroidissement nocturne

Thème 2 : Solaire passif

Thème 3 : Performance de l'enveloppe

Thème 4 : Confort

Thème 5 : Consommation énergétique

Thème 6 : Dalle sur sol

Afin de bien cibler les différents éléments et propriétés à mesurer pour arriver aux fins souhaitées, ils sont présentés sous forme de fiche où l'on retrouve :

Thème

Choix des concepteurs

Le ou les choix de l'équipe de concepteurs.

Hypothèses et questionnements

Les hypothèses à vérifier et les questions à répondre.

Explication des concepts

Les explications de certains concepts ou définitions inhérents au thème.

Outils de validation

Les éléments à considérer pour valider ou invalider les hypothèses.
Les résultats attendus ou les valeurs clés disponibles dans la nomenclature.

Mesures requises

Les mesures requises pour atteindre les cibles.

Discussion

Une discussion sur les composantes du thème.

Thème 1 – Refroidissement nocturne

Choix des concepteurs

Hypothèses et questionnements

Omettre la climatisation mécanique

1. Considérant l'emplacement géographique de la maison, que le refroidissement nocturne sera suffisant pour rendre l'environnement confortable durant toute la journée.
2. Peut-on abaisser suffisamment la température des masses thermiques (dalle de béton) la nuit pour bénéficier de cette « fraîcheur » le jour ?

Explication des concepts

Refroidissement nocturne : Abaissement de la température de l'air intérieur et des masses thermiques (ex. plancher de béton) grâce à l'air extérieur plus frais pendant la nuit. Cela permet au bâtiment d'évacuer toute la chaleur excédentaire accumulée durant la journée.

Besoin en climatisation : La valeur permettant de prévoir la quantité de climatisation à installer est celle des degrés-jour (DJ) basés sur les températures au-dessus de 18,3°C⁵. Ainsi, selon les données de la station météorologique de Pointe-au-Père, on retrouve 11 DJ de climatisation en été et 68 DJ à Mont-Joli (stations les plus proches de Métis-sur-Mer), en comparaison des 296 DJ de la station du centre-ville de Montréal, endroit au Québec ayant le plus grand besoin de climatisation.

Outils de validation

Mesures requises

1 : Mesurer les variations de température (extérieure, ambiante et dalle) et d'humidité relative (extérieure et ambiante) en fonction de l'heure de la journée.

Temp. ambiante
Temp. extérieure
Temp. intérieure de la dalle
Hum. relative ambiante
Hum. relative extérieure

2 : Mesurer la fluctuation de l'énergie de la dalle de béton en fonction de l'heure de la journée.

Temp. intérieure de la dalle

$$Q = m \cdot c_s \cdot \Delta T \quad \text{où} \quad m = \text{masse du béton}$$

c_s = chaleur spécifique du béton

ΔT = différentiel de température du béton

3 : Mesurer la quantité d'énergie extraite durant la nuit par l'échangeur de chaleur versus la quantité d'énergie entrant durant le jour.

Temp. « in/out » air entrant
Temp. « in/out » air sortant
Hum. « in/out » air entrant
Hum. « in/out » air sortant
Débit air entrant et sortant

$$Q = m \cdot \Delta h \quad \text{où} \quad m = \text{débit massique de l'air}$$

h = enthalpie de l'air

Discussion

Les principaux facteurs qui influencent les besoins de climatisation sont la température et l'humidité extérieures, le vent, les éléments d'ombrage, le nombre d'occupants, leurs activités, les ouvertures des portes et fenêtres, puis les arrêts/départs du VRC. Tous ces paramètres ne peuvent faire l'objet d'une acquisition de données, mais seront très certainement des facteurs à ne pas négliger dans l'analyse des résultats.

Les besoins en climatisation sont prévus comme étant si petits qu'ils n'ont même pas été considérés dans la simulation énergétique du logiciel HERS (Home Energy Rating System). Les données recueillies permettront de confirmer si cette omission était justifiée.

Sachant que la température de confort intérieur d'été est de 24-25 °C⁶, il sera possible de valider, à partir du graphique des températures, que la température intérieure réussit à se maintenir en tout temps (ou peut-être pas) sous les conditions de confort estivales grâce au refroidissement nocturne.

Pendant les périodes où le refroidissement nocturne par l'échangeur d'air sera significatif, il faudra s'assurer que les fenêtres restent fermées, et ce, même s'il est recommandé de fermer les VRC l'été et de privilégier l'ouverture des fenêtres (diminution du coût d'électricité (moteur VRC)). Ne pouvant pas déterminer les moments et durées d'ouverture et de fermeture des fenêtres (aléatoire, selon employés, etc.), le choix de faire fonctionner le VRC permettra de mieux interpréter les résultats. Et, afin de rendre ces données plus pertinentes, elles pourront être accompagnées d'un sondage sur la satisfaction de confort des gens présents.

Thème 2 – Solaire passif

Choix des concepteurs

Installer un plancher radiant hydronique au rez-de-chaussée

Hypothèses et questionnements

1. Que ce type d'installation permette de profiter du chauffage solaire passif en hiver.
2. L'énergie solaire absorbée par le fluide caloporteur du système de chauffage passant dans la zone d'ensoleillement pourrait-elle être transférée aux zones non ensoleillées? Dans quelle mesure?
3. Peut-on quantifier l'énergie alors économisée?
4. Une installation standard de plancher radiant permet-elle d'atteindre cet objectif?

Explication des concepts

Solaire passif : Capacité de profiter de l'énergie du soleil sans l'utilisation de moyen mécanique. Ici, la quantité et le type de fenestration (fenêtres au sud sélectionnées pour faire entrer le plus possible les rayons du soleil – les rayons solaires d'été étant bloqués autrement).

Plancher radiant du projet : La première page de l'annexe 1 présente la vue en plan de la distribution de la tuyauterie du plancher radiant. Deux zones ont été prévues. La première, au sud, qui comprend le salon, la salle à manger et la cuisine. La deuxième, au nord, qui comprend la chambre, la salle de bain et l'entrée. Une zone est représentée par un thermostat; celui de la zone sud est situé près de l'escalier et celui de la zone nord est situé dans la chambre. Afin de limiter les pertes de charge dans la tuyauterie – donc limiter la grosseur des tuyauteries et la puissance du circulateur – chaque zone est divisée en circuits; il y a donc trois circuits au sud et deux au nord.

Sur la deuxième page de l'annexe 1, on retrouve le schéma d'installation de ce système tel qu'il a été construit. Il a été installé selon les règles de l'art, sans tenir compte du potentiel de récupération de chaleur par la zone sud.

Il faut aussi savoir que le fluide est chauffé par la chaudière électrique jusqu'à une température de 40,6 °C (105 °F) et que le fluide revient à cette même chaudière, après avoir dégagée sa chaleur dans le béton, à 5,6 °C (10 °F) de moins (en théorie). La température de la surface du plancher sera alors plus basse et sera entre 26,7 °C et 32,2 °C (80 et 90 °F) – dépendamment des endroits et des moments. Ces températures sont établies pour que l'humain y soit confortable tant au niveau des pieds que du corps, et pour être sécuritaire pour sa santé.

Fluide caloporteur : Fluide permettant de transporter de l'énergie (chaleur), habituellement de l'eau ou du glycol. Dans le projet actuel, l'eau est utilisée.

Outils de validation

Mesures requises

1 : Mesurer la quantité d'énergie absorbée par le fluide caloporteur.

Temp. in/out circuits
Débit par circuit
Ensoleillement

Pour y arriver, il faut que les conditions suivantes soient obtenues :

- que le thermostat sud ne soit pas en demande;
- que le thermostat nord soit en demande;
- qu'il y ait du soleil.

$$Q = m \cdot c_s \cdot \Delta T \quad \text{où} \quad m = \text{débit massique du fluide}$$

c_s = chaleur spécifique du fluide

ΔT = différentiel de température du fluide

2 : Mesurer la fluctuation de températures (béton et fluide) en fonction de l'ensoleillement.

Temp. intérieure de la dalle
Temp. in/out circuits
Ensoleillement

Considérer les demandes aux thermostats : les thermostats sont prévus pour être entièrement indépendants du système d'acquisition de données. Par contre, une demande au thermostat signifie impérativement une circulation du fluide. Donc, s'il y a un débit, il y a une demande au thermostat.

Discussion

Il est difficile de prévoir la portion d'ensoleillement qui atteindra réellement le plancher de béton. De plus, il ne faut pas sous-estimer les obstacles intérieurs (table, chaises, etc.) qui peuvent nuire considérablement au potentiel de transmission de la chaleur solaire.

Les résultats attendus sont difficilement comparables avec des données déjà existantes, la nomenclature actuelle se faisant avare de ces données. Les différentes données recueillies permettront donc de porter un regard sur ce potentiel de récupération d'énergie.

Il est aussi important de noter que le système, tel qu'il a été installé, ne permettra pas vraiment de profiter de la récupération de chaleur, s'il y en a, par le système de plancher radiant. Il est tout de même fort probable que l'eau perdra moins de chaleur, donc que le système sera moins sollicité. Les choix de branchement de tuyaux et de contrôle électrique ne permettent pas la récupération. Il faudrait penser à un système avec réservoir de stockage, ce qui n'est pas le cas dans le présent projet. Si le potentiel de récupération de chaleur s'avère intéressant, il sera très pertinent de développer un système de plancher radiant permettant d'utiliser le plein potentiel de cette énergie.

Thème 3 – Performance de l'enveloppe

Choix des concepteurs

Enveloppe très performante, constituée d'une double ossature en bois :

- mur R-48
- toit R-79
- ponts thermiques minimisés
- étanchéité maximale
- matériaux régionaux et durables

Hypothèses et questionnements

1. Est-ce que la température de la surface des murs intérieurs, soi-disant plus chaude, permettra un meilleur confort?
2. Est-ce que l'enveloppe réagira de la même façon en fonction de l'orientation et de la hauteur des parois?
3. Est-ce que l'isolant gardera ses propriétés?
4. Est-ce que les contraintes exercées sur la double ossature sont raisonnables?
5. Est-ce que les matériaux extérieurs garderont leur apparence?

Explication des concepts

Coupe de mur : L'annexe 2 présente en détail la coupe de mur type tel que construit.

Test d'infiltrométrie : Ce test donne une mesure de l'étanchéité atteinte d'un bâtiment. En créant artificiellement une dépression d'air, l'appareil mesure la quantité d'air, en changement d'air par heure (CAH), pénétrant dans la bâtisse. La valeur du test ciblée est de 1 CAH à 50 Pa, alors que la norme Novoclimat 2.0 exige 1,5 CAH à la même pression.

Pont thermique : Zone d'une paroi par laquelle il y a des pertes de chaleur plus significatives qu'ailleurs dans la paroi. Souvent causé par les matériaux de charpente (ossature bois) où il n'est pas possible de mettre de l'isolant.

Résistance thermique effective : L'abréviation « RSI_E » (métrique) ou « R_{effectif} » (impérial) correspond à la résistance thermique effective d'un assemblage complet (isolation, ossature, revêtement intermédiaire, matériaux de finition, films d'air et lames d'air) en tenant ainsi compte des ponts thermiques occasionnés par les éléments structuraux.

Matériaux durables : Matériaux ayant une bonne performance technique et fonctionnelle et répondant à la définition de développement durable en général.

« Le développement durable est un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. »⁷

Influence de la température des surfaces sur le confort : Le corps humain perd sa chaleur, par rayonnement, pour « réchauffer » des surfaces qui seraient plus froides que lui. Ce phénomène crée de l'inconfort, même si les conditions (T et HR) de la pièce sont adéquates.

Outils de validation

1 : Dresser un portrait des conditions (T et HR) à l'intérieur de l'enveloppe.

Mesures requises

Temp.
Hum.

⁷ Définition de la Commission Brundtland des Nations-Unies en 1987.

2 : Mesurer les contraintes sur l'ossature interne et externe.

Déplacement horizontal

Pour être conforme au Code National du Bâtiment 2005 (art. 4.1.3.5), le déplacement horizontal du bâtiment entier ne doit pas être plus grand que $H/500$ ($3950/500=8\text{mm}$) où H est la hauteur par rapport à la dalle de béton. Et le déplacement horizontal du fléchissement (arc) du montant (2x4) dû à la pression du vent ne doit pas être plus grand que $L/365$ ($1245/365=3,4\text{mm}$) où L est la hauteur par rapport au plancher du deuxième – hauteur de la sonde.

3 : Mesurer le confort en lien avec les températures de surface au moyen d'un sondage. -

Question type : Lorsque vous êtes à proximité d'un mur, ressentez-vous une sensation de froid? À proximité d'une fenêtre?

4 : Évaluer le degré de détérioration des matériaux au moyen de relevé photographique. -

Monter un cahier d'échantillonnage.

Discussion

Les valeurs isolantes inscrites au plan (annexe 2) divergent légèrement de celles utilisées dans la simulation HERS (Home Energy Rating System) faite par Écohabitation⁸. Cette différence n'influence pas de façon significative les résultats qui pourraient en découler et est due au fait que les logiciels offrent souvent leur propre valeur de résistance thermique pour les matériaux et leur propre calcul de cette valeur de résistance thermique totale pour une paroi donnée.

On peut comparer les valeurs isolantes installées avec celles exigées par d'autres références :

Éléments	CNB 2005	CNB 2005*	Novoclimat 2.0	Installées
MUR	RSI-3,6 (R-20,4)	RSI-4,31 (R-24,5)	RSI _E - 4,14 (R _{effectif} -23,5)	RSI-8,4 (R-48)
TOIT	RSI-5,6 (R-31,8)	RSI-7,21 (R-41)	RSI _E - 7,22 (R _{effectif} -41,0)	RSI-13,9 (R-79)
DALLE	RSI-0**	RSI-1,76 (R-10)	RSI _E - 2,84 (R _{effectif} -16,1)	RSI-3,9 (R-22)

* Après le 15 août 2012, où il y a eu ajout de la partie 11 au CNB 2005.

** Mais, on spécifie qu'il doit y avoir une isolation au pourtour de la dalle.

Il faut ici spécifier que le thème 3, *Performance de l'enveloppe*, ne traite pas directement de l'efficacité énergétique reliée à une enveloppe performante. Cet aspect est plutôt traité dans le thème 5, *Consommation énergétique*.

8 « Écohabitation est un organisme à but non lucratif qui facilite l'émergence d'habitations saines, économes en ressources et en énergie, abordables, accessibles à tous et caractérisées par leur durabilité. »

Thème 4 - Confort

Choix des concepteurs

Créer un environnement où les conditions de confort sont optimums.

Hypothèses et questionnements

1. Que le niveau de confort thermique optimum s'atteigne avec seulement 5 kW de chauffage (29W/m²).
2. Qu'on obtienne des niveaux de qualité d'air supérieurs aux limites acceptées.

Explication des concepts

Conditions de confort : On peut diviser le confort en deux grandes familles : le confort thermique et la qualité de l'air. Le confort thermique est très certainement une question de perception et est propre à chaque individu. Il existe tout de même des balises de température et d'humidité relative bien documentées sur lesquelles nous pouvons appuyer cette mesure. La qualité de l'air se mesure principalement avec les critères suivants : CO₂, CO, COV, Radon. Puis, il y a les champs magnétiques qui peuvent être nuisibles à la santé.

Les limites du tableau ci-dessous permettent de baliser ces critères.

Tableau 1: Balises des critères de confort et de qualité d'air

Critères	Limite inférieure	Limite supérieure	Sources et commentaires
Température	T _{été} = 23 °C T _{hiver} = 20 °C	T _{été} = 26 °C T _{hiver} = 23,5 °C	ASHRAE 55-2004
Humidité relative	HR _{été} = 30 % HR _{hiver} = 30 %	HR _{été} = 60 % HR _{hiver} = 60 %	ASHRAE 55-2004; pas de spécification particulière, bonne pratique
CO ₂		700 ppm ⁹	ASHRAE 62.1-2004 ¹⁰
CO		9 ppm (8h) 35 ppm (1h)	ASHRAE 62.1-2004 et 2007
COV	Voir explication du concept <i>Composés Organiques Volatiles</i> ci-dessous.		
Radon		200 Bq/m ³	- « Lignes directrices sur le radon du gouvernement du Canada » ¹¹
Champs magnétiques		24 mV/m ¹²	www.hydroquebec.com/champs/limites-exposition.html

Composés Organiques Volatiles (COV) : composés carbonés qui participent aux réactions photochimiques atmosphériques (à l'exclusion du monoxyde de carbone, du gaz carbonique, de l'acide carbonique, des carbures et des carbonates métalliques et du carbonate d'ammonium). Les composés se volatilisent à la température ambiante de la pièce.¹³

9 Sur le site de *lamaisondurable.com* (référence française), on donne 1300 ppm (1,31g/m³) comme limite supérieure.

10 Pour la norme ASHRAE 62.1, la dernière version disponible est celle de 2013. Malheureusement, elle ne nous est pas accessible.

11 Selon Santé Canada, s'il y a plus de 600 Bq/m³, il faut remédier à la situation dans un délai de moins d'un an.

12 Valeur très variable, car il n'existe pas de normes réglementaires.

13 Définition de LEED 2009

<i>Outils de validation</i>	<i>Mesures requises</i>
1 : Comparer les mesures des critères de conditions de confort réelles aux balises documentées.	Temp. ambiante Hum. ambiante Niveau de CO ₂ ambiant Niveau de CO ambiant Niveau de COV ambiant Niveau de radon Niveau de champs magnétiques
2 : Évaluer la satisfaction des occupants par sondage.	-

Discussion

L'hypothèse 1, *Atteindre le niveau de confort thermique optimum avec seulement 5 kW de chauffage (29W/m²)*, peut paraître banale mais, dans la réalité, les concepteurs n'osent généralement pas installer une si faible puissance de chauffage. La construction résidentielle étant surtout du « copié-collé », la plupart des entrepreneurs en électricité travaillent avec des règles du pouce. Autrefois, il était d'usage d'utiliser 108W/m² (10W/pi²). Maintenant, avec l'obligation de construire des maisons à partir de normes équivalentes au premier Novoclimat, on installe généralement la quantité de chauffage pour équivaloir à 86W/m² (8W/pi²) – même si on devrait faire un calcul de perte de chaleur précis. On constate donc que ces valeurs sont nettement au-dessus des besoins de 29W/m² (2,8W/pi²) évalués par Écohabitation lors de la simulation énergétique de février 2015 avec le logiciel HERS. La simulation énergétique faite par Isabelle Vézina, en juin 2014 avec le logiciel Hot2000, donne 35 W/m² (3,3W/pi²).

La capacité de chauffage réellement installée est de 6,8kW, soit 39W/m² (chaudière électrique pour le plancher radiant 4,5 kW + plinthes à l'étage 5x450W).

Pour ce qui est des COV, ils sont très délicats à mesurer, car ce terme général regroupe plusieurs gaz sans pour autant être une liste fermée. De plus, certains gaz sont néfastes pour la santé à partir de certaines concentrations spécifiques et chaque gaz doit être mesuré par un capteur distinct – ce qui augmente rapidement le coût d'un appareil mesurant les taux de COV (en ppm).

Thème 5 – Consommation énergétique

Choix des concepteurs

Hypothèses et questionnements

Minimiser la consommation énergétique :

- enveloppe performante
- appareils électroménagers homologués EnergyStar

1. Que les coûts supplémentaires exigés par les surplus de matériaux et de main-d'œuvre permettent une réduction substantielle des coûts de chauffage et sont rentabilisés par un retour sur l'investissement inférieur à 5 ans.
2. Que la consommation totale de la maison est inférieure à la consommation moyenne d'une maison standard.

Explication des concepts

Puissance : La puissance, exprimée en kW ou en kW/m², donne la charge maximale d'un appareil de chauffage ou d'un électroménager. Spécifiquement, pour le chauffage, la puissance des appareils installée correspond à environ 10 % de plus que les pertes de chaleur calculées dans les pires conditions hivernales.

Consommation : La consommation, exprimée en kWh ou kWh/m², permet d'avoir un portrait sur une période donnée – habituellement annuelle – de l'énergie utilisée, et ce, même si le chauffage n'est pas utilisé à sa puissance maximale.

Outils de validation

Mesures requises

1 : Calculer le retour sur l'investissement. Pour ce faire, il faut connaître :

Courant électrique de chauffage

- le surcoût de construction par rapport à une construction ayant les exigences Novoclimat 2.0;
- les coûts associés au chauffage de la maison;
- les coûts associés au chauffage d'une maison similaire ayant les exigences Novoclimat 2.0.

RI = surcoût de construction / économie en chauffage

2 : Comparer la consommation totale de chauffage avec celles trouvées dans la nomenclature.

Courant électrique par disjoncteur dédié au chauffage

1. 245 kWh/m² en 1990, diminuant régulièrement jusqu'à 144 kWh/m² en 2012¹⁴
2. Une maison neuve Novoclimat 2.0 permet à ses occupants de réaliser des économies de 20 % sur les coûts d'énergie par rapport à une habitation construite selon le Code de construction du Québec¹⁵

14 Office de l'efficacité énergétique, Ressources naturelles Canada et Statistique Canada, pour le Québec

15 Source: <http://www.efficaciteenergetique.gouv.qc.ca/mon-habitation/novoclimat/unifamiliales/avantages/>

Outils de validation

3 : Comparer la consommation totale et de chauffage avec les résultats du logiciel de simulation énergétique.

La simulation énergétique avec le logiciel HERS (version du 10-02-2015) donne les valeurs suivantes :

Consommation annuelle de chauffage : 45 kWh/m², soit 7 785 kWh*.

Consommation annuelle totale : 91 kWh/m², soit 15 731 kWh*.

Puissance chauffage : 29 W/m²*, soit 5 kW.

*Basé sur une superficie chauffée de 173m².

Mesures requises

Courant électrique total
Courant électrique par disjoncteur dédié au chauffage

Discussion

Les valeurs de puissance et de consommation exprimées par mètre carré (kW/m² et kWh/m²) permettent une comparaison entre les bâtiments indépendamment de leur surface totale.

Malheureusement, au Québec, ces données de comparaison semblent peu utilisées, alors qu'en Europe, ces « cotes » permettent d'avoir une appréciation de la performance énergétique d'une construction et sont donc plus largement diffusées. Il est important d'être rigoureux lorsqu'on compare la consommation pour bien différencier la valeur qui tient compte de la portion consommation de chauffage de celle qui tient compte de la consommation totale du bâtiment.

Les performances réelles de certains équipements seront aussi affichées afin de les comparer avec leur performance théorique. Même si ces données sortent du cadre de cette recherche, elles sont utiles dans un but d'éducation – volet *Centre d'interprétation* de la Maison ERE 132. Listons, ici, le ventilateur récupérateur de chaleur (VRC), les principaux appareils électroménagers et l'échangeur de chaleur des eaux grises.

L'outil de validation 2 (Analyse de la consommation électrique de chauffage par rapport à des comparables) aurait été beaucoup plus significatif si nous avions pu mesurer la consommation en chauffage d'une maison identique, mais construite sans dépasser les critères d'isolation et d'étanchéité exigés par Novoclimat 2.0. On comprendra que dans le contexte de ce projet, cette option n'était malheureusement pas possible et que nous devons nous contenter de faire les comparaisons avec les valeurs trouvées dans la nomenclature.

Thème 6 – Dalle sur sol

Choix des concepteurs

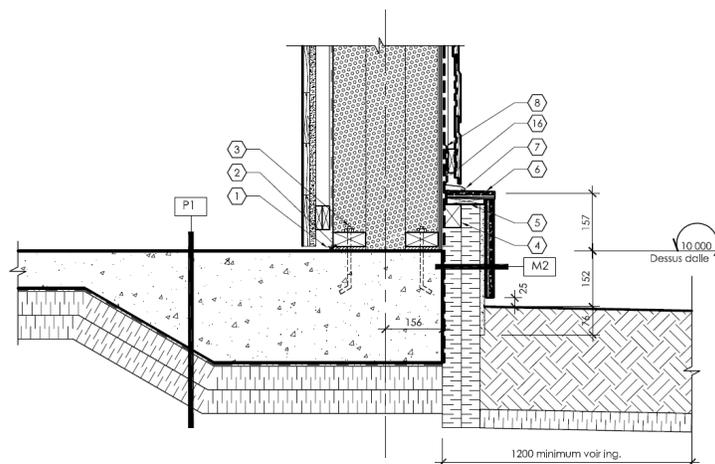
Hypothèses et questionnements

Construire la maison avec une dalle sur sol.

1. Que cette façon de faire permettrait de minimiser l'impact au sol ainsi que d'utiliser le volume de béton minimal tout en assurant la solidité des fondations.

Explication des concepts

Dalle sur sol : Habituellement utilisée pour de très petites surfaces telles que les garages, cette méthode a été approuvée pour l'entière surface de la maison ERE 132. Le dessin 3 illustre le principe de construction.



Dessin 3: Coupe démontrant la construction d'une dalle sur sol.

Outils de validation

Mesures requises

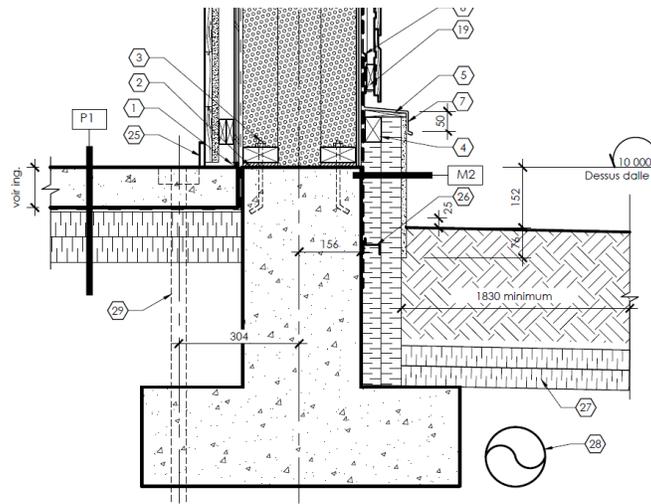
1 : Mesurer le déplacement de la dalle en fonction de la température extérieure. Contraintes

2: Mesurer la migration de la température du sol en fonction de la température extérieure. Temps. du sol

Discussion

Cette hypothèse reliée au choix de construction d'une dalle sur sol a été placée en dernier, car elle n'a finalement pas été réalisée, et ce, même si elle était une caractéristique chère à l'équipe de projet et même si elle avait été retenue par l'équipe de conception. Le peu d'impact au sol ainsi que le volume minimal de béton utilisé étaient deux aspects très importants et étaient approuvés par les ingénieurs en structure. La construction initiale de la maison était prévue pour le printemps 2014.

Malheureusement, à cause de délais hors de contrôle, la construction de cette maison n'a finalement pu commencer qu'au début novembre. L'équipe de conception a donc fait face à une décision difficile : adapter la dalle sur sol aux conditions hivernales de construction. Le dessin 4 représente le compromis alors adopté et la solution retenue pour la construction.



Dessin 4: Coupe démontrant la construction d'une dalle de plancher avec fondation restreinte.

Ce changement a donc mené à l'abandon d'une partie de l'étude sur la performance de la dalle sur sol sans fondation. Toutes les mesures de contraintes, c'est-à-dire les déplacements de la dalle par rapport au sol en fonction de la température extérieure, ont donc été délaissées.

Il était tout de même pertinent de garder les mesures de migration de température du sol de l'extérieur vers l'intérieur, particulièrement à des fins pédagogiques pour le département d'architecture.

2 - Emplacement des sondes

Les sondes peuvent répondre aux outils de validation de plusieurs thèmes. Pour cette raison, leur positionnement dans la bâtisse sera présenté par groupes de sondes. L'annexe 3 présente leur emplacement approximatif sur les plans de la maison, alors qu'on retrouvera, dans le texte ci-dessous, la description de leur position, les thèmes qu'elles soutiennent et les explications – sous forme de discussion – qui ont mené à leur positionnement final.

Pour s'y retrouver, des étiquettes (rectangle noir avec codification) ont été attribuées à chacune des sondes. Cette codification se retrouve sur les plans (annexe 3) et sera identifiée par des parenthèses dans le texte.

Température du sol (E)

Thèmes 3, 5, 6

Les sondes ont été positionnées dans le sol au milieu des façades et aux quatre orientations cardinales (E#**S**, E#**E**, E#**N**, E#**O**). Puis, pour chacune des orientations, on retrouve trois sondes: à l'extérieur, sous le niveau du gel (E4); à l'intérieur, juste après le mur de fondation (E3); à l'intérieur, environ un mètre après le mur de fondation (E2). Finalement, une dernière sonde a été installée au centre du plancher (E1).

Discussion

Même si la dalle n'a finalement pas été construite sans fondation, il n'en demeure pas moins que la maison n'a pas de sous-sol et que ce choix de construction est peu commun dans le résidentiel. La courbe de température donnera un aperçu de la migration du « froid » vers le centre de la maison. Ces données seront utiles pour la vulgarisation auprès du public et de la clientèle étudiante.

Le milieu des façades a été privilégié, car c'est la distance la plus courte vers le centre de la maison, par rapport aux coins. C'est donc le siège des températures les plus froides attendues. Puis, comme il sera pertinent d'observer la variation des températures du sol en fonction de l'orientation – et donc en fonction de l'apport solaire – les sondes ont été installées aux quatre orientations.

Température de la dalle (A)

Thèmes 1,2,4

Les sondes ont été positionnées au centre du salon (A1); au milieu, près de la porte-fenêtre (A2); au centre du bâtiment (A3) et au centre de la cuisine, juste à l'ouest de l'îlot qui est fixe (A4).

Discussion

Principalement utile pour soutenir le thème 2 – *Solaire passif* –, il fallait positionner les sondes là où le soleil allait pénétrer jusqu'au béton (dessin 5), ou du moins, très près. Sachant aussi que le

meubles de salon et de la salle à manger allaient sans doute changer de place, certains emplacements ont été privilégiés.



Dessin 5: Simulation d'ensevelissement au 21 décembre

Pour soutenir le thème 1 – *Refroidissement nocturne* –, il aurait probablement été souhaitable de pouvoir bénéficier d'un nombre plus important de points de mesure afin d'y extraire la température moyenne du plancher mais, considérant que le plancher du sud est le plus critique et qu'il y a un surcoût relié à l'ajout de sondes, le monitoring de la partie nord a été omis.

Quant au thème 4 – *Confort* –, la température de la dalle sera une donnée significative pour évaluer le potentiel de confort, mais non retenue aux fins d'analyse.

Température (J) et humidité (H) dans les murs et le toit

Thème 3

Pour les murs, dans l'épaisseur de la paroi, trois points ont été retenus de l'extérieur vers l'intérieur : après le carton-fibre (J3 et H3), au centre de la cloison (J2 et H2), puis juste avant le pare-vapeur (J1 et H1). Des sondes ont été placées sur trois des quatre façades – sud, nord et est. (ex. J#S, H#N). Puis, sur les deux étages (ex. J3S1 pour les rez-de-chaussée et J3S2 pour l'étage).

Au toit (ex. J1TS), plusieurs positionnements de sondes ont été retenus. Ainsi, dans l'épaisseur de l'isolant, il y aura des sondes à deux endroits : près du pare-vapeur (ex. J1) et au milieu de l'isolant (ex. J2). Puis, pour chaque orientation (ex. J1TS pour le sud), en plus du centre (ex. J1TC). Pour la mesure extérieure de l'isolant, les sondes de température et d'humidité seront suspendues au centre du comble (ex. J4TC).

Discussion

Nous aurions probablement pu nous contenter de faire l'acquisition de données sur un seul mur ou un seul étage mais, pour bien étoffer la performance de l'enveloppe, il apparaissait important d'augmenter l'échantillonnage en fonction de l'orientation et de l'élévation. Le positionnement des sondes, d'abord prévu au centre des murs, a dû être déplacé en raison des conditions de chantier.

De plus, toutes les sondes d'humidité près du carton fibre des murs ont été omises, entre autres parce que cette donnée paraissait peu significative par rapport au taux d'humidité extérieur et pour une question de budget. Ces changements seront traités à la section 4 – *Installation des équipements de monitoring*.

Il aurait été d'intérêt de monitorer toutes les façades, mais celle de l'ouest fût délaissée dès le départ puisque cette façade était initialement annexée à un garage – donc beaucoup moins sujette aux conditions extérieures.

Les deux étages furent ciblés pour être en mesure de distinguer si les effets des conditions de vent et d'ensoleillement ont une influence significative sur la performance de l'enveloppe en fonction de la hauteur.

Conditions intérieures

Thème 4

Température ambiante (O) et humidité relative (P): Zone centrale à l'étage (1), zone centrale au rez-de-chaussée (2), chambre du rez-de-chaussée (3) et hall (4).

CO₂ (Q), CO (R) et COV (S) : Zone centrale à l'étage (1) et zone centrale au rez-de-chaussée (2).

Radon (T) : Dans la colonne d'évacuation du radon (T1).

Pression (N) : Présentement omises.

Discussion

Ici encore, nous avons dû faire un compromis quant au nombre de sondes en raison des coûts. Les positionnements centraux devraient donc permettre un échantillonnage significatif, sans être exhaustif. Si jamais il semble y avoir un problème quant au nombre de lectures, des appareils portatifs pourront pallier le manque de sondes permanentes.

Les sondes de pression ne sont actuellement pas installées. Plusieurs conditions doivent être réunies pour les installer comme prévu au rez-de-chaussée et à l'étage.

La sonde de radon a été positionnée directement dans la colonne de radon afin de permettre une détection précoce de la présence de ce gaz. De plus, si nous détectons du radon, il sera possible d'installer un appareil portatif dans l'environnement ambiant et de bien mesurer l'efficacité de la colonne de radon.

Consommation électrique (AA)

Thème 5

Dans le panneau électrique, les disjoncteurs [#] suivants sont munis d'une pince ampèremétrique (voir annexe 3; plan du panneau électrique) :

- la chaudière électrique (CH-1) du plancher radiant [13-15] (TED07 et AA2);
- les plinthes électriques de chauffage des pièces 101, 102, 103 de l'étage [46-48] (TED06);
- les plinthes électriques de chauffage des pièces 104, 105 de l'étage [43-45] (TED03);
- le chauffe-eau [9-11] (TED08);
- les ventilateurs du VRC [10] (AA1);
- la laveuse à linge [31] (TED02);
- le réfrigérateur [24] (TED04);
- le lave-vaisselle [26] (TED05);
- la cuisinière [8] (TED01).

Des pinces ampèremétriques sont aussi installées sur les câbles principaux du panneau électrique (TED) pour y mesurer la consommation totale. Huit autres pinces ampèremétriques seront disponibles, la sélection des équipements qu'ils mesureront se fera ultérieurement.

Discussion

Les exigences du système LEED obligeaient d'avoir minimalement un appareil pouvant mesurer la consommation électrique globale de la maison.

Or, pour mieux évaluer la performance énergétique des appareils principaux et pour pouvoir y extraire la consommation dédiée au chauffage, il a été décidé d'étendre les lectures de consommation énergétique aux appareils listés ci-dessus.

Le TED – voir sa description dans la section 3 – *Sélection des sondes* – est un appareil reconnu pour la certification LEED et il vient avec un logiciel qui lui est propre, ce qui ne permettra pas, sauf par des interventions manuelles, d'utiliser ses données avec le système de monitoring. Comme les lectures des ventilateurs du VRC devaient être disponibles pour générer des calculs directement avec le système de monitoring, il a été décidé de mettre deux pinces ampèremétriques indépendantes et branchées sur le système de monitoring (AA).

Ventilateur récupérateur de chaleur (VRC)

Thème 1 et 5

Températures (B) et humidités relatives (BB): à l'entrée et à la sortie de l'échangeur pour l'air qui est introduit à l'intérieur de la maison et pour l'air qui est extrait de la maison.

Débits (C) : omises, remplacées par une lecture du courant électrique directement dans le panneau électrique principal de la maison.

Discussion

Le choix de déterminer le débit par une lecture du courant électrique, plutôt que par un débitmètre à air, sera discuté dans la section 3 - *Choix des sondes*.

Plancher radiant

Thème 2 et 5

Débits d'eau (DD): sur l'alimentation ou le retour de chacun des cinq circuits.

Températures d'eau (FF) : une sur le tuyau principal près de la nourrice d'alimentation d'eau, puis une sur chacun des cinq circuits près de la nourrice de retour d'eau.

Discussion

Il n'était pas nécessaire d'installer une sonde de température sur chacun des circuits sur le côté alimentation puisque l'eau provenant de chaudière se distribue à la même température dans chacun des circuits par la nourrice. Par contre, il en est tout autrement pour le retour, où la température de chaque circuit diminue ou augmente en fonction de son emplacement.

Quant aux lectures de débits, elles sont très peu influencées par un positionnement sur l'alimentation ou sur le retour des circuits; l'espace disponible aura été le critère retenu pour les positionner sur la tuyauterie d'alimentation. De plus, nous étions censés mettre un débitmètre sur le tuyau principal, question d'avoir une donnée permettant de valider les autres – la somme des cinq circuits doit être égale au débit du tuyau principal. Cette lecture a été abandonnée faute de budget.

Échangeur de chaleur des eaux de drainage

Thème 3,5,6

Températures (CC) : À l'entrée et à la sortie de l'échangeur sur le côté alimentation d'eau. À l'entrée et à la sortie de l'échangeur sur le côté drainage.

Débits (DD) : Il doit y en avoir un sur l'échangeur du côté alimentation d'eau.

Discussion

Pour arriver à établir le transfert réel de chaleur, il faut connaître les débits de chaque côté de l'échangeur (côté eau et côté drainage). Toutefois, il est très difficile de mesurer un débit dans une tuyauterie de drainage puisque le fluide n'occupe pas tout l'espace intérieur du tuyau. Il était prévu de mettre un débitmètre sur le tuyau qui alimente le pommeau de douche, en supposant que la quantité d'eau qui entre dans la douche est nécessairement la même qui en sort par le drain. Lors de la construction, l'importance de ce débitmètre a été mal interprétée et ce dernier fût positionné ailleurs – où sa lecture n'est plus significative – et il fût trop tard pour le déplacer, les murs ayant été fermés.

Il faudra donc se rabattre sur les constats suivants :

- Le débit au pommeau de douche est censé être donné par le fabricant de la robinetterie. Il sera possible de valider cette donnée en s'assurant qu'il n'y a que la douche qui utilise de l'eau et y faire la lecture sur le débitmètre (DD7). Cette donnée sera une valeur fixe.
- Dans le cas de l'acquisition de données, il est possible de programmer le débit au pommeau de douche comme étant la différence entre le débitmètre de l'entrée du bâtiment (DD6) et du débitmètre (DD7) de l'échangeur. S'il y a une autre utilisation simultanée d'eau avec la douche, le débit requis n'en sera pas affecté. Si $DD7 = DD6 = \text{Valeur fixe}$; on pourra supposer que la douche seule est utilisée. Les variations de température (CC#) pourront alors être utilisées à des fins d'analyse.

Conditions extérieures

Thèmes 3, 5, 6

Les sondes de température (V), humidité (W), vitesse des vents (X), orientation des vents (X) et rayonnement solaire (Z) doivent être situées sur un mât à environ un mètre au-dessus de la toiture.

Discussion

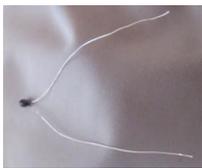
Pour s'assurer que ces lectures ne soient pas influencées par les arbres ou la maison, il faut que les sondes soient installées le plus loin possible de ces interférences. Idéalement, il aurait été souhaitable de les positionner sur une tour complètement indépendante de la maison et nettement au-dessus des arbres, mais cette solution était trop dispendieuse et les propriétaires de la maison ne souhaitaient pas voir ce type d'installation – pas très esthétique – sur les terrains des Jardins.

Un projet est en cours pour intégrer ces équipements sur une girouette expressément conçue par un artiste.

3 - Sélection des sondes

Dans l'optique de bâtir un système de monitoring abordable, le choix des sondes était un élément primordial. Pour chacune d'entre elles, les décisions de sélection furent basées sur le nombre requis, le coût d'achat, la plage de lecture et la précision exigée, le temps de fabrication ou d'installation, puis la nécessité d'étalonnage ou de calibration.

1. Température



Thermistance normalisée HS44031

- plage d'opération : -40°C et 44°C
- précision : 0,01 %

Discussion

Pour les lectures de température des éléments de l'enveloppe, la précision visée est de 0.1 %. La thermistance a été choisie au lieu des sondes RTD à cause de son faible coût et de sa sensibilité pour la plage pour laquelle elle était utile.

La mesure de température par thermistance nécessite une « programmation » et se fera à l'aide d'une boucle de mesure Anderson. Ce type de boucle offre une mesure précise de la valeur de la résistance en mesurant à la fois le courant et la tension sur la thermistance. La fiabilité de l'opération des thermistances nécessite de ne pas exposer celles-ci à devoir dissiper une puissance supérieure à 70 microwatts. Pour ce faire, une tension de 5 volts est appliquée sur chaque groupe de sept thermistances jumelées à une résistance de précision. La plus grande puissance mesurée par chaque thermistance est de 69 microwatts lorsqu'elles sont à 49 °C : la fiabilité est donc respectée.

2. Humidité relative



Capteur conductivimétrique Omega HX71

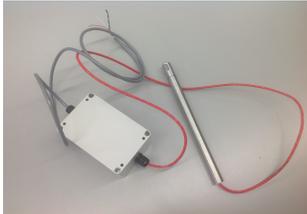
- plage d'opération : 0-100 %
- précision : $\pm 3,5$ % pour des lectures de 15 à 85 %
- signal : 0-1volt

Discussion

La fabrication « maison » des sondes d'humidité étant fastidieuse, le choix a donc été vers un équipement commercial de qualité industrielle afin d'obtenir la précision de mesure requise, et ce, même si son coût d'achat est relativement élevé. Nous avons plutôt fait un compromis sur la

quantité de sondes installées, même s'il y en a encore beaucoup. Puis, le choix du signal 0-1 volt s'est imposé pour faciliter la conversion en % puisqu'il était directement disponible sur les transmetteurs.

3. Température et humidité relative combinées – environnement ambiant



Capteur combiné Omega HX15

Température : sonde RTD (1000 Ohm)

- plage d'opération : -40 à 180C
- précision : $\pm 0,5$ %
- signal : 4-20mA

Humidité relative : Capteur conductivimétrique (%)

- plage d'opération : 3-95 %
- précision : ± 2 %
- signal : 4-20mA

Discussion

Dans le désir d'avoir la même sonde pour les propriétés de l'air intérieur et pour celles de l'air extérieur, nous avons opté pour un capteur combiné où les sondes sont déjà protégées par une gaine. Pour les mêmes raisons que le choix des capteurs avec sonde humidité unique, le choix a été vers un équipement commercial de qualité industrielle afin d'obtenir la précision de mesure requise, et ce, même si son coût d'achat est relativement élevé.

Malheureusement, le circuit de conditionnement vendu avec la sonde, particulièrement la sonde RTD pour la mesure de la température, fait perdre un peu de précision aux lectures. Par contre, elle permet d'obtenir une précision satisfaisante à partir d'une quantité restreinte d'acquisitions, alors qu'avec une thermistance, il faut une grande quantité de lectures et en faire des statistiques pour arriver à la même précision.

4. Température et humidité relative combinées – conduit de ventilation



Capteur combiné Omega HX94ACW

Température : sonde type RTD (100 Ohm)

- plage d'opération : 0-100 °C
- précision : $\pm 0,6$ °C
- signal : 4-20mA

Humidité relative : capteur conductivimétrique (%)

- plage d'opération : 3-95 %
- précision : $\pm 2,5$ % pour des lectures de 20 à 80 %
- signal : 4-20mA

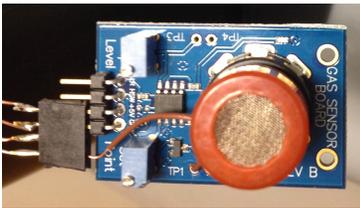
Discussion

Il était beaucoup plus simple d'acheter les sondes déjà protégées dans une gaine et vendues avec la quincaillerie pour installation sur conduit de ventilation. Sinon, les mêmes justifications que pour le capteur combiné pour l'air ambiant prévalent.

5. Détecteur de gaz - fabrication par les étudiants de Technologie de l'électronique



Ensemble des capteurs



Capteur de CO Hanwei Electronics CO. MQ-7

- plage d'opération : 20 à 2 000 ppm
- précision : -
- signal : 0-3 volts



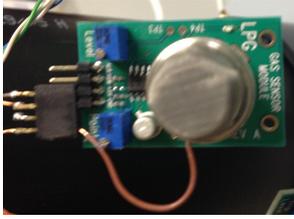
Capteur de CO₂ Hanwei Electronics CO. MG811

- plage d'opération : 350 à 10 000 ppm
- précision : -
- signal : 0-3 volts



Capteur de gaz multiple Hanwei Electronics CO. MQ-5

- plage de détection : 200 à 10 000 ppm pour méthane (CH₄), LPG¹, LNG², gaz naturel, iso-butane, propane et autres « gaz de ville »
- précision : -
- signal : 0-3 volts



Capteur de gaz multiples Hanwei Electronics CO. MQ-2

- plage de détection :

LPG et propane :	200 à 5 000 ppm
Butane (C ₄ H ₁₀) :	300 à 5 000 ppm
Méthane :	5 000 à 20 000 ppm
H ₂ :	300 à 5 000 ppm
Alcohol :	100 à 2 000 ppm
- précision : -
- signal : 0-3 volts

Discussion

Malheureusement, le module fabriqué par les étudiants n'est pas suffisamment esthétique pour être installé sur les murs de la maison. Nous l'utiliserons dans la salle de mécanique afin de bénéficier de ces mesures, mais des capteurs commerciaux devront être installés sur les murs. Ce volet pédagogique est intéressant pour comparer les lectures provenant d'appareils de mesures diversifiés.

Ces types de capteur sont généralement ceux utilisés dans les appareils de détection de gaz pour que la lecture émette une alarme. Ils ne sont pas très précis (environ 10 %), mais ont l'avantage de ne pas être très dispendieux.

Note 1 : LPG (Liquefied petroleum gaz), normalement composé de propane (C₃H₈), iso-butane (C₄H₁₀)

Note 2 : LNG (Liquefied natural gaz), souvent appelé gaz naturel, surtout composé de méthane.

6. CO₂ - commercial

Capteur combiné Honeywell 1508A1013



Gaz : CO₂ (technologie infrarouge non dispersive¹)

- plage d'opération : 0 à 2 000 ppm, 0 à 5 000 ppm
- précision : ±30 ppm ±3 % à 25 °C pour la plage 0 à 2 000 ppm

Température

- plage d'opération : 0 à 40 C
- précision : ± 0,5 % à 25C et 50 %HR

Humidité relative

- plage d'opération : 0 à 95 %
- précision : ± 5 % à 25C et 50 %HR
- signal : 4 à 20mA

Discussion

Le choix de cet équipement combine son esthétique et ses possibilités d'affichage utiles pour le volet interprétation de la Maison. La précision des lectures de CO₂ est très intéressante considérant son coût d'achat. Entre autres choisi parce qu'il n'a pas besoin de calibration, l'équipement requiert toutefois un étalonnage.

Note 1 : avec l'algorithme de l'étalonnage automatique du seuil de référence (fonction logicielle Baseline Automatique).

7. COV - commercial



Capteur combiné Honeywell 1508A1014

Gaz : COV (Semiconducteur à l'oxyde de métal)

- plage d'opération : « Indice de qualité de l'air 0 à 100

Température

- plage d'opération : 0 à 40 C
- précision : $\pm 0,5$ % à 25C et 50 %HR

Humidité relative

- plage d'opération : 0 à 95 %
- précision : ± 5 % à 25C et 50 %HR
- signal : 4 à 20mA

Discussion

La détection de COV est un exercice complexe et dispendieux, car elle comporte la détection de plusieurs gaz qu'il faut idéalement cibler. L'avantage du capteur Honeywell est son faible coût par rapport au nombre de gaz qu'il semble mesurer. Son inconvénient majeur est qu'il ne donnera pas une lecture de la quantité de gaz ciblés (COV) en ppm, mais un pourcentage de concentration équivalente à celle de CO₂ (basé sur une échelle de 0 à 2 000 ppm). Ici aussi, calibration non requise, mais étalonnage souhaitable. Une attention particulière devra être faite pour bien interpréter les lectures de gaz provenant de cet équipement.

Pour un appareil portable mesurant certains COV bien ciblés et avec une précision intéressante, il faut déboursier au moins 5 000\$. Ce type d'achat ne correspondait malheureusement pas à notre budget.

8. Radon



Détecteur de radon SafetySiren Pro Series3 HS79712

- photodiode à jonction par diffusion
- plage d'opération : 0 à 9999 Bq/m³ (0,0 à 999,9 pCi/L)
- précision garantie: ± 10 % standard, ± 20 % ou ± 37 Bq/m³ (le plus grand)

Discussion

Il était moins dispendieux d'acheter cet équipement et de « bricoler » son utilisation pour avoir une lecture de la quantité de radon directement sur le système de monitoring que d'acheter une simple sonde munie d'un convertisseur. Sans modification, l'appareil est fait pour émettre un signal d'alarme lorsque la lecture dépasse 200 Bq/m³ sur une moyenne de temps.

9. Débit eau



Débitmètre Omega FPR204P-PC

- plage d'opération : 1,9 à 18,9 lpm (0,5 à 5,0 gpm)
- précision : 2 % de la pleine échelle
- signal 4 à 20 mA

Discussion

Il a été difficile de trouver un débitmètre à petit prix ayant une précision suffisante et pouvant lire de très petits débits. Ce modèle est le seul qui correspondait aux critères.

10. Débit eau – entrée principale



Débitmètre LECOMTE, modèle LR-F-P

- plage d'opération : 0,47 à 75,7 lpm (0,125 à 20 gpm_{US})
- précision de 95-101 % : 0,47 à 0,95 lpm
- signal 4 à 20 mA

Discussion

Sélectionné par la firme d'ingénieurs-conseils mandatée pour la conception des systèmes mécaniques réguliers de la maison, cet équipement était requis pour répondre aux exigences LEED qui demande une comptabilisation de la quantité d'eau consommée dans une année. Nous avons demandé que l'équipement soit doté d'un signal de 4 à 20 mA pour le jumeler avec notre système de monitoring.

11. Débit air

Voir 9. *Consommation électrique*

Discussion

Considérant qu'un flux d'air n'est pas réparti également à l'intérieur d'une conduite, il faut y prendre plusieurs points de lecture pour obtenir une moyenne. Deux principes permettent de déterminer le débit d'air dans une conduite. La méthode dite « à fils chauds » mesure directement la vitesse et est très précise, mais elle est habituellement utilisée pour une mesure ponctuelle. Plusieurs fils chauds à l'intérieur d'une conduite auraient été trop dispendieux. Le deuxième principe mesure la pression totale et la pression statique (ou tube de Pitot). Ces mesures peuvent être ponctuelles, mais peuvent

aussi s'appliquer pour tout le conduit en utilisant une croix. Malheureusement, les pressions étant tellement petites dans le système actuel du VRC, cette option manquait de précision. Comme le VRC ne fonctionnera qu'à deux régimes, soit la haute et la basse vitesse, il a été déterminé qu'une lecture de l'intensité (ampère) directement dans le panneau électrique permettra d'associer le petit courant au débit le plus bas et le plus haut courant, au débit le plus grand.

12. Consommation électrique

Appareil et logiciel TED Pro Lite de The Energy Detective



- Pincas ampèremétriques pour le triphasé
- Limite : 277V/400A
- Logiciel de lectures de consommation inclus



« TED Spyder »

- 1x 4 beignes 20amp (charge minimum 25W) + 4 beignes 60amp (charge minimum 200W)
- 1x 8 beignes 20amp (charge minimum 25W)
- S'annexe au TED Pro Lite de base

Discussion

Un des crédits LEED demande, minimalement, qu'il y ait un appareil pouvant donner la consommation électrique totale de la maison. Le choix d'un appareil pouvant être acheté par des propriétaires de maison était un critère important. Le coût raisonnable et l'environnement visuel d'affichage de l'information ont été les autres critères de cette sélection.

Dans un objectif plus large d'éducation, nous avons opté pour deux modules supplémentaires (spyder) pour étendre les lectures de consommation à 16 disjoncteurs du panneau électrique, donc à 16 appareils ou groupes d'appareils différents.

13. Vitesse et orientation des vents



Station de mesure du vent Omega WMS-23

Direction du vent

- plage d'opération : 0 à 360°
- précision de l'azimut : ± 3 %
- signal 4 à 20 mA

Vitesse du vent

- plage d'opération : 0 à 100 mph
- précision : 1 mph ou 3 %
- signal 4 à 20 mA

Discussion

Les mesures provenant de l'extérieur doivent être prises à un endroit où les obstacles naturels auront le moins d'impacts possible sur leur lecture : le toit. Pour une question d'esthétisme, il a été entendu que les instruments de mesure (vitesse et orientation des vents, rayonnement solaire, pression barométrique, température et humidité relative) seraient intégrés dans une œuvre d'art. Même s'il est possible d'acheter une « station météo » déjà assemblée, les instruments ont été sélectionnés séparément pour laisser plus de liberté à l'artiste.

14. Rayonnement solaire



Panneau solaire ENERWATT EWS-10

- puissance maximale : 10W
- dimensions : 13,8" x 11,1" x 1,3"
- plage de température : -50 °C à 85 °C

Discussion

Comme nous n'utilisons pas cet équipement pour produire de l'électricité, mais seulement pour mesurer la quantité d'ensoleillement, il était important qu'il soit durable (puisque'il sera installé en hauteur), mais il n'était pas nécessaire qu'il soit de grande puissance.

16. Pression



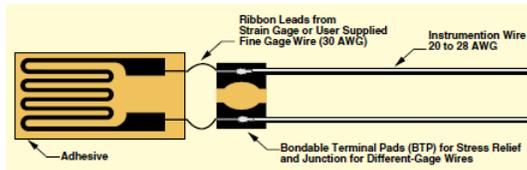
Capteur de pression barométrique Omega PX02K1

- plage d'opération : 94 800 à 108 400 Pa
- précision : $\pm 0,25$ % (± 17 Pa)
- signal : 4-20mA
-

Discussion

Cet équipement demande une fabrication maison trop fastidieuse. De plus, la précision de lecture nécessaire requiert l'achat d'un capteur déjà étalonné.

17. Contrainte



Capteur de déplacement Omega SGD-5/350-LY11

- plage de lecture : selon la barre sur lequel il est installé
- précision : -
- signal : 4-20mA

Discussion

Ce capteur répond à nos besoins.

4 - Installation des équipements de monitoring

Le processus d'appel d'offres pour le projet de la maison ERE 132 a été lancé en mai 2014. Le monitoring ne faisait pas partie des plans et devis, à l'exception de la liste des interventions nécessaires par notre équipe en lien avec les étapes prévues de construction – voir annexe 4. La construction a commencé le 4 novembre, juste à temps pour « fermer » la maison avant que les conditions hivernales s'installent. La construction s'est terminée à la fin mai. Regard sur les étapes clés :

1. Installation des tubulures pour les sondes dans le sol.

Le filage et les sondes utilisées pour l'acquisition de donnée requièrent une protection contre les conditions de chantier en raison de leur fragilité. Les sondes ont donc été insérées dans des tubulures de PEX SDR9 de 1/2" auxquelles on a mis des bouchons métalliques (photo 4.1.1) pour permettre la conductivité thermique. Pour maximiser les chances que les sondes se rendent jusqu'au bouchon lors de l'insertion, les longueurs des tubulures sont rigoureusement mesurées (photo 4.1.2). Comme les tubulures doivent sortir exactement au niveau du mur intérieur préidentifié, des blocs de bois servent de guide (photo 4.1.3).



Photo 4.1.1



Photo 4.1.2



Photo 4.1.3

2. Passage du filage dans les murs extérieurs.

Aussitôt que les murs préfabriqués ont été installés, on a procédé au passage du filage pour les sondes des murs extérieurs. Les boîtes contenant les transmetteurs étant dans les murs du centre; le filage a donc été monté dans ces murs, puis passé dans les solives du rez-de-chaussée (photo 4.2.1) pour être ensuite redescendu dans les murs extérieurs (photos 4.2.2 et 4.2.3). Pour les sondes

installées dans les murs de l'étage, le filage est acheminé au niveau du plancher, entre les deux ossatures (vu du dessous (photo 4.2.4) et vu du dessus (photo 4.2.5)), pour être ensuite remonté jusqu'à la hauteur désirée (photo 4.2.6).



Photo 4.2.1



Photo 4.2.2



Photo 4.2.3



Photo 4.2.4



Photo 4.2.5



Photo 4.2.6

Il aurait été préférable d'installer le filage et les sondes des murs extérieurs à l'usine avant que ne soit posés le pare-vapeur et le contreventement. Puisqu'il n'était pas possible de perforer les contreplaqués (contreventement) pour y poser les sondes, on a été obligés de modifier l'emplacement de certaines d'entre elles. Voir le positionnement final des sondes à l'annexe 3.

3. Pose des sondes dans les murs et le toit.

Les sondes de température (thermistance) ont été installées avec des connecteurs; les conditions in-situ ne permettant pas le soudage. Les fils ont été collés avec du ruban gris sur une baguette de bois (type de baguette utilisé pour brasser la peinture) en laissant les sondes « pendantes » (photo 4.3.1).

Les fils nécessaires aux sondes d'humidité ont été préparés en même temps. Ainsi, les sondes ont été positionnées dans l'isolant à une certaine distance de la baguette pour minimiser l'effet de cette dernière comme pont thermique (photo 4.3.2).

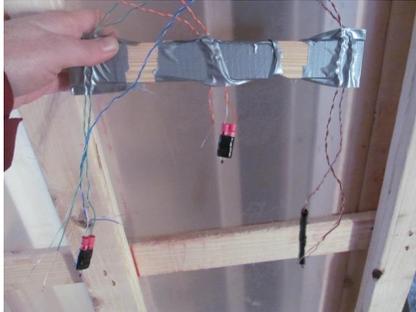


Photo 4.3.1

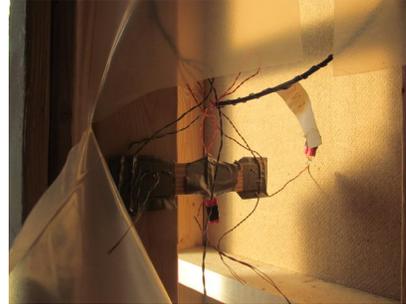


Photo 4.3.2

Les sondes d'humidité ont été installées après que l'isolant ait été soufflé. Le fabricant ne pouvait les livrer à temps, et qu'on ne pouvait pas reporter le soufflage de l'isolant et ainsi retarder le chantier; le pare-vapeur a donc dû être percé. Finalement, les sondes d'humidité prévues côté carton-fibre ont été omises (question de budget et de difficulté d'installation). À cette étape, la précision dans le positionnement des sondes était cruciale, particulièrement pour celles au centre de l'épaisseur des murs. (photo 4.3.3 et 4.3.4)



Photo 4.3.3



Photo 4.3.4

Les sondes de température pour le toit ont été branchées en même temps que le passage du câblage, mais elles n'ont été positionnées qu'en même temps que le branchement des sondes d'humidité, soit après que la moitié de l'épaisseur de l'isolant du toit eut été soufflée. (photo 4.3.5 et 4.3.6)



Photo 4.3.5



Photo 4.3.6

Chaque sonde de contraintes a été installée sur une barre métallique d'environ 10 cm x 20 cm. Les deux barres ont été vissées sur le côté du 2x4 pointant vers le centre : une sur l'ossature extérieure (photo 4.3.7) et l'autre sur l'ossature intérieure.

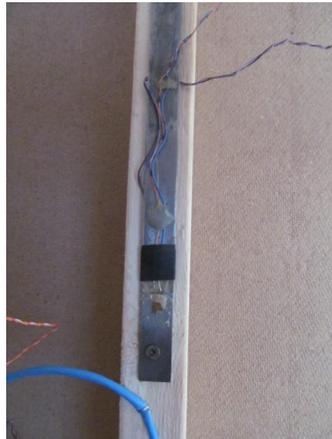


Photo 4.3.7

4. Installation des tubulures pour les sondes dans la dalle.

Toujours pour une question de protection lors de la construction, les sondes servant à la mesure de la température de la dalle de béton ont été insérées dans des tubulures. Ici, les tubulures utilisées sont en PVC renforcés 1/4", plus flexibles que celles utilisées pour la température du sol. Elles ont été installées juste après que la tubulure du plancher radiant (photo 4.4.1) eut été positionnée afin de s'assurer que leur extrémité (donc là où se trouve la sonde) soit exactement entre deux tubulures.



Photo 4.4.1

5. Passage du câblage dans les murs intérieurs et installation des équipements muraux.

Le temps disponible entre le moment où les charpentes des murs intérieurs ont été montées et la pose des plaques de plâtre a été très court. Trois boîtiers qui contiendront les transmetteurs ont été positionnés. Voir à l'annexe 3, plan du rez-de-chaussée (boîtier 1 : accessible dans le hall; boîtier 2 : accessible sous l'escalier; boîtier 3 : accessible dans la chambre du rez-de-chaussée). Les câbles des sondes ont donc été répartis parmi ces trois boîtiers. Les câbles réseau (transmetteurs vers l'ordinateur) ont aussi été installés.

Parce que la coordination des installations n'était pas simple, il a été décidé que les sondes murales (ex. température de pièce, CO₂, etc.) seraient sans fil.

6. Pose des sondes sur les équipements mécaniques.

Les débitmètres du plancher radiant (photo 4.6.1) ainsi que ceux sur l'échangeur de chaleur des eaux de drainage (photo 4.6.2) ont finalement été installés par l'entrepreneur en plomberie. Puisqu'ils devaient être soudés en continu avec la tuyauterie, il était plus facile de coordonner cette installation de cette façon. L'entrepreneur en plomberie a aussi eu le mandat de mettre en place des Tés pour l'installation des sondes de température pour ces deux équipements. Malheureusement, pour une question de temps, de budget et d'organisation, les sondes de température ne seront pas de type à

insertion. À l'aide de ruban aluminium, les thermistances ont été collées sur l'extérieur de la tuyauterie en cuivre et sur les raccords de laiton là où la tuyauterie est en plastique. Ce changement amènera très certainement un délai de réponse plus grand dans la lecture des températures dont on devra tenir compte dans l'interprétation des données.



Photo 4.6.1



Photo 4.6.2

L'appareil mesurant le radon est plutôt gros pour être inséré dans un conduit de 3" (photo 4.6.3, tuyau de gauche) et doit demeurer accessible pour y prendre les lectures. Il a donc fallu demander d'ajouter un raccord (photo 4.6.4, raccord non isolé le plus bas) muni d'un bouchon vissé à la base de la colonne de radon afin d'y insérer notre appareil. La difficulté est que cette colonne doit être étanche et qu'aucun raccord vissé n'y est accepté. Le bouchon a été collé avant que nous intervenions ce qui a complexifié l'installation, principalement à cause de l'isolant mis sur la colonne de drainage.



Photo 4.6.3

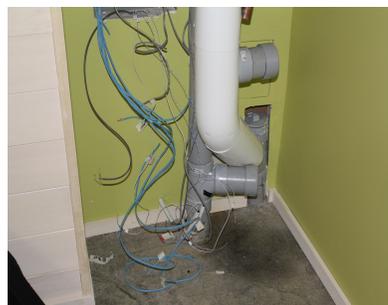


Photo 4.6.4

Les quatre sondes de température et d'humidité ont été installées sur l'échangeur de chaleur. La difficulté fut causée par l'isolant et par le fait que certaines sections de conduits sont en matériau flexible.



photo 4.6.5

Les beignes ampèremétriques du système TED ont été installés par l'électricien (photo 4.6.6). Une boîte électrique supplémentaire a été installée pour permettre des jonctions sur le filage d'électricité du bâtiment. Ceci permettra d'accéder plus facilement aux beignes.

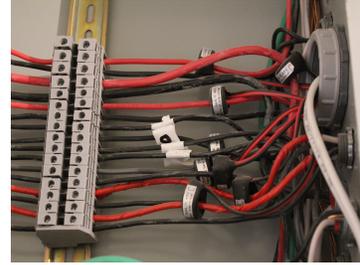


Photo 4.6.6

7. Branchement des transmetteurs et mise en marche

Une fois les murs peints, le branchement des transmetteurs (photo 4.7.1) a été fait. À chaque branchement, la sonde reliée était vérifiée afin de s'assurer qu'elle donne le signal escompté. Compte tenu du nombre de sondes et de la rigueur exigée, cette étape a été longue. L'installation de la centrale a été montée sous l'escalier (boîtier de gauche sur la photo 4.7.2). L'endroit exigu et difficile d'accès a augmenté les difficultés et le temps d'installation.



Photo 4.7.1



Photo 4.7.2

Au moment d'écrire ce rapport, la programmation qui sous-tend l'acquisition de données requiert encore quelques ajustements pour commencer l'acquisition des données. Certaines sondes vont demander un étalonnage qui devra s'étendre sur quelques mois encore. Certains équipements, comme l'équipement de mesure de la consommation (TED Pro) vont demander une appropriation de leur fonctionnement. Peu de sondes restent encore à installer : celles qui mesurent les conditions extérieures, qui sont intégrées à la girouette, et celles de mesure des gaz. Il est prévu de les installer avant le début de l'automne.

En conclusion, l'installation in-situ de l'équipement de monitoring a été réalisée, mais avec de multiples contraintes. Les échéances très serrées d'avancement du chantier, les méthodes de construction préconisées et les disponibilités limitées des installateurs du système de monitoring

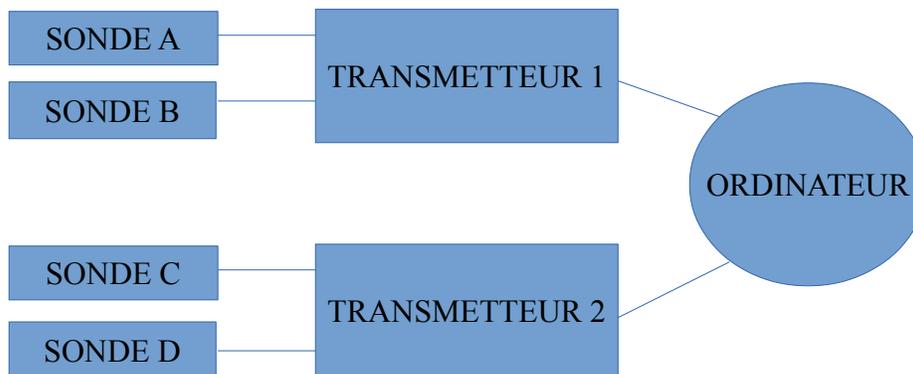
furent quelques-uns des nombreux défis auxquels nous avons dû faire face. Par contre, l'ouverture et la collaboration de l'équipe de chantier et de l'équipe projet ont été des éléments facilitateurs.

Lors d'un éventuel projet, nous suggérons que les plans de monitoring soient dans les documents d'appel d'offres, même s'ils ne font pas partie des soumissions. Le positionnement des équipements visibles et la coordination sur le chantier s'en trouveront facilités. De plus, particulièrement à cause de la haute étanchéité de l'enveloppe souhaitée, il serait nettement préférable d'installer les équipements de monitoring intégrés dans les murs extérieurs lors du montage des murs préfabriqués en usine.

5 - Acquisition et partage de données

5.1 Système d'acquisition automatisée

La saisie de l'information des différents paramètres à mesurer sera exécutée à l'aide d'un réseau d'instruments de mesure – appelés TRANSMETTEURS – avec la technologie « RS-485 » qui seront tous connectés à un même ordinateur.



Un programme de séquençage de mesures sera utilisé sur cet ordinateur pour respecter les intervalles requis des signaux provenant des différents capteurs (sondes). La programmation a été développée à partir de VISUAL Basic 6, mais la version finale fonctionnera sur VISUAL Basic 2010.

Le réseau de mesures est divisé en sept groupes (annexe 5) afin que la saisie d'information soit répartie logiquement pour chaque type d'éléments à étudier.

Groupe 1 : concerne la saisie d'information des variations de température du sol autour de la résidence, du sol sous la dalle de plancher et de l'intérieur de la dalle. On a aussi ajouté à ce groupe les mesures de contraintes de la charpente.

Groupe 2 : recouvre les différentes mesures de température et d'humidité à l'intérieur des murs.

Groupe 3 : concerne le toit, où sont prises les mesures de température et d'humidité.

Groupe 4 : se rapporte à l'ensemble des mesures ambiantes internes de la résidence, soit la pression barométrique, la température, l'humidité, la concentration de différents gaz (CO, CO₂, COV) de même que la concentration de radon dans son conduit d'évacuation.

Groupe 5 : vise toutes les mesures ambiantes à l'extérieur de la résidence, soit la pression barométrique, la température, l'humidité, la direction et la vitesse du vent.

Groupe 6 : couvre, avec ce système, les mesures d'intensité (ampère) pour la chaudière électrique du plancher radiant (CH-1) et pour le ventilateur récupérateur de chaleur (VRC). Un système commercial (le TED Pro Lite) prendra en charge seize autres mesures de consommation électrique telles que la consommation totale de la maison, le chauffe-eau, la cuisinière, la laveuse, les circuits de chauffage 101-102 et 103, les circuits de chauffage 104 et 105, le réfrigérateur, le lave-vaisselle, etc.

Groupe 7 : vise toutes les mesures pour évaluer le rendement thermique des systèmes mécaniques, soit le système de chauffage par plancher radiant, l'échangeur de chaleur des eaux grises (Power pipe) et le ventilateur récupérateur de chaleur.

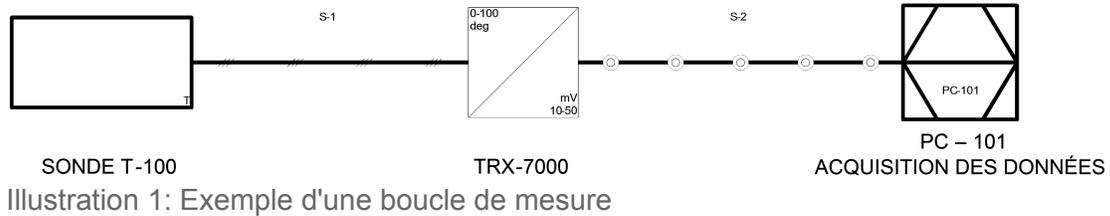
RÉSEAU DE MESURE :

Pour les mesures des groupes 1, 2, 3 et 6, 7; tous les transmetteurs utilisés sont des modules d'acquisition de données ICP-CON 7017 de la compagnie ICP-DAS. Ces modules possèdent huit convertisseurs analogiques numériques sur 16 bits. Les 8 entrées de chaque module sont adressables individuellement. Chaque réseau peut comporter jusqu'à 32 modules (ou transmetteurs). Chacune des entrées analogiques peut être configurée pour les plages de mesure suivantes : ± 10 volts, ± 5 volts, ± 1 volt, ± 500 millivolts, ± 100 millivolts ou, encore, comme entrée des signaux 4-20 milliampères.

Dans le cas des mesures pour les groupes 4 et 5, nous devons utiliser des modules de communication sans fil qui nous permettent d'étendre le réseau RS-485 en WIFI puisque que ces groupes de mesures ne peuvent être directement connectés sur ce réseau. Les modules de lien sans fil choisis sont les Adaptateurs WIFI ATC-2000WF pour réseau RS-485. L'utilisation du WIFI a été limitée au maximum (pour éviter le plus possible les ondes électromagnétiques pouvant être nocives pour la santé) et utilisée là où le passage de câble compromettrait l'intégralité de l'enveloppe et là où nous avons dû installer des équipements après la finition des murs.

Aussi, chaque type de mesure est associé à un diagramme. Ainsi, sur l'illustration 1, on peut voir une boucle de mesure de type 1 (température). On distingue la sonde (T-100), le transmetteur (TRX-7000), puis l'ordinateur (PC-101). Plusieurs boucles de mesure sont nécessaires pour répondre aux besoins (température, humidité, débit, pression, etc.)

BOUCLE DE MESURE TYPE 1



ALIMENTATION DU SYSTÈME :

Les modules d'acquisition (transmetteur) et les sondes sont alimentés à partir de trois modules industriels électriques, selon les besoins : 5 volts, 12 volts ou 24 volts. Le courant de sortie est protégé par des fusibles de 2 ampères. Tous les blocs d'alimentation sont capables de fournir ce courant et cette limite concerne la consommation totale pour chaque source de tension.

CALIBRATION

La calibration est sans conteste une phase préliminaire importante puisqu'elle permet de déterminer la marge d'erreur sur certaines mesures.

Par exemple, la calibration pour la température donne une variation de 14.8 à 15 degrés Celsius, soit une variation de 0.2 degré qui demeure en accord avec la précision du manufacturier (+/- 0.1 °C).
(Voir Illustration 2)

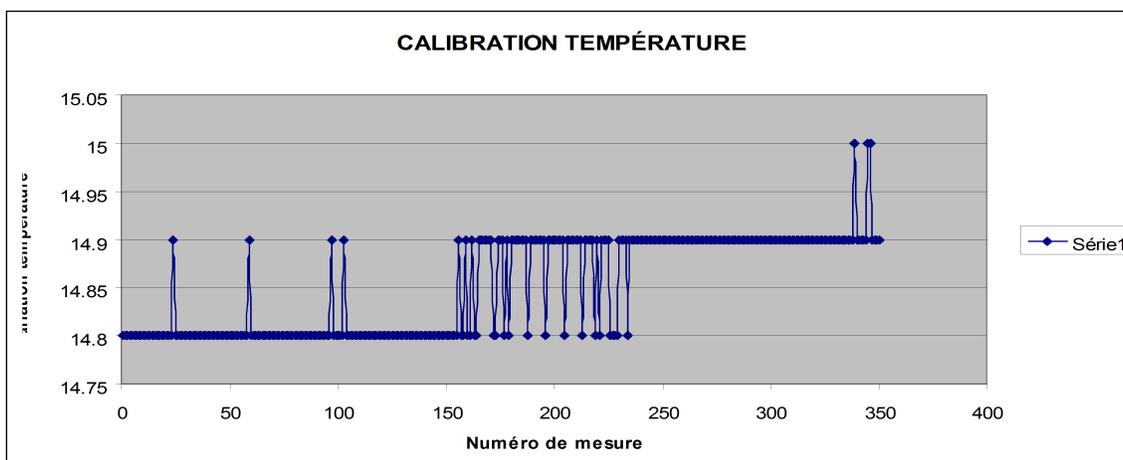


Illustration 2: Courbe de mesure de température lors de la calibration

Un autre exemple : la calibration pour la pression donne une variation de 0.04 à 0.1 Psi relatif, soit une variation de 0.06 Psi qui demeure en accord avec la précision du fabricant (+/- 0.1 Psi). (Voir figure 2)

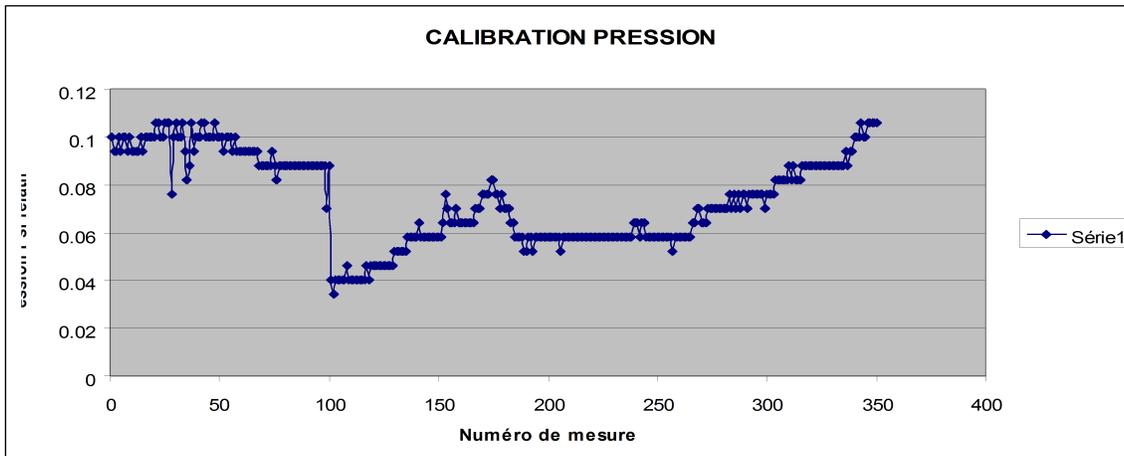


Illustration 3: Courbe de mesure de pression lors de la calibration

5.2 Disponibilité des données

Les mesures recueillies par Visual Basic 2010 pourront facilement être transférées vers un tableur universel – EXCEL de Microsoft Office ou LibreOffice Calc par exemple. Même si les données brutes pourront être accessibles à distance, l'accès en sera limité à ses concepteurs. Par contre, pour tous ceux qui voudront accéder à une ou plusieurs séries de mesure, une demande devra être adressée aux concepteurs. Les données leur seront acheminées dans un tableur.

Les lectures en temps réel seront accessibles directement dans la Maison ERE 132, où une zone d'interprétation du monitoring a été prévue. Sur l'écran dédié à cet usage, il sera possible d'afficher soit l'environnement du TED Pro Lite, soit l'environnement Visual Basic. Voici un aperçu des informations disponibles :

TED Pro Lite	Visual Basic
<ul style="list-style-type: none"> • Consommation électrique totale instantanée • Consommation électrique instantanée par appareils sélectionnés • Graphique ou diagramme à barres pour visualiser les consommations électriques pour la durée sélectionnée (jour, semaine, mois, année) 	<ul style="list-style-type: none"> • Lectures des sondes en temps réel présentées sous la forme d'une page par groupe de lectures. (annexe 6)

Il va s'en dire que l'interprétation des données ne peut être faite qu'après au moins un an de prises de lectures. Il est donc prévu – même si ça ne fait pas partie de cette partie de projet – que l'interprétation des données (en lien avec les hypothèses et questionnements exposés dans la partie 1 de ce rapport) soit vulgarisée et diffusée directement au centre d'interprétation, sur le site Internet de la Maison ERE 132 et en classe, directement auprès des étudiants et étudiantes.

6 - Validation des différents points d'acquisition de données

Avant de pouvoir interpréter des données, il est primordial de s'assurer que les lectures prises soient justes et valables. Comme il y a plus de 130 sondes réparties dans tout le bâtiment, cette étape est fastidieuse et la rigueur est de mise. En date de l'écriture de ce rapport, plus de la moitié des lectures ont été validées, mais les retards de construction de la maison reportent l'aboutissement de cette étape de projet au début de l'automne. Rappelons qu'au départ, la construction devait commencer en juin 2014 et se faire durant l'été, ce qui nous laissait tout l'automne et les premiers mois de l'année 2015 pour la validation.

Ainsi, pour chaque sonde, on vérifie :

- s'il y a un signal et si l'affichage se fait au bon endroit;
- si la valeur reçue est conforme aux attentes ou aux normes établies – idéalement, on aura un autre instrument de mesure pour comparer;
- si le signal fluctue – idéalement, on fera varier l'environnement où est la sonde pour bien valider son fonctionnement;
- si le signal est bien enregistré aux intervalles de temps requis.

7 - Résultats du projet et planification du suivi

Les résultats attendus dans le cadre de ce projet sont en très grande majorité obtenus. Après avoir fait un survol de l'état de l'art sur le sujet, c'est par l'élaboration du système de monitoring que le projet a commencé. C'est donc à partir des hypothèses et des questionnements en lien avec les choix des concepteurs que les outils de validation et les mesures requises ont été élaborés. Puis, comme chaque mesure est associée à une sonde, elles ont été localisées judicieusement à l'intérieur des éléments de construction et des systèmes pour être ensuite sélectionnées, acquises et installées. Parallèlement, l'environnement d'acquisition (programmation) et de partage des données a été élaboré. Pour terminer, le branchement des sondes et la validation de leurs lectures ont été faits. Malheureusement, à cause du report de la date de début de construction (novembre 2014 au lieu de juin 2014), il restera à valider les lectures de certaines sondes.

Le projet fut ambitieux, puisque plus d'une centaine de sondes ont été installées. Certains de nos choix d'acquisition de données peuvent donc être discutables quant à leur pertinence et leur réelles retombées sur la recherche. Par contre, ils s'avèrent très utiles pour alimenter le volet vulgarisation du programme de mise en valeur de la Maison ERE 132 et pour le volet pédagogique des différents niveaux d'enseignements (du primaire à l'université).

Considérant que la cible de ce projet est de rendre les mesures accessibles et non de répondre aux hypothèses et questions posées, les suites à donner sont très importantes pour atteindre le plein potentiel de cette recherche. Pour l'instant, il est prévu que nous accompagnerons les différents utilisateurs actuellement ciblés : l'équipe du centre d'interprétation, l'équipe de gestion du site Internet de la Maison ERE 132, les enseignants et les différents acteurs de la construction écologique (ingénieurs, architectes, entrepreneurs, etc.). Nous voyons cet investissement de temps comme une plus-value à notre travail régulier d'enseignants, mais la quantité et le raffinement des traitements vont nécessiter que d'autres intervenants prennent le relais. Certaines réponses peuvent nécessiter un temps de travail considérable qu'il ne sera pas possible d'investir dans le cadre régulier de nos fonctions. De plus, principalement pour une question de transfert d'expertise, nous considérons qu'il serait souhaitable que d'autres personnes s'investissent dans ce projet.

L'entretien du système et la calibration (ou étalonnage) de certaines sondes enjoindront aussi un suivi rigoureux afin que les mesures puissent rester justes sur plusieurs années. Certaines données seront effectivement beaucoup plus pertinentes pour brosser un portrait de la situation au cours de plusieurs années plutôt que pour une année précise.

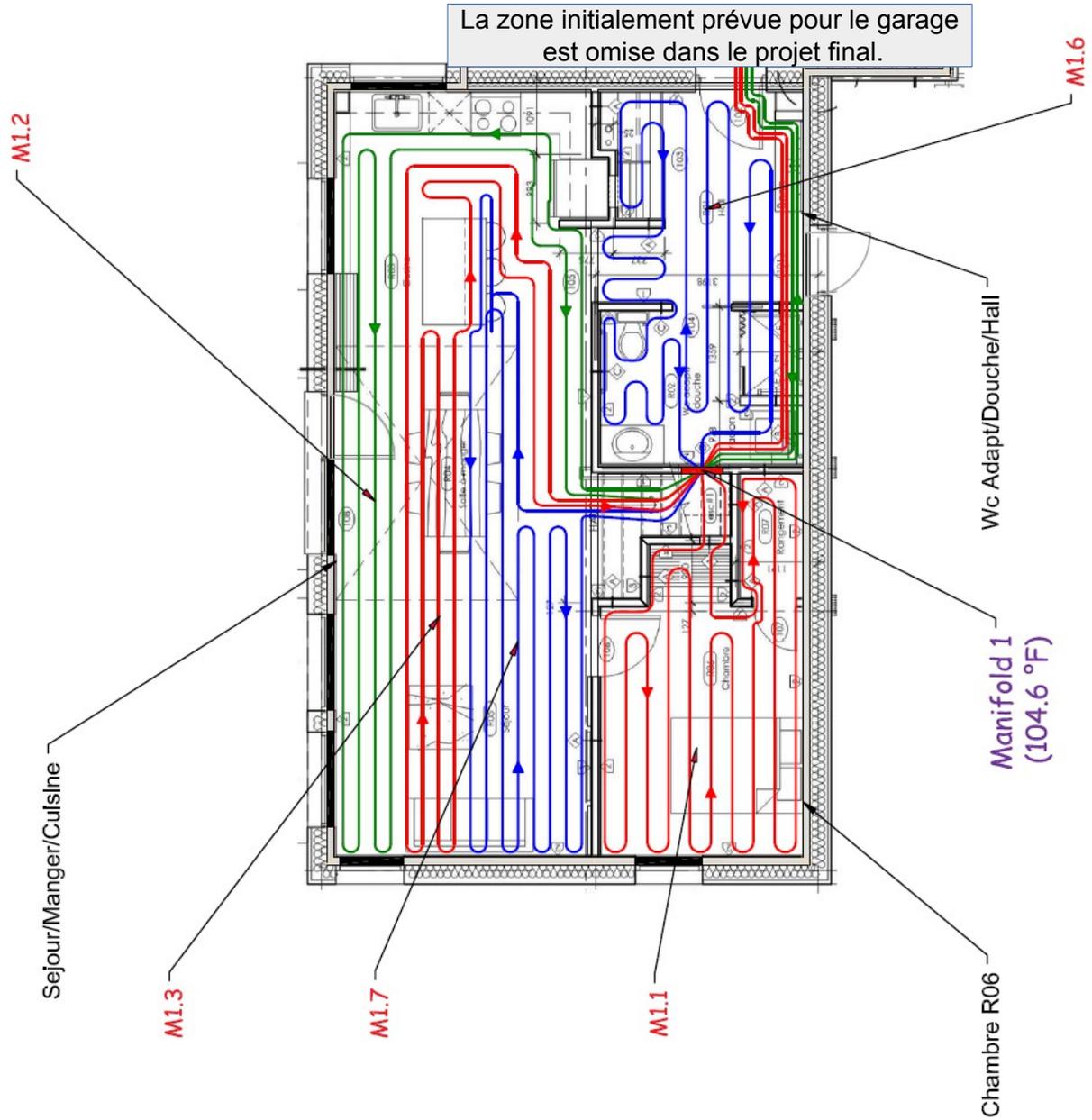
Nous souhaitons donc que les données pouvant être extraites de ce monitoring sachent répondre aux hypothèses exprimées et, nous l'espérons, soient utilisables et interprétables par les différents acteurs de la construction écologique. Nous espérons aussi que ce projet contribue – même modestement – aux changements pressants pour que ce secteur d'activité tende vers des pratiques respectant davantage les principes de développement durable. Pour que l'exception d'aujourd'hui devienne la norme de demain!

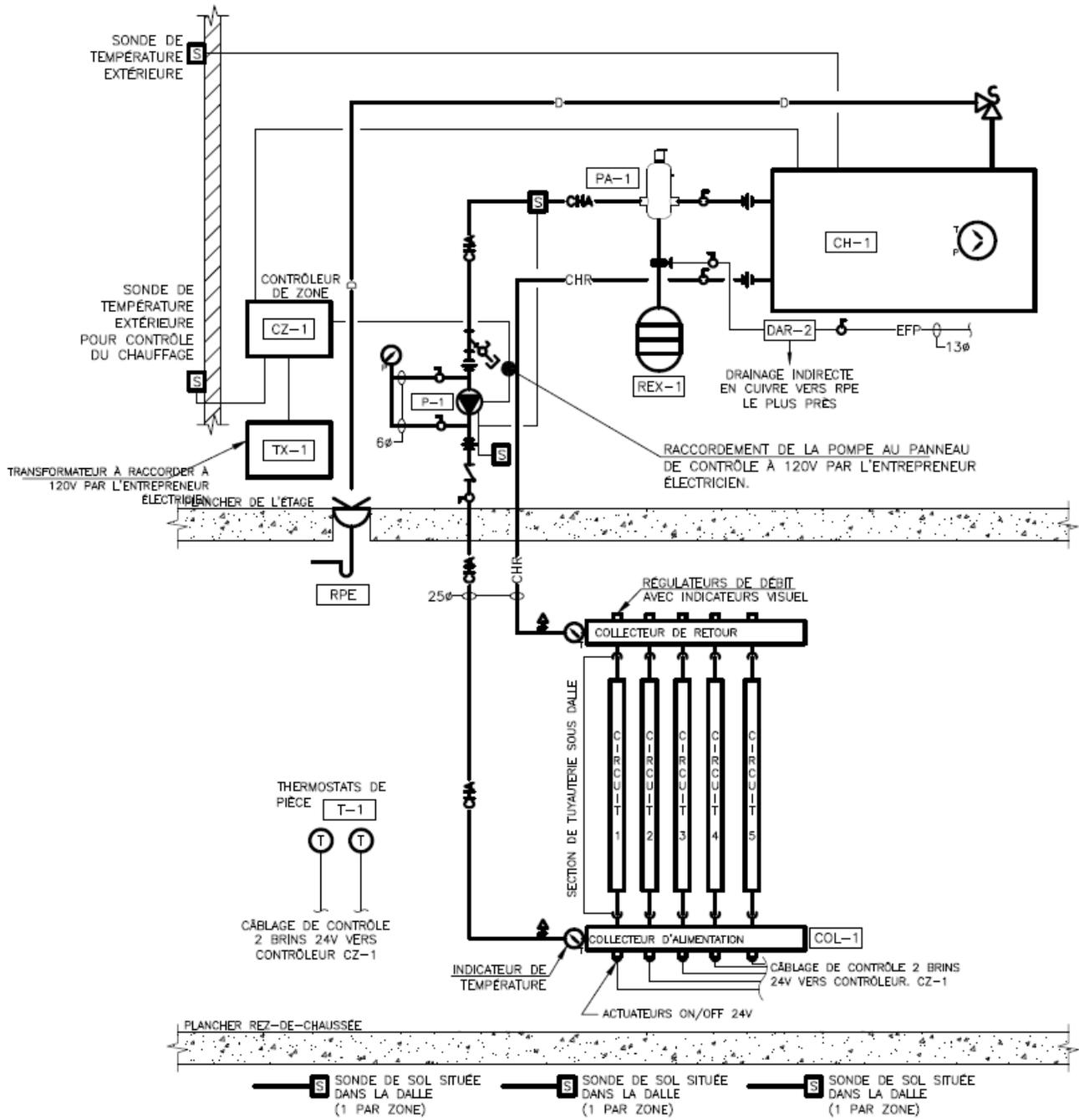
BIBLIOGRAPHIE

- [1] COLLECTIF. ASHRAE Handbook Fundamentals 2013. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, 2013.
- [2] COLLECTIF. ANSI/ASHRAE Standard 62.1 - 2004 et 2007. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, 2004 et 2007.
- [3] ROULET, Claude-Alain. Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments. Deuxième édition, Lausanne, Les Presses polytechniques et universitaires romandes, Science et ingénierie de l'environnement, 2008, 362p.
- [4] CANUEL, Mario, « Comment évaluer la rentabilité des mesures d'efficacité énergétique résidentielle », *La maison du 21^e siècle*. maisonsaine.ca/construction-verte. 4 décembre 2014. <https://maisonsaine.ca/construction-verte/comment-evaluer-la-rentabilite-des-mesures-d-efficacite-energetique-residentielle.html> [consulté le 20 mai 2015].
- [5] WINDER, Kelly et Chris JAMES. CMHC Equilibrium™ Sustainable Housing Demonstration Initiative Avalon Discovery 3 Projet - Two Year Performance Monitoring Report. Saskatchewan Research Council, 2013, 98p. ftp://ftp.cmhc-schl.gc.ca/chic-ccd/Research_Reports-Rapports_de_recherche/eng_unilingual/Ca1%20MH%2013A83v2_W.pdf [consulté le 20 mai 2015].
- [6] WINDER, Kelly. CMHC Equilibrium™ Sustainable Housing Demonstration Initiative Laebon CHESS Project – One Year Performance Monitoring Report. Saskatchewan Research Council, 2013, 89p. ftp://ftp.cmhc-schl.gc.ca/chic-ccd/Research_Reports-Rapports_de_recherche/eng_unilingual/CA1%20MH%2013C03%20v2W.pdf [consulté le 20 mai 2015].
- [7] WINDER, Kelly. CMHC Equilibrium™ Sustainable Housing Demonstration Initiative EcoTerra™ Project – One Year Performance Monitoring Report. Saskatchewan Research Council, 2013, 72p. ftp://ftp.cmhc-schl.gc.ca/chic-ccd/Research_Reports-Rapports_de_recherche/eng_unilingual/Ca1%20MH%2013E12v2_W.pdf [consulté le 20 mai 2015].
- [8] JAMES, Chris et al. CMHC Equilibrium™ Sustainable Housing Demonstration Initiative Now House® Project – One Year Performance Monitoring Report. Saskatchewan Research Council, 2013, 83p. ftp://ftp.cmhc-schl.gc.ca/chic-ccd/Research_Reports-Rapports_de_recherche/eng_unilingual/Ca1%20MH%2013N53v2_W.pdf [consulté le 20 mai 2015].

- [9] WINDER, Kelly et Chris JAMES. CMHC Equilibrium™ Sustainable Housing Demonstration Initiative Riverdale NetZero (East) Project – One Year Performance Monitoring Report. Saskatchewan Research Council, 2013, 90p. ftp://ftp.cmhc-schl.gc.ca/chic-ccd/h/Research_Reports-Rapports_de_recherche/eng_unilingual/Ca1%20MH%2013R35v3_W.pdf [consulté le 20 mai 2015].
- [10] « Résultats du suivi de la maison Factor 9 », *Le point en recherche*. Série technique 09-107, juin 2009. <http://www.cmhc-schl.gc.ca/odpub/pdf/66570.pdf?fr=1421863490768> [consulté le 20 mai 2015].
- [11] Novoclimat 2.0, Exigences techniques, volets « maison » et « petit bâtiment multilogement », janvier 2014. http://www.efficaciteenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/novo2/exigences_novoclimat2_maison-PBM.pdf

ANNEXE 1 – Distribution du plancher radiant

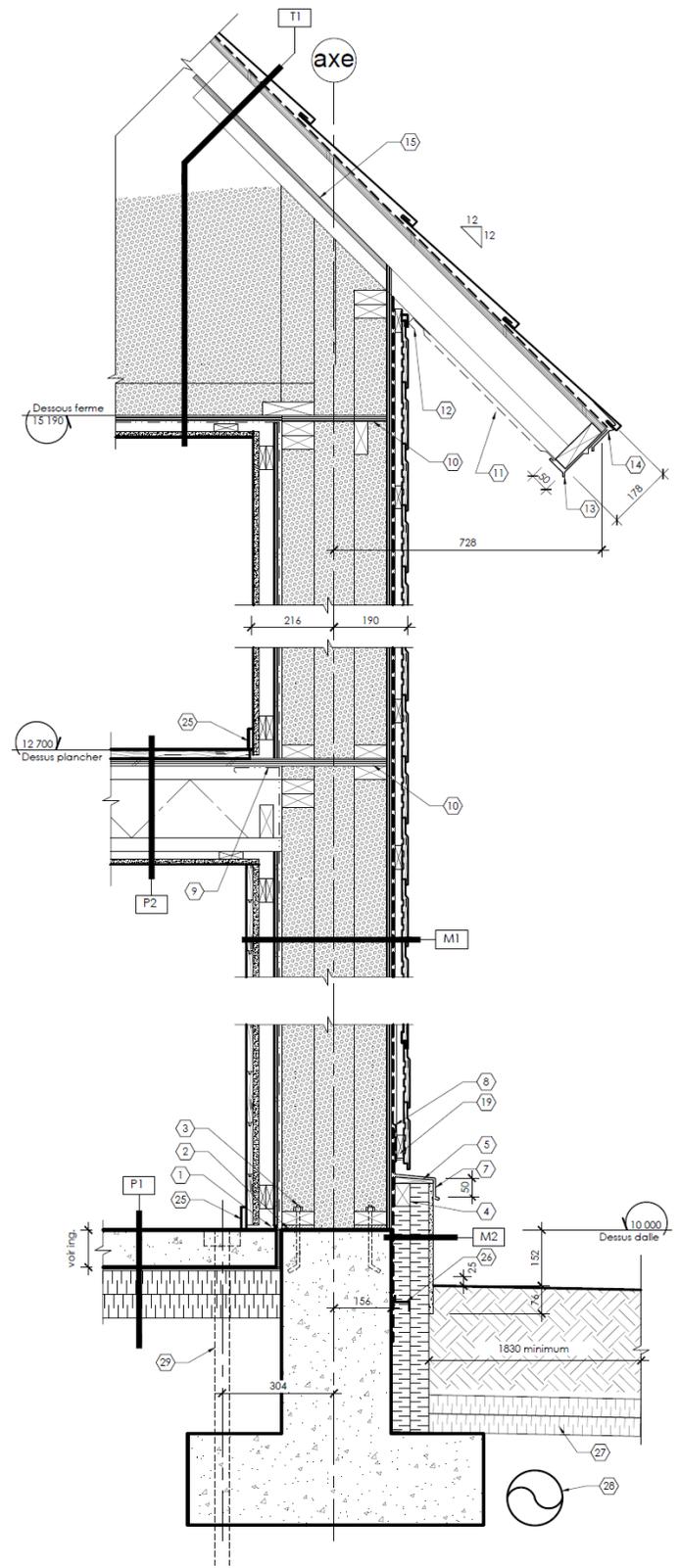




**DÉTAIL DU RACCORDEMENT DU
SYSTÈME DE CHAUFFAGE RADIANT**
AUCUNE ÉCHELLE

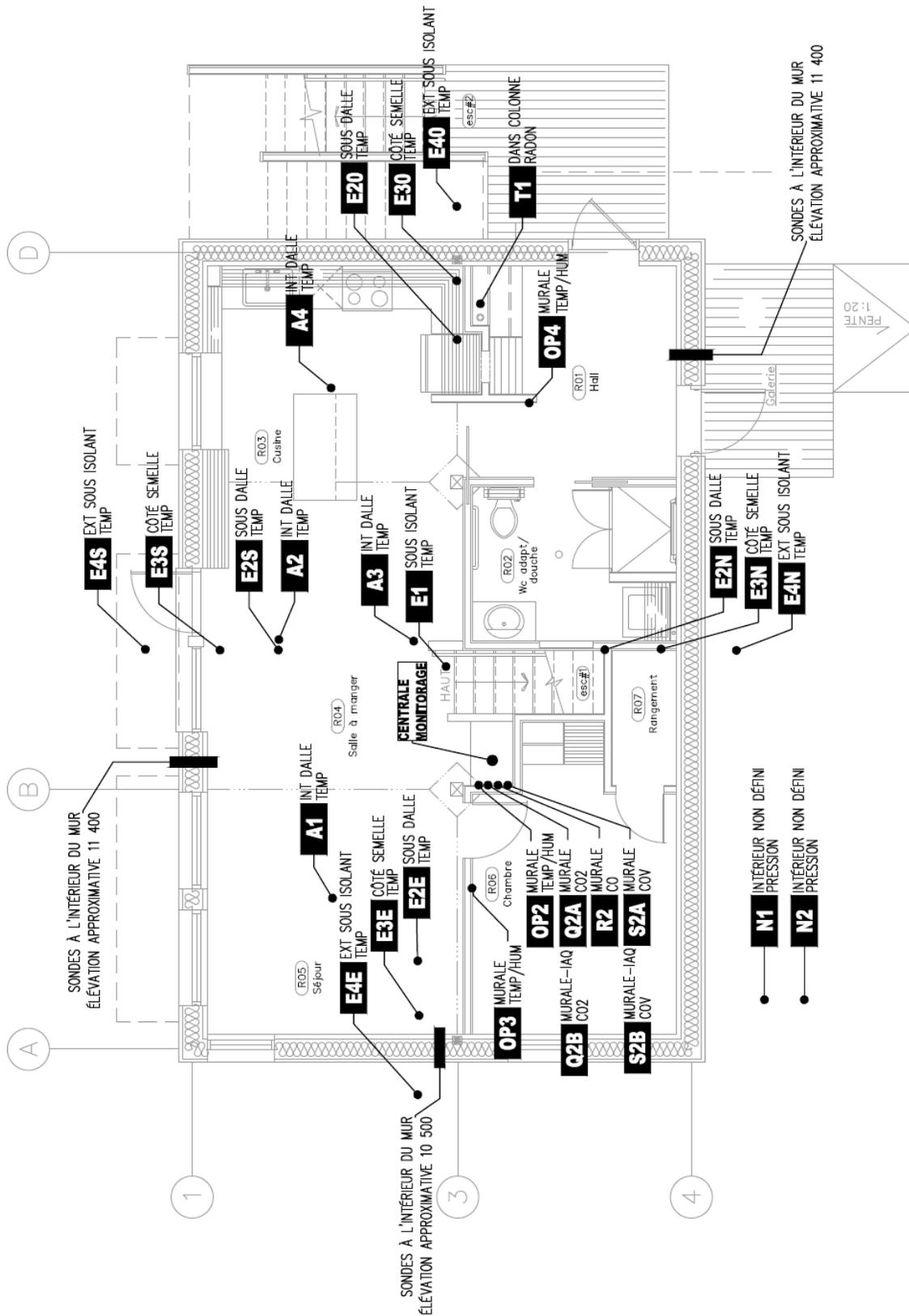
ANNEXE 2 – Composition des murs

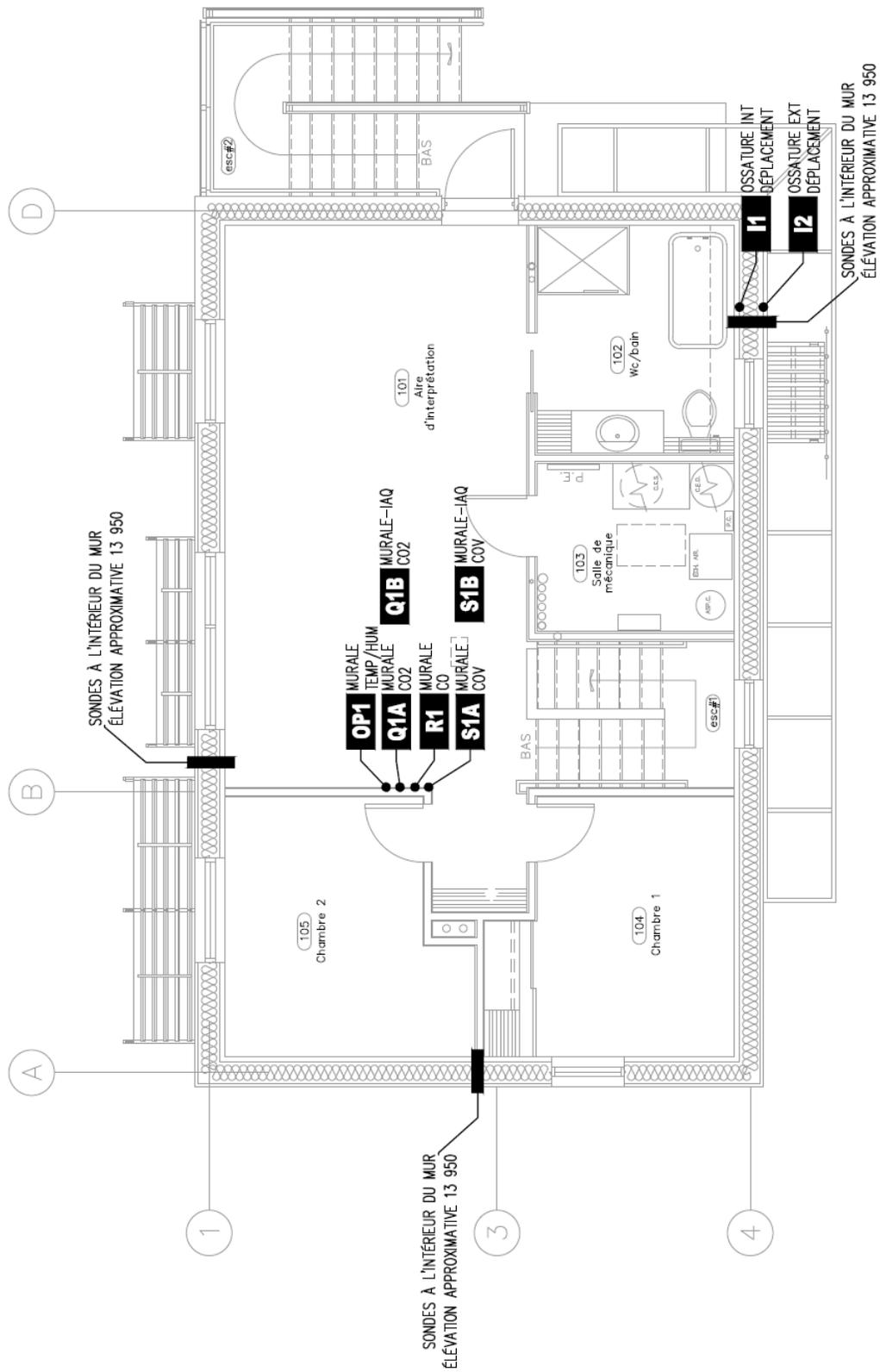
COMPOSITIONS	
M1 Rsi 8.4	MUR EXTÉRIEUR / ISOLANT CELLULOSE - Revêtement de bois 16mm - Fourrure de bois 19x64mm posée à la diagonale @ 400mm c/c - Pare-air - Carton-fibre enduit Éco13mm - Colombage de bois 38x89 espacement voir ing. - Isolant de cellulose injecté, 285mm Rsi 7.4 - Colombage de bois 38x89 espacement voir ing. - Pare-vapeur - Fourrure de bois 19mm ou contreventement, voir ing. - Fourrure de bois double 19x64mm posée à la verticale @ 400mm c/c - Gypse 16mm plastrer - Lambris de bois 10mm, si indiqué aux plans, voir plan pour essence.
M2 Rsi 3.7	MURET FONDATION ~Panneau de fibrociment 13mm fixé mécaniquement à la fondation (fixation apparente acier galvanisé), joints chanfreinés et scellés. ~ Polystyrène expansé haute densité, 64mm Rsi 1.8 ~ Polystyrène expansé haute densité, 64mm Rsi 1.8 ~Membrane d'étanchéité pare-air autocollante ~Béton voir ing.
T1 Rsi 13.9	TOITURE TYPE - Tôle métallique -Membrane d'étanchéité haute température pleine surface -Contreplaqué, voir ing. - Ferme de toit voir ing. - Isolant de cellulose en vrac, Rsi 13.3 de 610mm appliqué - Carton-fibre 13mm - Pare vapeur - Fourrure de bois 19x64mm @ 400c/c - Gypse 16mm, plastrer et peindre

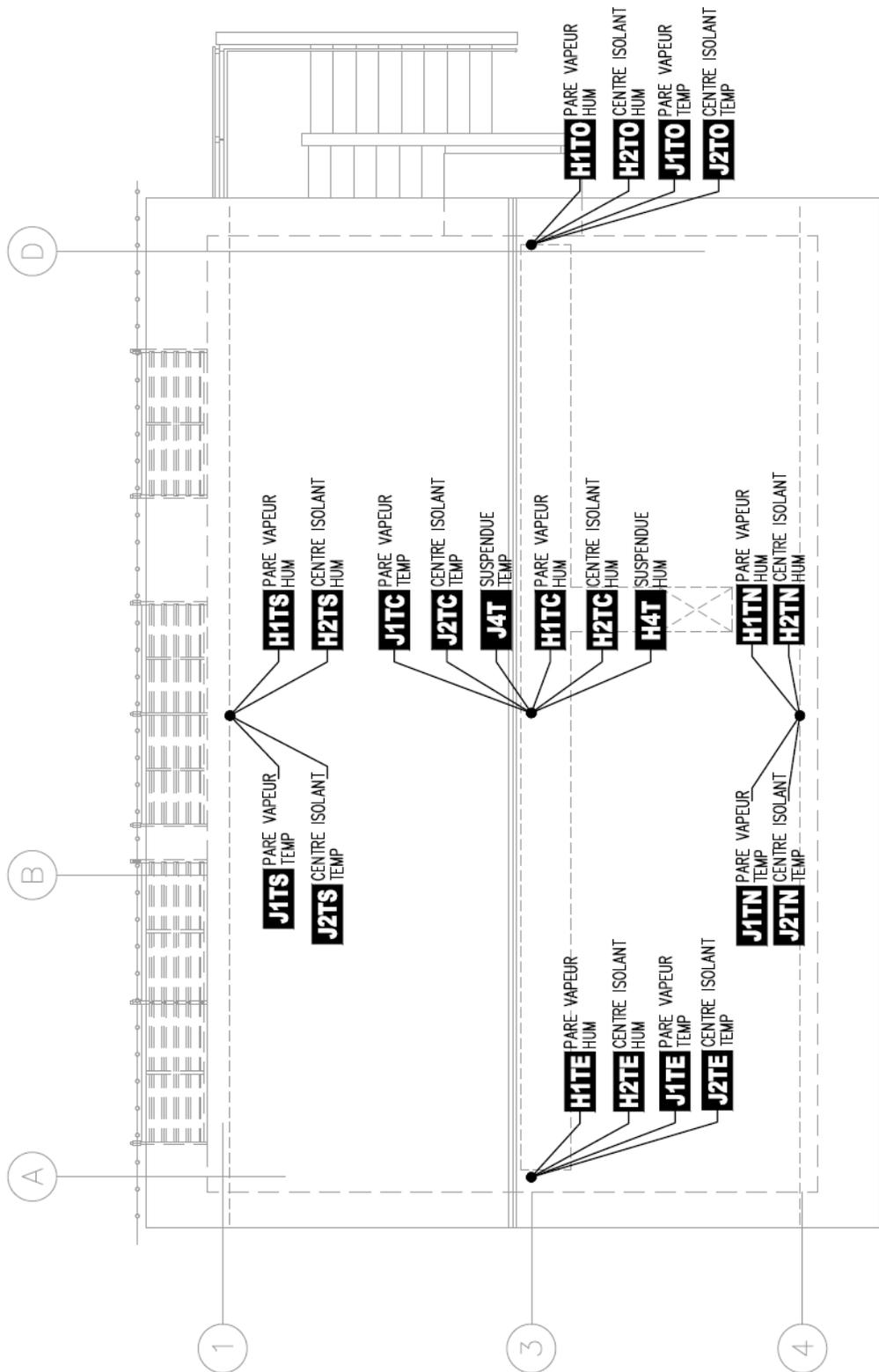


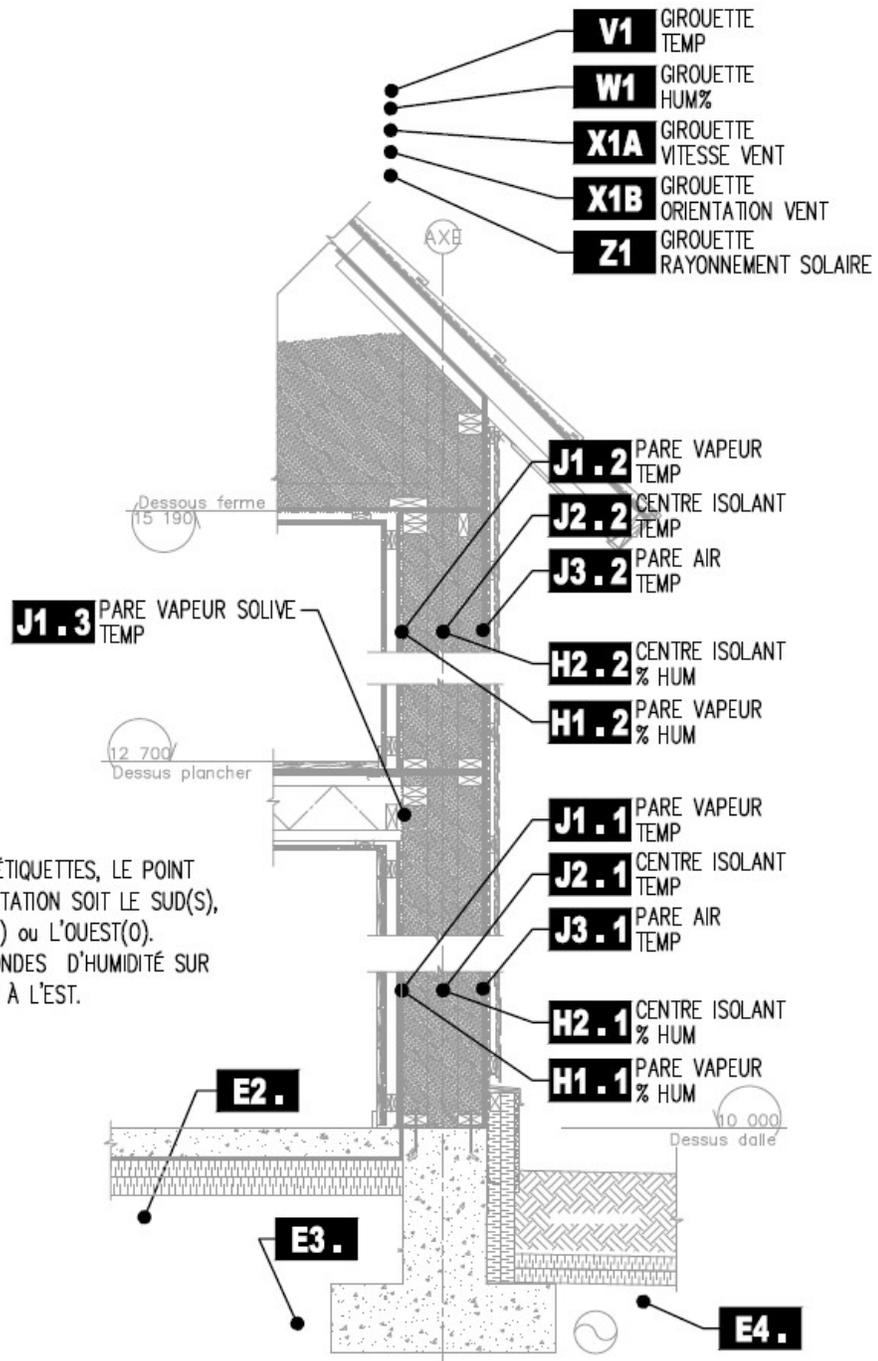
1
6
Coupe de mur type
1:10

ANNEXE 3 – Position des sondes



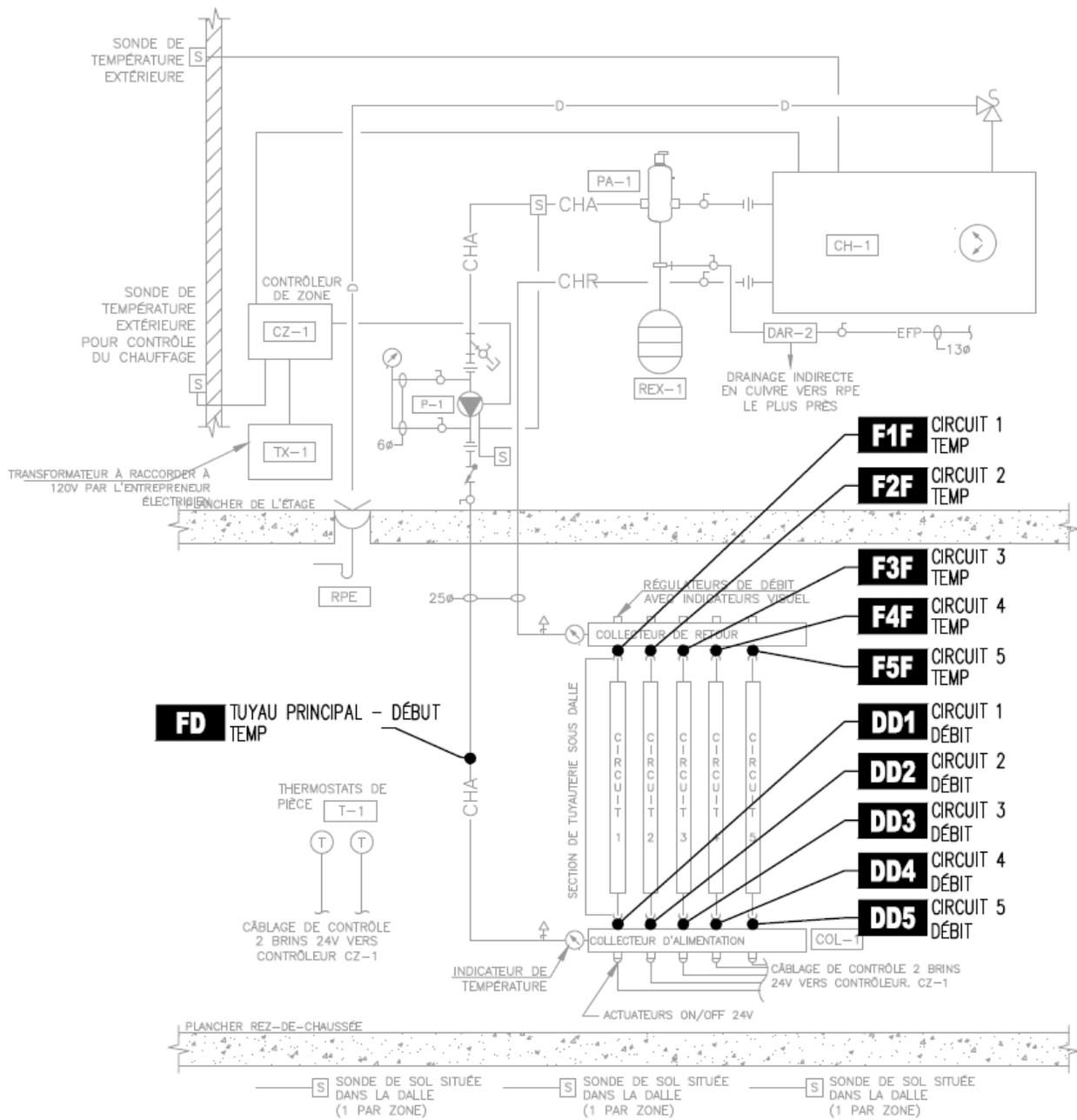






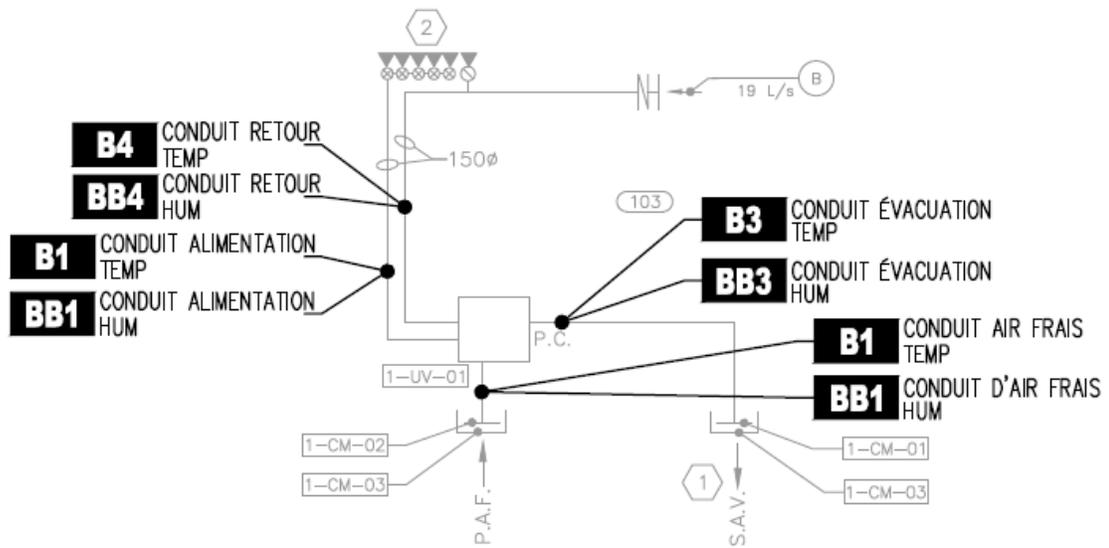
NOTE:

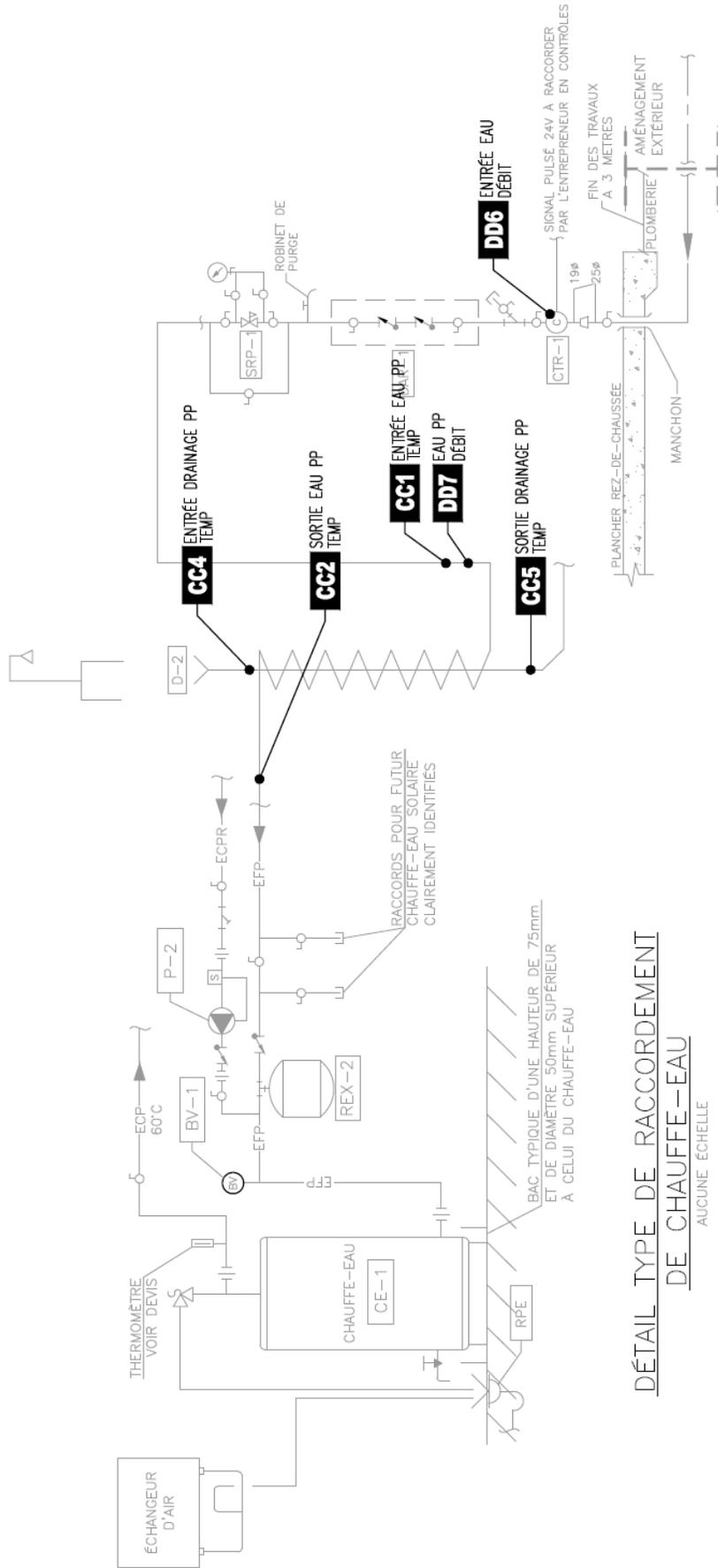
1. DANS LE NOM DES ÉTIQUETTES, LE POINT REPRÉSENTE L'ORIENTATION SOIT LE SUD(S), LE NORD(N), L'EST(E) ou L'OUEST(O).
2. IL N'Y A PAS DE SONDES D'HUMIDITÉ SUR LES MURS ORIENTÉS À L'EST.



DÉTAIL DU RACCORDEMENT DU SYSTÈME DE CHAUFFAGE RADIANT

AUCUNE ÉCHELLE





DÉTAIL TYPE DE RACCORDEMENT
DE CHAUFFE-EAU
AUCUNE ECHELLE

DETAIL TYPE DE L'ENTREE D'EAU
AUCUNE ECHELLE

ANNEXE 4 – Liste des interventions

ERE 132
Vitrine d'excellence en écoconstruction
Construction neuve

Annexe A
LISTE DES INTERVENTIONS
Page 1 de 1

Séquences	Description	Référence sonde
1	▪ Préparation du terrain	
2	▪ Pieux	
3	▪ Barres pour mesures de déplacement des semelles	
4	▪ Gaines sondes D (25-50 cm sous la semelle)	D
5	▪ Gaines sondes E (10 cm sous niveau de gel, 10 cm sous la semelle, 10 cm sous la dalle)	E
6	▪ Manifold pour le regroupement des gaines	
7	▪ Remblayage et compactage	
8	▪ Isolant, pare-vapeur	
9	▪ Armature de la dalle	
10	▪ Tubulure du plancher radiant	
11	▪ Gaines sondes A (dans la dalle)	A
12	▪ Coulage semelle et dalle	
13	▪ Charpente	
14	▪ Sondes à l'intérieur des murs, toiture	H, J, N, GG, V, W, X, Z
15	▪ Installation des boîtes d'acquisition de données (mur intérieur)	
16	▪ Filage des sondes vers l'ordinateur	
17	▪ Isolation	
18	▪ Revêtement intérieur des murs extérieurs	
19	▪ VRC	
20	▪ Sondes aux entrées et sorties des gaines	B, C, BB
21	▪ Chaudière plancher radiant + manifold	
22	▪ Sondes aux entrées et sorties de la chaudière et des zones au manifold	F
23	▪ Récupération des eaux de drainage	
24	▪ Sondes aux entrées et sorties	CC, DD
25	▪ Revêtement des murs extérieurs	
26	▪ Panneau électrique principal et secondaire	
27	▪ Beignes ampérométriques	AA

** La référence aux sondes est réservée au département de mécanique du bâtiment et de technique électronique du Cégep de Rimouski.

N/D : 2012-143-1

Les architectes Goulet et LeBel / Marcel Banville Architecte

ANNEXE 5 – Groupes de mesures

	Qté	Étiquette	Intervalle de mesures	Notes
Groupe 1 : Sol et dalle				
Température - Sol	13	E	/h; 24h/j; 365j/an	
Température - Dalle	4	A	/h; 24h/j; 365j/an	
Contraintes(déplacement) - Murs	2	I	/h; 24h/j; 365j/an	
Groupe 2 : Murs				
Température	21	J	/h; 24h/j; 365j/an	
Humidité	8	H	/h; 24h/j; 365j/an	
Groupe 3 : Toit				
Température	11	J	/h; 24h/j; 365j/an	
Humidité	11	H	/h; 24h/j; 365j/an	
Groupe 4 : Conditions intérieures				
Température	4	O	/h; 24h/j; 365j/an	
Humidité	4	P	/h; 24h/j; 365j/an	
Pression	2	N	/h; 24h/j; 365j/an	
CO ₂	2 2	QA QB	/h; 24h/j; 365j/an	
CO	2	R	/h; 24h/j; 365j/an	
COV	2 2	SA SB	/h; 24h/j; 365j/an	
Radon	1	T	/h; 24h/j; 365j/an	
Groupe 5 : Conditions extérieures				
Température	1	V	/h; 24h/j; 365j/an	
Humidité	1	W	/h; 24h/j; 365j/an	
Vitesse des vents	1	X	/h; 24h/j; 365j/an	
Orientation des vents	1	X	/h; 24h/j; 365j/an	
Rayonnement solaire	1	Z	/h; 24h/j; 365j/an	
Groupe 6 : Consommation électrique				
kWh	2	AA	/h; 24h/j; 365j/an	
kWh	16	TED	Géré par l'appareil externe TEDPro	

	Qté	Étiquette	Intervalle de mesures	Notes
Groupe 7 : Équipements				
VRC - Température	4	B		
VRC - Humidité	4	BB		
Plancher radiant - Débit d'eau	5	DD	Du 15 sept. au 30 mai.	
Plancher radiant - Température	6	F		
PP* - Température	4	CC	Au déclenchement de DD7, prendre les lectures CC1, CC2, CC4 et CC5 aux 10 sec.	
PP* - Débit	1	DD		
Consommation eau - Débit	1	DD		

*PP : power pipe (échangeur de chaleur eau de drainage)

ANNEXE 6 – Environnement visuel pour l'affichage des données

Environnement visuel pour le groupe de mesure GROUPE 1 : SOL ET DALLE

La lecture des sondes s'affichera dans la case appropriée et sera « rafraîchie » à chaque intervalle de temps déterminé pour la lecture (ex. à toute les heures).

