

Rapport

Suivi PREBAT - Rapport final

Opération de rénovation énergétique de l'école de
Saint-Viance (Corrèze)

Novembre 2017



Rapport établi par : Laurent SELVE

| Date | Version | Commentaires |
|---------------|---------|----------------------|
| Août 2016 | 0 | Rédaction initiale |
| Novembre 2017 | 1 | Rédaction définitive |
| | | |

Récapitulatif de l'affaire

Client : Michèle DEBAYLE, Directrice Régionale Déléguée
ADEME
Direction Régionale Limousin
38ter, avenue de la Libération - BP 20259 - 87 007 LIMOGES Cedex

Objet de l'étude : Suivi PREBAT - Rapport final – Opération de rénovation énergétique de l'école de Saint-Viance (Corrèze)

Résumé de la commande : Suivi de performance énergétique et instrumentation de l'école de Saint-Viance (Corrèze), dans le cadre de l'opération de rénovation énergétique lauréate de l'appel à projets PREBAT

Référence dossier : Affaire C15LP0086-07 – Convention ADEME 1104C0063

Communicabilité : Libre (avec acceptation préalable du commanditaire dans le contrat)
 Contrôlée (communiquée uniquement avec l'autorisation du commanditaire a posteriori)
 confidentielle (non référencée dans IsaWeb)

Chargé d'affaire : Laurent SELVE –Département Laboratoire de Clermont-Ferrand –
Tél. +33 (0)4 73 42 10 10 / Fax +33 (0)4 73 42 10 01
Courriel : laurent.selve@cerema.fr

Constitution de l'équipe : Olivier BONNEAU, Laurent SELVE

Mots Clés : Bâtiment, Construction, PREBAT, Ecole, Performance énergétique, Saint-Viance

Liste des destinataires

| Contact | Adresse | Nombre – Type |
|---|---|----------------------|
| Michèle DEBAYLE, Directrice Régionale Déléguée | ADEME Direction Régionale Limousin 38ter, avenue de la Libération - BP 20259 - 87 007 LIMOGES Cedex michele.debayle@ademe.fr | 1ex papier 1. pdf |
| DREAL Nouvelle Aquitaine, Myriam SAPPEY | myriam.sappey@developpement-durable.gouv.fr | 1. pdf |
| ADEME Service Bâtiment Gilles AYMOZ Pierre-Edouard VOUILLAMOZ | gilles.aymoz@ademe.fr pierre-edouard.vouillamoz@ademe.fr | 1. pdf |
| Pascal CHEIPPE Laurent LALOGE | Cerema TV, pascal.cheippe@cerema.fr , laurent.laloge@cerema.fr | 1. pdf |
| Fabien AURIAT | DGALN/DHUP/QC1, fabien.auriat@developpement-durable.gouv.fr | 1. pdf |

Conclusion – Résumé

Le présent rapport présente l'analyse des deux années de données d'instrumentation de l'opération de rénovation de l'école de Saint-Viance en Corrèze. Il établit une performance du bâtiment supérieure au calcul conventionnel et met en avant des très bons résultats au niveau des consommations de chauffage et d'éclairage. Même si ce bilan énergétique est très satisfaisant, quelques investigations complémentaires ou interventions peuvent être engagées afin de l'améliorer encore. Des mesures de qualité de l'air intérieur semblent également nécessaires afin de vérifier le bon fonctionnement de la ventilation. Par ailleurs, la mise en place d'un dispositif de surventilation nocturne contribuerait à améliorer le confort des occupants lors des fortes chaleurs. Enfin, si l'on se réfère aux consommations observées lors de ces deux premières années de suivi, et sous réserve des hypothèses retenues pour l'approche économique, les investissements réalisés sur cette opération présentent un intérêt éco-énergétique manifeste, avec un temps de retour sur investissement hors valeur résiduelle estimé à 18 ans.

Clermont-Ferrand, le

Le Directeur du Département Laboratoire de Clermont-Ferrand

Roland COTTE

Sommaire

| | |
|---|----|
| 1 -Contexte et objectifs de l'étude | 6 |
| 1.1 Contexte | 6 |
| 1.2 Objectifs de l'étude | 6 |
| 2 -Première année de suivi | 7 |
| 2.1 Relevés et analyses des consommations brutes | 7 |
| 2.1.1 Périodes considérées pour l'analyse des données | 7 |
| 2.1.2 Analyse globale des données – bilan des consommations | 8 |
| 2.2 Analyse de l'occupation | 10 |
| 2.3 Analyse de l'enveloppe | 11 |
| 2.3.1 Méthodologie et hypothèses | 11 |
| 2.3.2 Résultats obtenus sur le coefficient Ubât | 12 |
| 2.4 Analyse du confort hiver/été | 13 |
| 2.4.1 Locaux suivis | 13 |
| 2.4.2 Présentation des résultats | 13 |
| 2.4.3 Confort d'hiver | 16 |
| 2.4.4 Confort d'été | 22 |
| 2.5 Analyse du fonctionnement de la production de chauffage | 28 |
| 2.6 Consommation globale d'éclairage | 30 |
| 2.7 Analyse des consommations des Auxiliaires | 30 |
| 2.7.1 Auxiliaires de ventilation | 30 |
| 2.7.2 Autres auxiliaires | 31 |
| 2.8 Consommations recalées | 31 |
| 2.8.1 Impact du climat | 31 |
| 2.8.2 Impact des scénarios d'occupation, de ventilation et des apports internes | 32 |
| 2.8.3 Synthèse | 32 |
| 2.9 Consommations corrigées | 33 |
| 2.9.1 Correction de la température de consigne | 33 |
| 2.9.2 Correction de l'indicateur de perméabilité à l'air du bâtiment | 33 |
| 2.9.3 Correction du coefficient de performance de la pompe à chaleur | 34 |
| 2.9.4 Étude de sensibilité sur la température de consigne | 34 |
| 2.9.5 Synthèse des corrections | 34 |
| 3 -Seconde année de suivi | 36 |
| 3.1 Relevés et analyses des consommations brutes | 36 |
| 3.1.1 Périodes considérées pour l'analyse des données | 36 |
| 3.1.2 Analyse globale des données – bilan des consommations | 37 |
| 3.2 Analyse de l'occupation | 38 |
| 3.3 Apports solaires | 40 |
| 3.4 Analyse de l'enveloppe | 41 |
| 3.4.1 Méthodologie et hypothèses | 41 |
| 3.4.2 Résultats obtenus sur le coefficient Ubât | 41 |
| 3.5 Analyse du confort hiver/été | 42 |
| 3.5.1 Locaux suivis | 42 |
| 3.5.2 Présentation des résultats | 42 |
| 3.5.3 Confort d'hiver | 43 |
| 3.5.4 Confort d'été | 51 |
| 3.6 Analyse du fonctionnement de la production de chauffage | 57 |
| 3.7 Consommation globale d'éclairage | 57 |
| 3.8 Analyse des consommations des Auxiliaires | 57 |

| | |
|---|-----------|
| 3.8.1 - Auxiliaires de ventilation | 57 |
| 3.8.2 - Autres auxiliaires | 58 |
| 3.9 - Consommations recalées | 58 |
| 3.9.1 - Impact du climat | 58 |
| 3.9.2 - Impact des scénarios d'occupation, de ventilation et des apports internes | 59 |
| 3.9.3 - Synthèse | 59 |
| 3.10 - Consommations corrigées | 60 |
| 3.10.1 - Correction de la température de consigne | 60 |
| 3.10.2 - Correction de l'indicateur de perméabilité à l'air du bâtiment | 60 |
| 3.10.3 - Correction du coefficient de performance de la pompe à chaleur | 60 |
| 3.10.4 - Synthèse des corrections | 60 |
| 4 -Analyse économique | 62 |
| 4.1 - Objectifs | 62 |
| 4.2 - Données et hypothèses considérées | 62 |
| 4.3 - Résultats | 63 |
| 4.3.1 - Décomposition du coût de l'opération | 63 |
| 4.3.2 - Analyse | 65 |
| 5 -Bilan général et conclusion | 68 |
| 6 -Signatures | 69 |
| Annexes | 71 |
| Annexe A - Cahier de suivi de l'opération | 71 |

1 - Contexte et objectifs de l'étude

1.1 - Contexte

Le présent rapport présente l'analyse des deux années de données (de décembre 2013 à septembre 2015) issues de l'instrumentation réalisée dans le cadre du suivi PREBAT de l'immeuble de l'école primaire de Saint-Viance, en Corrèze. Il fait suite aux premières phases de suivi de cette opération destinées respectivement à :

- évaluer la conception,
- définir l'instrumentation nécessaire à l'étude,
- assurer un suivi de l'exécution en phase chantier.

Ces premières phases font l'objet du rapport de suivi de l'opération joint en annexe A. Ce dernier comprend notamment :

- une présentation détaillée du projet,
- les analyses du dossier de Consultation des Entreprises (DCE),
- les protocoles de suivi et cahier des charges d'instrumentation,
- les compte-rendus de visite de chantier.

Il est accompagné d'un dossier de photographies complété au fur et à mesure de la conduite de l'opération.

1.2 - Objectifs de l'étude

L'étude vise à :

- **situer les performances réelles du bâtiment construit** par rapport aux exigences de l'appel à projets en matière d'énergie et de confort et par rapport à une solution strictement conforme à la réglementation en vigueur ;
- **analyser et expliciter les différences entre ces performances**, dans la mise en œuvre et à la livraison des bâtiments ;
- **évaluer l'impact sur la consommation d'énergie de dispositions constructives et de systèmes énergétiques particuliers** mis en œuvre dans les bâtiments, non pris en compte à ce jour dans la réglementation en vigueur (par exemple : puits canadiens, etc.) ;
- **mesurer la « rentabilité » des opérations** au regard des coûts d'ingénierie et d'investissement, d'une part et des économies d'énergies réalisées, d'autre part (analyse en coût global) ;
- **faire des propositions d'actions correctives** sur les dispositions non conformes aux travaux définis dans les marchés des entreprises et plus généralement sur les écarts constatés ;
- **contribuer directement ou indirectement à l'évolution des outils de conception existants**, en relevant les manques de ceux-ci ;
- **contribuer directement ou indirectement à l'optimisation de l'exploitation des équipements** en particulier comme conséquence des analyses des différences entre performances attendues et réelles.

Les données analysées sont les données enregistrées entre le 13 décembre 2013 et le 20 septembre 2015. Dans un premier temps, les analyses sont effectuées de manière annuelle. Un bilan de la période de suivi est ensuite présenté.

2 - Première année de suivi

2.1 - Relevés et analyses des consommations brutes

2.1.1 - Périodes considérées pour l'analyse des données

L'instrumentation est entrée pleinement en service en décembre 2013. Les analyses portent globalement sur les données enregistrées entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2014. Selon les besoins, des données antérieures ou postérieures sont considérées. Par exemple, l'analyse du confort d'hiver est réalisée à partir des relevés effectués entre le 13 décembre 2013 et le 25 mars 2014. Les analyses concernant les performances du système de chauffage sont réalisées à partir de données compilées à partir des périodes allant du 22 octobre 2014 au 1^{er} avril 2015. La température intérieure conventionnelle (Tic) est, pour sa part, analysée sur la période estivale allant du 14 juin au 15 septembre 2014.

Problèmes rencontrés

Plusieurs problèmes de mesure ont été rencontrés au cours de la première année de suivi :

- absence de données météo entre le 18 décembre 2013 et le 8 mars 2014 puis entre le 24 juillet et le 26 août 2014 ;
- dysfonctionnement des compteurs électriques dédiés aux comptages d'éclairage et des auxiliaires de ventilation.

Concernant le dernier point, certains compteurs ont subi un dysfonctionnement important jusqu'en mars 2014, période à laquelle l'entreprise Deltadore est revenue faire une intervention. Le format d'envoi des données par messagerie ne permet pas d'avoir une vue globale des consommations sans un traitement lourd des données. **Ce premier bilan annuel montre qu'il subsiste des interrogations quant au bon paramétrage des compteurs d'éclairage et de ventilation.**

Hypothèses retenues pour l'analyse

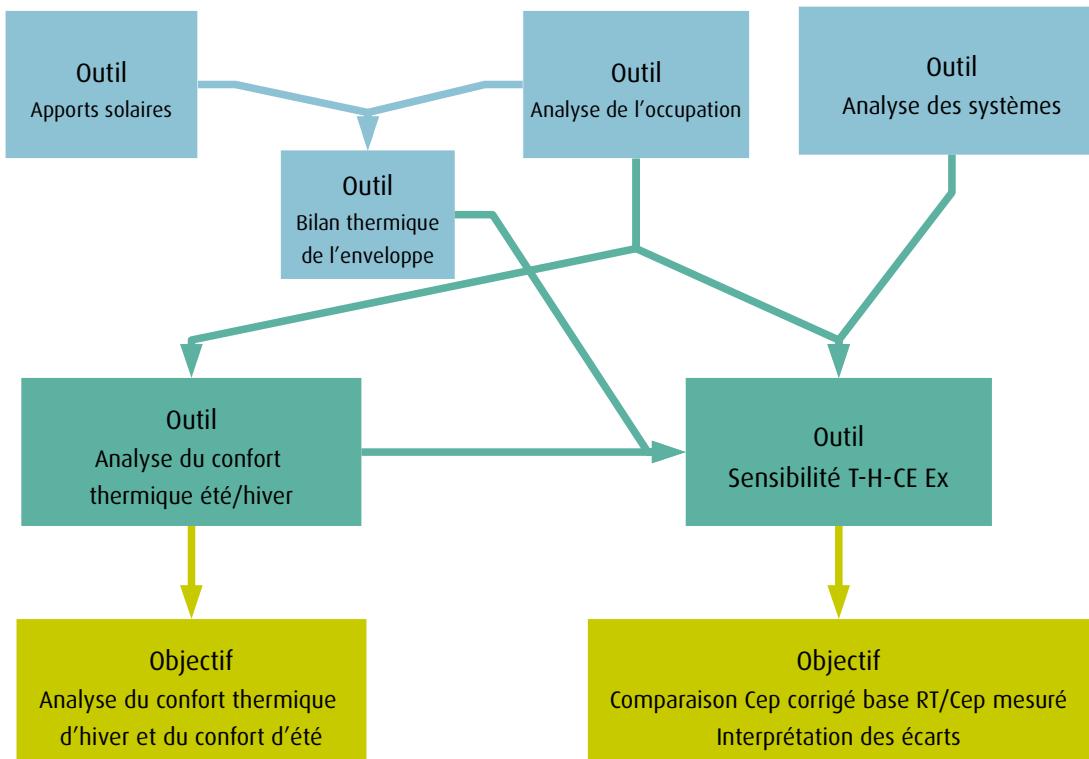
Afin de disposer d'une année complète de données, il a été décidé de compléter les relevés obtenus de la manière suivante :

- prise en compte des températures extérieures relevées par le capteur extérieur installé à l'école ;
- prise en compte des données relatives au rayonnement solaire en hiver de la station météo d'Uzerche ;
- prise en compte des données relatives au rayonnement solaire en été de la station météo de Mâcon (fichier standard) ;
- les données d'hygrométrie sont complétées via le site infoclimat.fr (station de Brive-la-Gaillarde) ;
- les données de vitesse du vent sont complétées à partir des données de la station météo de Brive-la-Gaillarde avec l'ajout d'un coefficient de rugosité de 0,56 pour prendre en compte les caractéristiques du site ;
- prise en compte des index relevés manuellement (les 18/09/2013 et 26/03/2015) pour établir une valeur moyenne des compteurs d'éclairage et des auxiliaires de ventilation.

2.1.2 - Analyse globale des données – bilan des consommations

Méthodologie

Plusieurs outils d'analyse différents développés par le Cerema sont utilisés pour comparer le comportement du bâtiment réel du bâtiment et ses consommations conventionnelles, et trouver ainsi les sources des écarts constatés.



L'outil « **apports solaires** » permet de déterminer les apports solaires réels dont a bénéficié le bâtiment sur la période d'étude. Pour ce faire, pour chaque façade du bâtiment, un relevé des masques proches et lointains est effectué, ainsi qu'un relevé des dimensions des parois opaques, des parois vitrées, des joues et des casquettes. L'albédo et le facteur solaire des différents matériaux sont également renseignés. À partir de la mesure du rayonnement solaire horizontal global enregistré par la station météo, l'outil détermine les apports par façades, puis les apports globaux au bâtiment.

L'outil « **analyse de l'occupation** » utilise les consommations d'électricité spécifique et d'eau chaude sanitaire pour déterminer les plages d'absence, il permet également de déterminer les apports internes liés aux occupants et aux appareils électriques présents à l'intérieur du bâtiment, sur la phase de données recueillies par enquête.

L'outil « **analyse des systèmes** » permet de calculer le rendement ou l'efficacité réelle des systèmes tels que la chaudière bois ou l'échangeur de la VMC double flux à partir des différents compteurs d'énergie et des mesures des sondes de température.

L'outil « **bilan thermique de l'enveloppe** » permet de déterminer les déperditions « expérimentales de l'enveloppe », par différence entre les apports mesurés et estimés et les déperditions connues : apports liés au chauffage, apports solaires, apports internes desquels on déduit les pertes par renouvellement d'air liées à la ventilation, pertes par défauts d'étanchéité à l'air. La différence obtenue constitue les pertes au travers de l'enveloppe. Afin de minimiser l'impact d'éventuelles ouvertures de fenêtres sur la période, l'outil sélectionne la semaine la plus froide de la période étudiée pour effectuer le bilan.

L'outil « **analyse du confort thermique d'hiver** » permet par le biais des mesures de température et hygrométrie à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment de déterminer le confort aérothermique ressenti à l'intérieur du bâtiment, selon les critères de la norme NF EN 15 251 « Critères d'ambiance intérieure pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique ». L'outil donne ainsi le profil horaire de température de la pièce étudiée durant la période d'étude, il permet également de déterminer la température de consigne expérimentale. L'outil permet également de réaliser un diagramme de l'air humide et un diagramme psychrométrique mettant en évidence visuellement la proportion d'heures respectant le confort des habitants, ainsi qu'un histogramme des PMV (votes moyens prévisibles).

L'outil « **analyse du confort thermique d'été** » fonctionne selon le même principe que l'outil « analyse du confort thermique d'hiver » mais se focalise sur le confort d'été. Il permet en outre de déterminer une Tic (température intérieure conventionnelle) expérimentale sur la période la plus chaude.

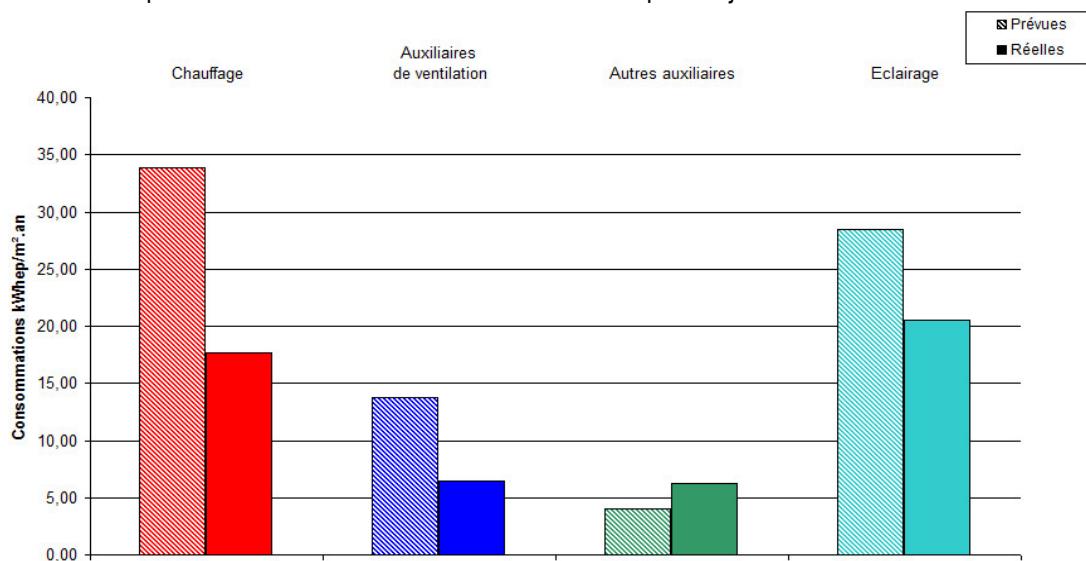
L'outil « **analyse du Cep avec le moteur T-H-C Ex** » permet de comparer le calcul thermique conventionnel de l'étude thermique du projet avec la réalité des consommations. À partir du fichier de l'étude thermique originel, les données d'entrées du moteur de calcul peuvent être remplacées par étapes par les données réelles, permettant de la sorte d'évaluer les facteurs générant des écarts. Sont ainsi modifiés : les scénarios d'occupation du bâtiment, le rendement des systèmes de chauffage et de ventilation, le fichier météo conventionnel, remplacés par les mesures réelles, la température de consigne, la perméabilité à l'air et les déperditions expérimentales de l'enveloppe. La récupération partielle des données n'a permis d'effectuer que certaines analyses.

Dans ce document, toutes les consommations, sauf exceptions, sont données en énergie primaire. Les coefficients de conversion ci-dessous, fixés par convention dans la réglementation thermique 2005, ont été utilisés.

| Coefficient de conversion énergie primaire/énergie finale | |
|--|------|
| Gaz | 1 |
| Électricité | 2,58 |

Consommations de l'année considérée

Le bâtiment fait appel à des ballons électriques pour la production d'eau chaude sanitaire. Ces ballons sont utilisés de manière ponctuelle au niveau des sanitaires. Ils ne font pas l'objet d'un suivi de consommation.



| Tableau bilan Rez-de-chaussée | Consommations (kWep.h/m².an) | | |
|----------------------------------|------------------------------|--------------|---------------|
| | Prévues | Réelles | Gain |
| Chauffage | 33,87 | 17,69 | 47,77% |
| Auxiliaires de ventilation | 13,75 | 6,44 | 53,19% |
| Autres auxiliaires | 4,06 | 6,21 | -53,08% |
| Éclairage | 28,48 | 20,52 | 27,95% |
| TOTAL | 80,16 | 50,85 | 36,56% |

Les consommations globales sont nettement inférieures au résultat théorique du calcul conventionnel (-36,56%).

Hormis le poste « autres auxiliaires » qui présente une surconsommation de 53,08%, tous les postes de consommations mesurés présentent des résultats très inférieurs aux consommations théoriques du calcul conventionnel. Plusieurs raisons peuvent l'expliquer :

- des rendements d'équipements qui diffèrent entre calcul et réalité,
- une température de consigne différente de celle du calcul réglementaire,
- un usage du bâtiment différent de celui prévu par les scénarios conventionnels,
- des conditions climatiques plus favorables (hiver plus doux que celui utilisé par le moteur de calcul, etc.).

2.2 - Analyse de l'occupation

S'agissant d'une école, il est relativement aisé de définir les scénarios d'occupations du bâtiment à partir d'enquêtes auprès des utilisateurs. Deux scénarios d'occupation sont retenus.

a) Scénario « semaine d'école »

| | Population | | Activité sédentaire | | | | Activité légère, debout | | | |
|---------|------------|--|---------------------|--|--|--|-------------------------|--|--|--|
| Enfants | 64 | | 80% | | | | 20% | | | |
| Adultes | 4 | | 80% | | | | 20% | | | |

| Profil d'occupation « Adultes » | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----|-----|------|------|------|----|------|------|------|------|-----|----|
| Heure | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Lundi | 0% | 25% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 25% | 0% |
| Mardi | 0% | 25% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 25% | 0% |
| Mercredi | 0% | 25% | 100% | 100% | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Jeudi | 0% | 25% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 25% | 0% |
| Vendredi | 0% | 25% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 25% | 0% |
| Samedi | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Dimanche | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

| Profil d'occupation « Enfants » | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----|----|------|------|------|----|------|------|------|----|----|----|
| Heure | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Lundi | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 50% | 0% | 0% | 0% |
| Mardi | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 0% | 0% |
| Mercredi | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Jeudi | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 50% | 0% | 0% | 0% |
| Vendredi | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 0% | 0% |
| Samedi | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Dimanche | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

b) Scénario « vacances scolaires »

Les périodes de vacances, durant lesquelles la population du bâtiment est nulle, sont les suivantes.

| Période de vacances | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----|----|--------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| semaine | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| semaine | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| semaine | 51 | 52 | 0 : période d'inoccupation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 0 | 1 : période d'occupation d'1 semaine | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

L'année se décompose en 36 semaines d'école et 16 semaines de vacances.

La prise en compte, dans l'outil PREBAT « occupation », de ces différents scénarios permet de définir le scénario moyen d'occupation hors semaines de vacances ci-dessous.

| Planning moyen d'occupation hors semaine de vacances | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| horaires | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | total |
| lundi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| mardi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| mercredi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| jeudi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| vendredi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| samedi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| dimanche | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 : période d'inoccupation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 40 |
| 1 : période d'occupation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Les apports internes horaires répartis sur la période d'occupation s'élèvent à 12,69 W/m².

2.3 - Analyse de l'enveloppe

2.3.1 - Méthodologie et hypothèses

Grâce à l'instrumentation du bâti, les données suivantes peuvent être connues ou estimées au pas de temps horaire :

- Apports solaires, par décomposition des surfaces de fenêtres, portes et murs pour chaque façade du bâtiment. L'outil PREBAT « Solaire » permet le calcul des apports solaires pour l'année. Les masques solaires lointains et urbains sont pris en compte dans le calcul. Les masques architecturaux (joues, casquettes, etc.) sont également considérés.
- Apports internes ; pour les apports dus à l'occupation, nous considérons l'occupation obtenue à l'aide de l'outil PREBAT « occupation ». Les apports issus des équipements électriques sont pris en compte à partir des comptages électriques réalisés.
- Énergie de chauffage délivrée au bâtiment ; celle-ci est obtenue à partir des compteurs de calories

installés. Ces comptages, associés à celui de la consommation électrique de la pompe à chaleur permettent également d'évaluer le coefficient de performance du système (COP).

- Pertes par ventilation ; elles sont évaluées à partir des consommations électriques et des caractéristiques techniques des auxiliaires de ventilation de chaque système.
- Pertes par défaut d'étanchéité : la valeur de perméabilité retenue est celle obtenue au test final d'infiltrométrie ($Q4\text{Pasurf} = 2,68 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)
- Pertes par ouverture de fenêtres ; en l'absence de contacts de feuillure installés sur chaque fenêtre ou d'informations précises quant aux usages, ces pertes ne sont pas prises en compte dans le calcul. **Elles sont supposées nulles.**

À partir de ces données, la seule inconnue du bilan thermique correspond aux pertes par conduction à travers l'enveloppe du bâtiment. On peut alors calculer l'indicateur $U_{\text{bât}}$.

L'équation est résolue semaine par semaine, grâce à l'outil PREBAT « Enveloppe » développé par le Cerema.

2.3.2 - Résultats obtenus sur le coefficient $U_{\text{bât}}$

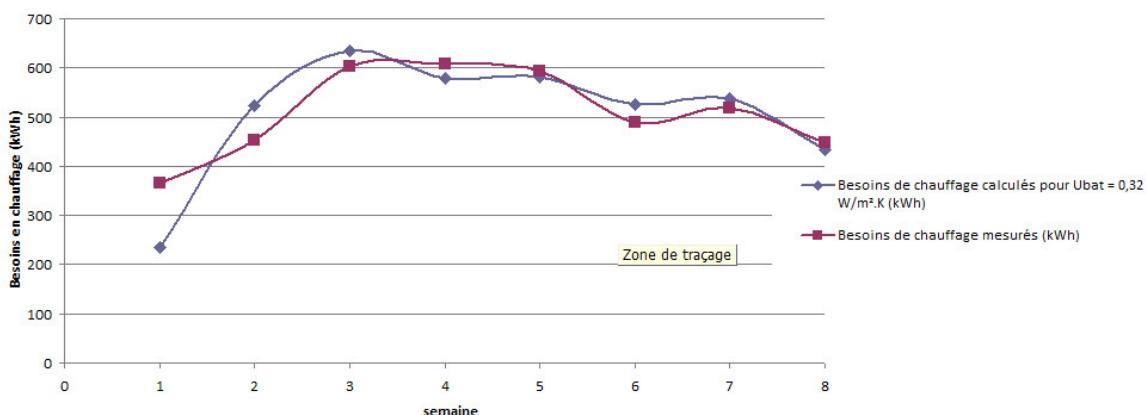
La période considérée pour l'analyse de l'enveloppe est comprise entre le 1^{er} janvier et le 28 février 2014. Le tableau ci-dessous restitue le résultat obtenu, ainsi que le $U_{\text{bât}}$ théorique.

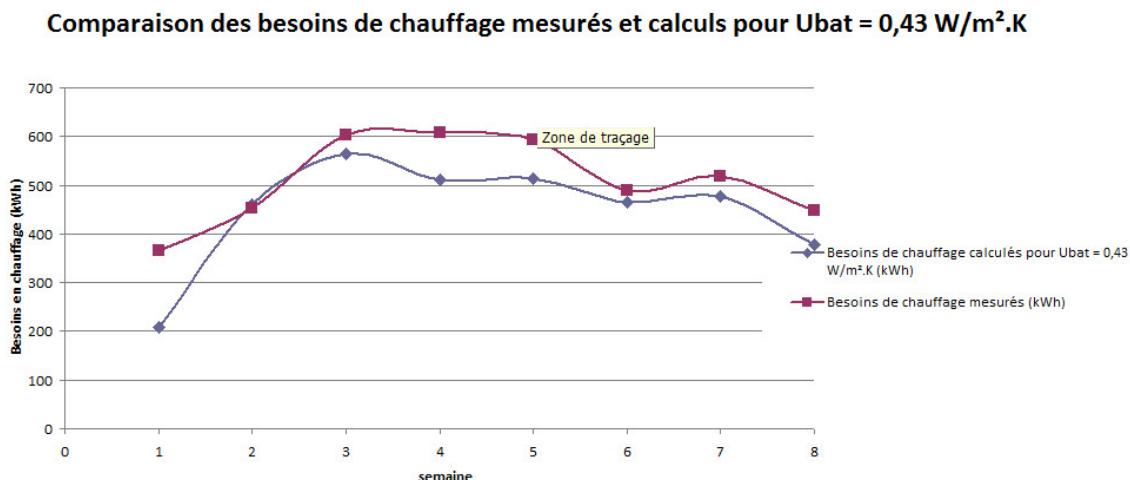
| $U_{\text{bât}} \text{ théorique}$ [W/m ² .K] | $U_{\text{bât}} \text{ mesuré}$ [W/m ² .K] |
|---|--|
| 0,43 | 0,32 |

Le $U_{\text{bât}}$ mesuré est plus performant que le $U_{\text{bât}}$ théorique.

Les courbes ci-après comparent, pour les huit semaines évaluées, les besoins réels mesurés sur le bâtiment et les besoins recalculés avec un $U_{\text{bât}}$ donné.

Comparaison des besoins de chauffage mesurés et calculs pour $U_{\text{bat}} = 0,32 \text{ W/m}^2\text{.K}$





Sur ces deux graphiques nous voyons que, sur l'ensemble de la période considérée, les deux courbes sont davantage proches l'une de l'autre avec un U_{bat} de $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ plutôt qu'avec un U_{bat} de $0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.4 - Analyse du confort hiver/été

2.4.1 - Locaux suivis

Plusieurs capteurs destinés à relever la température et l'hygrométrie dans les locaux ont été installés dans l'école. En complément, une station météorologique installée à proximité du site permet d'obtenir des données climatiques précises.

Les locaux instrumentés sont les suivants :

- salles de classe n°1, n°2 et n°3, au rez-de-chaussée,
- salle de classe n°4, à l'étage,
- circulation, au rez-de-chaussée,
- circulation, à l'étage.

2.4.2 - Présentation des résultats

Les analyses effectuées utilisent les notions suivantes :

Jour le plus chaud : la journée la plus chaude résulte d'une analyse des températures extérieures moyennes journalières en retenant la 3^e journée de la séquence de 3 jours consécutifs les plus chauds en éliminant les jours où le bâtiment (la zone) est inoccupé(e).

Te_moy_J+chaud : température extérieure moyenne le « jour le plus chaud »

Tic : température intérieure conventionnelle utilisée dans les calculs Th-CE

Tic expérimentale : température intérieure des 3 heures consécutives les plus chaudes, mesurée le « jour le plus chaud »

Te_moy_base_RT : température extérieure moyenne utilisée dans le calcul RT

Tic équivalent RT (non mesurée) : "Tic" estimée dans des conditions de T_{ext} « proches » de celles de la RT

Les graphiques issus des outils analyses et utilisés pour présenter pour les études sur les confort d'été et d'hiver sont les suivants.

| Conditions extérieures | |
|--|--|
| <i>Nom du graphique</i> | <i>Contenu du graphique</i> |
| Evolution des températures sur la période d'étude | Températures horaires extérieures sur la période d'étude |
| • Été | |
| Profil journalier de température du jour le plus chaud | Températures horaires extérieures du jour le plus chaud de la période considérée et température moyenne horaire de la période |
| Fréquence cumulée des températures moyennes journalières | Nombre de jours de la période considérée pour lesquelles la température moyenne est supérieure à la température en ordonnée. Température extérieure moyenne du scénario conventionnel sur la période d'étude |
| Fréquence cumulée des températures | Nombre d'heures de la période considérée pour lesquelles la température extérieure est supérieure à la température en ordonnée |
| • Hiver | |
| Profil moyen journalier | Températures moyennes horaires de la période d'étude |
| Diagramme de l'air humide | Relevés horaires des couples (température et humidité absolue exprimée à partir de la pression partielle d'eau en [daPa]) Les lignes noires correspondent à l'isohumidité relative selon un pas de 10% Les polygones de couleur correspondent aux niveaux de confort décrits par la norme NF EN 15251 (catégories I, II et III selon tableau ci-dessous) |
| Histogramme des températures horaires | Nombre d'heures de la période considérée pour lesquelles la température extérieure est inférieure à la température en ordonnée |
| Histogramme des températures moyennes journalières | Nombre de jours de la période considérée pour lesquelles la température moyenne est inférieure à la température en ordonnée |

| Conditions intérieures | |
|--|---|
| Nom du graphique | Contenu |
| Évolution de la température intérieure sur la période d'étude | Profil horaire de température de la pièce durant la période d'étude En été, le graphe fait également apparaître la Tic. Le tracé en vert définit les périodes d'occupation |
| • Confort d'hiver | |
| Profil moyen journalier | Températures moyennes horaires intérieures de la période considérée |
| Diagramme de l'air humide (zones de confort) | Relevés horaires, dans le local, des couples (température ; pression partielle d'eau en [daPa]) Les lignes noires correspondent à l'isohumidité relative selon un pas de 10% Les polygones de couleur correspondent aux niveaux de confort décrits par la norme NF EN 15251 (catégories I, II et III selon tableau ci-dessous) |
| Fréquence cumulée des températures | Nombre d'heures de la période considérée pour lesquelles la température du local étudié en occupation est supérieure à la température en ordonnée |
| Fréquence des températures en mode chaud | Fréquences cumulées (en pourcentage) des températures mesurées au pas de temps horaire en dixième de degré |
| Tint selon la température extérieure | Températures intérieures horaire de la période d'étude en fonction de la température extérieure |
| • Confort d'été | |
| Profil horaire journalier de température du jour le plus chaud | Températures horaires intérieures du jour le plus chaud de la période considérée, température moyenne horaire de la période et température extérieure du jour le plus chaud |
| Diagramme de l'air humide (zones de confort) | Relevés horaires, dans le local, des couples (température ; humidité absolue exprimée à partir de la pression partielle d'eau en [daPa]) Les lignes noires correspondent à l'isohumidité relative selon un pas de 10% Les polygones de couleur correspondent aux niveaux de confort décrits par la norme NF EN 15251 (Catégories I, II et III selon tableau ci-dessous) |
| Températures acceptables | Températures intérieures horaires de la période d'étude en fonction de la température extérieure. Le graphe inclut les 3 catégories limite de température correspondant aux niveaux de confort décrits par la norme NF EN 15251 (catégories I, II et III selon tableau ci-dessous) |
| Fréquence cumulée des températures | Nombre d'heures de la période considérée pour lesquelles la température du local étudié en occupation est supérieure à la température en ordonnée. |

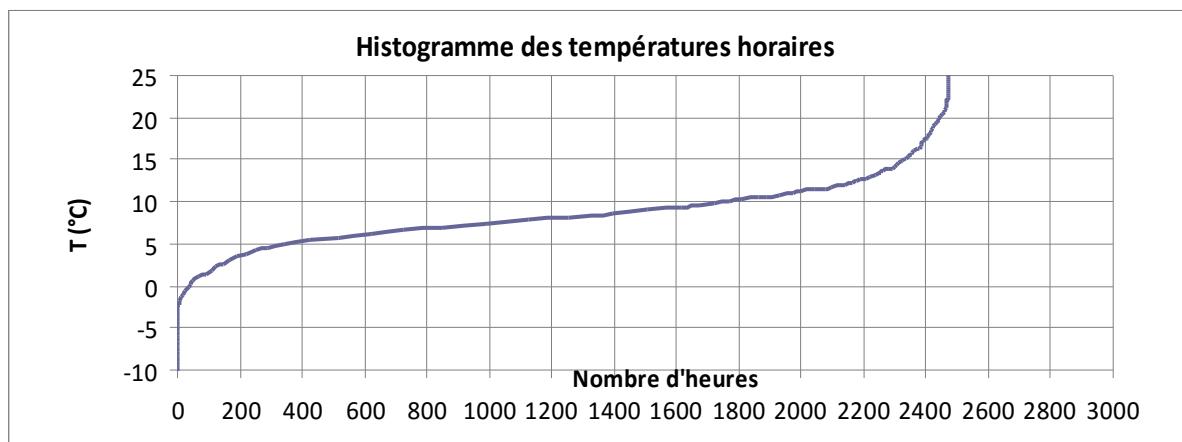
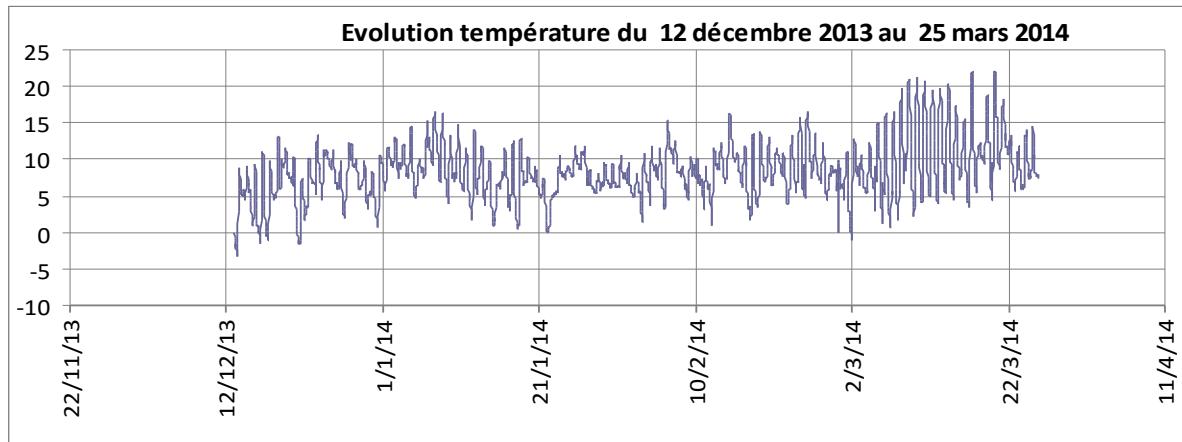
Niveaux de confort décrits par la norme NF EN 15 251

| Couleur | Catégories | Niveau de confort |
|----------------|------------|--|
| Vert | I | Niveau élevé attendu qui est recommandé pour les espaces occupés par des personnes très sensibles et fragiles avec des exigences spécifiques comme des personnes handicapées, les malades, de très jeunes enfants et des personnes âgées |
| Bleu | II | Niveau normal attendu, qu'il convient d'utiliser pour les bâtiments neufs et les rénovations |
| Rouge | III | Niveau modéré acceptable attendu qui peut être utilisé dans les bâtiments existants |
| Hors polygones | IV | Valeurs en dehors des critères des catégories ci-dessus. Il convient que cette catégorie soit acceptée seulement pour une partie restreinte de l'année |

2.4.3 - Confort d'hiver

Conditions climatiques hivernales

La période considérée est comprise entre le 12 décembre 2013 et le 25 mars 2014.



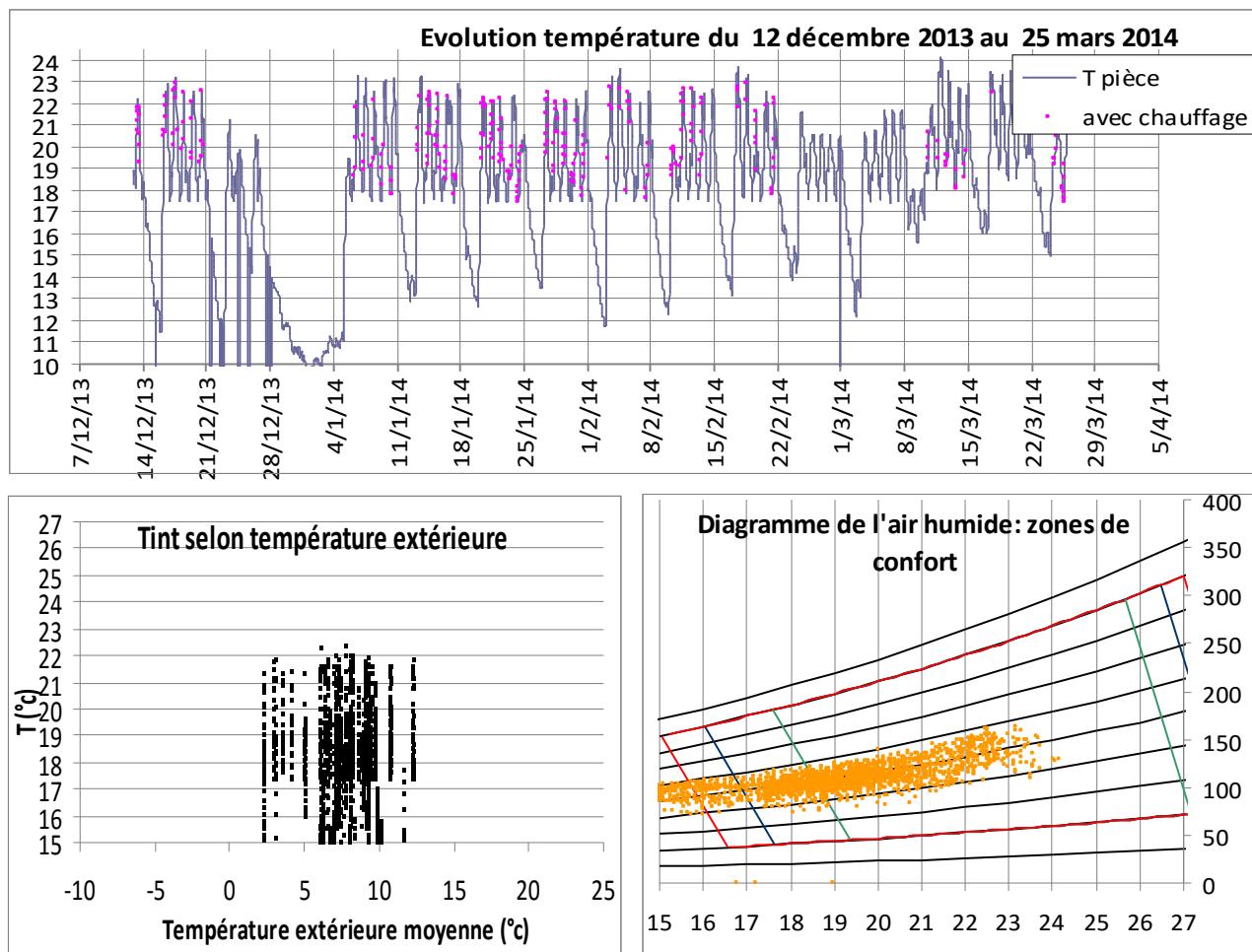
L'hiver 2013-2014 a été particulièrement doux. Les températures relevées sont très rarement inférieures à 0°C (25 heures environ sur la période considérée). La température moyenne de la journée la plus froide, à savoir le 21 décembre 2013, s'élève à 2,3°C.

Zones de confort

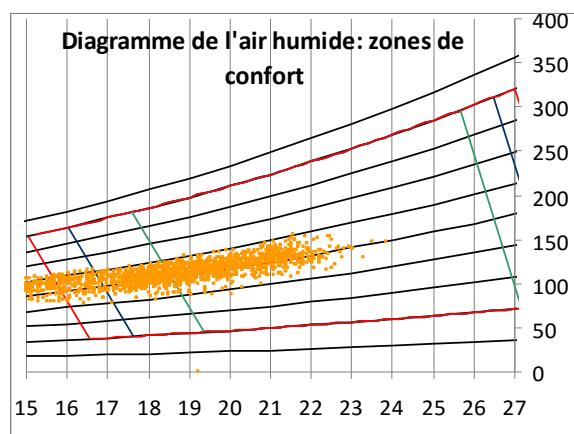
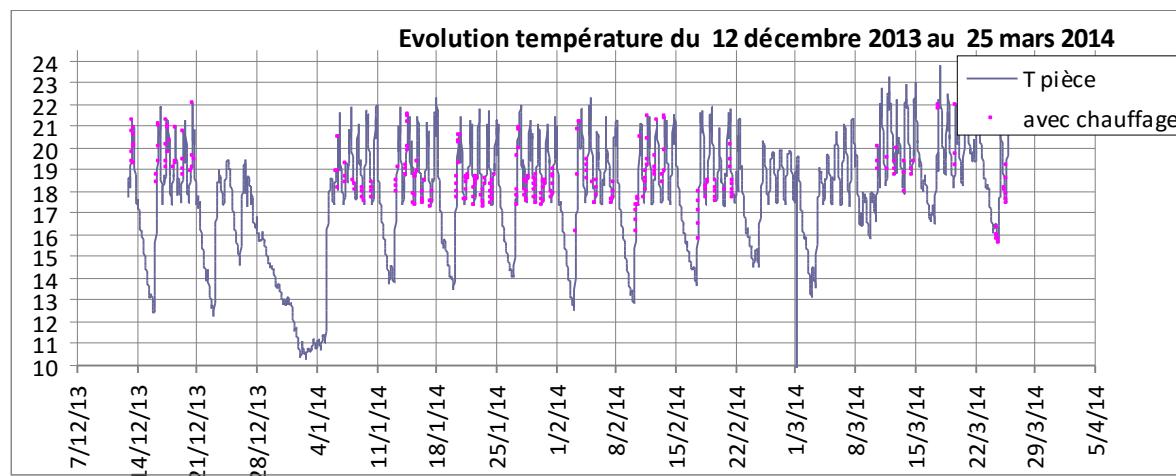
Ci-dessous figurent les résultats obtenus au cours de la période du 13 décembre 2013 au 25 mars 2014, pour les salles de classe.

Sur les diagrammes de l'air humide, le confort optimal est atteint lorsque les couples de points {température; humidité relative} sont dans le polygone vert. Le confort est dégradé lorsque l'on s'éloigne de cette zone.

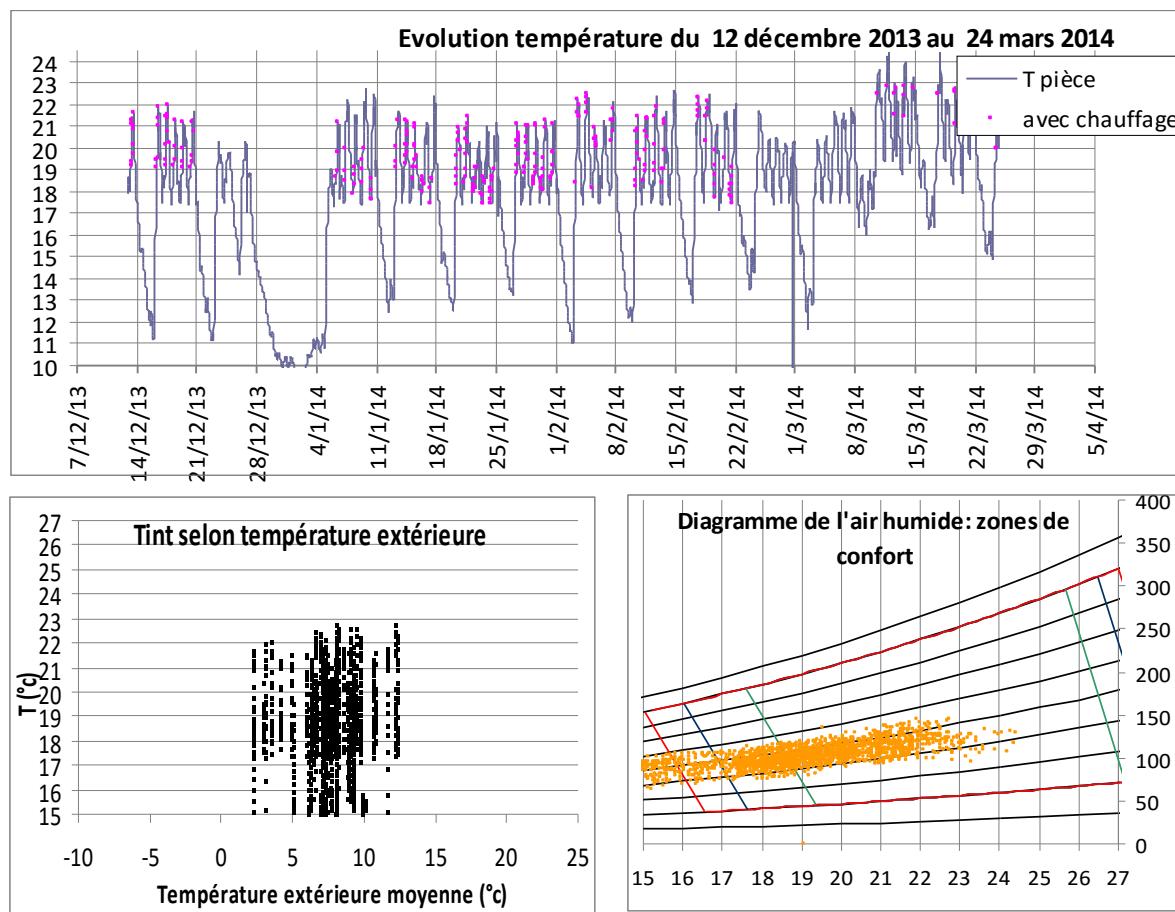
Salle de classe n°1



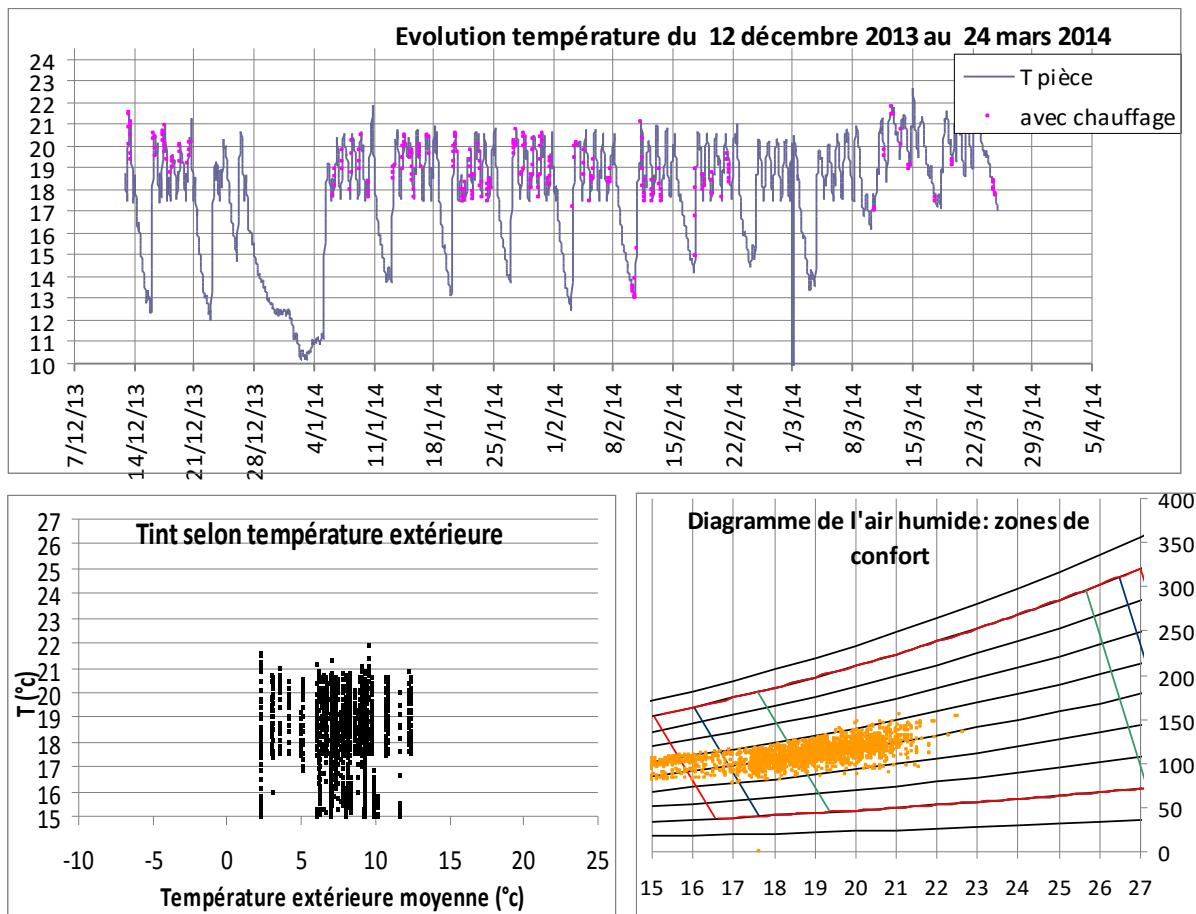
Salle de classe n°2



Salle de classe n°3



Salle de classe n°4

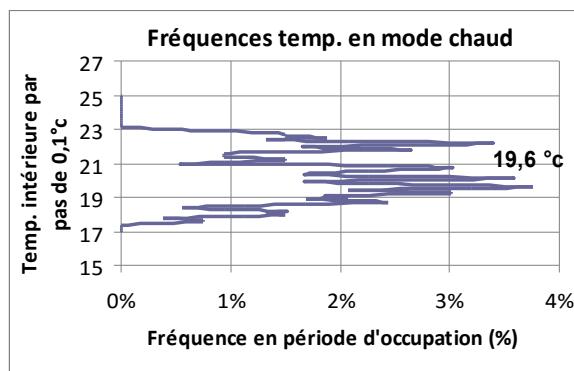
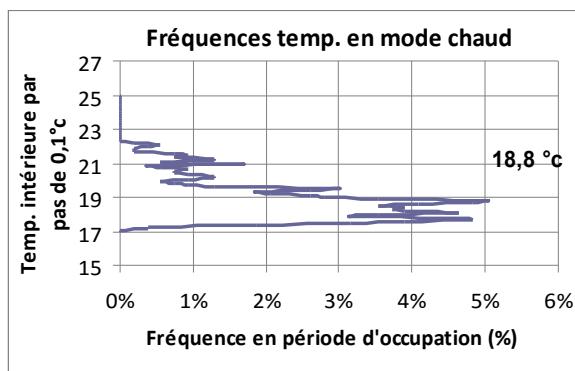
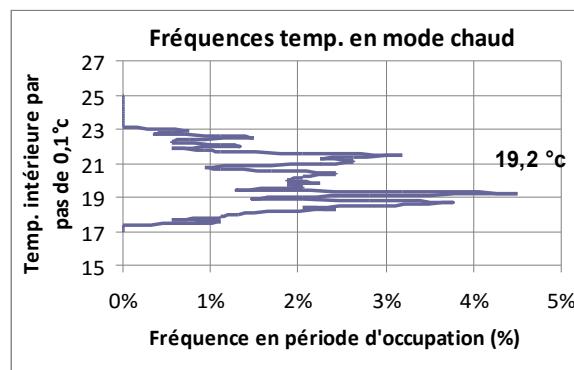
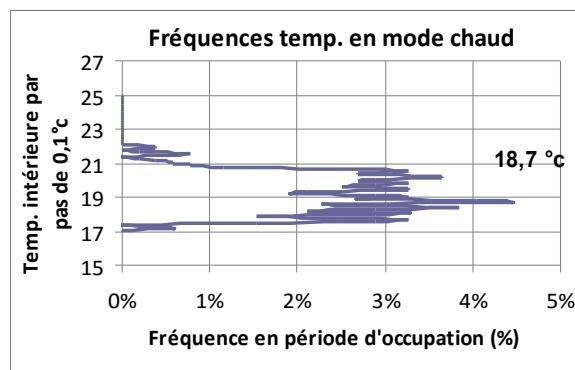


On observe dans les différentes salles de classe la gestion différenciée des températures entre les périodes d'occupation et d'inoccupation : le réduit de week-end voit descendre les températures en dessous de 13°C, alors que le réduit de nuit abaisse la température de 22°C à 18°C.

D'un point de vue hygrothermique l'ambiance se situe dans le polygone de confort lors de périodes d'occupation.

Températures de consigne mesurées

Pour les quatre classes, on s'intéresse à la fréquence d'apparition de chaque température.

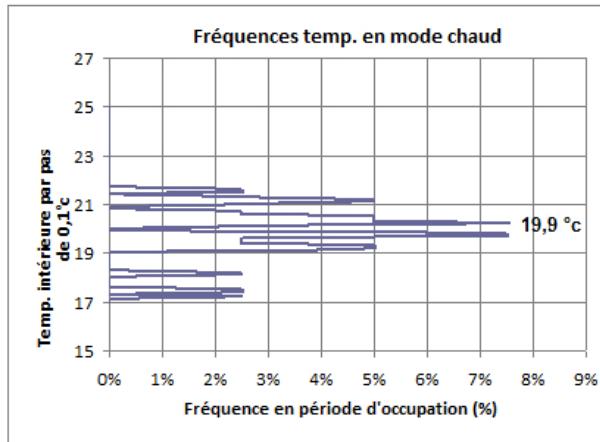
Salle de classe n°1**Salle de classe n°2****Salle de classe n°3****Salle de classe n°4**

La classe n°2 enregistre des températures plus fraîches. Son enveloppe présente des baies moins grandes, donc bénéficie de moins d'apports solaires.

La classe n°3 est située dans l'aile symétrique à la classe n°1. On y retrouve exactement le même comportement thermique, à savoir des températures qui dépassent souvent 22°C et qui augmentent en fin d'après-midi du fait de l'inertie du plancher chauffant combinée aux apports solaires.

La classe n°4 se situe au-dessus de la classe n°2. Son comportement thermique est assez semblable à celui de la classe n°2 du fait de parois vitrées de surface similaire. La température dépasse rarement 21°C et le profil moyen journalier est relativement stable.

Si l'on considère la moyenne pondérée des températures par rapport à la surface des locaux instrumentés on obtient le diagramme suivant :



Nous pouvons conclure que la température de consigne moyenne du bâtiment est 19,9°C. Cette valeur sera retenue dans la suite du rapport.

Rappel

La température de consigne pour le scénario conventionnel de la Réglementation Thermique est :

$$T^{\circ} \text{ consigne} = T^{\circ} \text{ consigne conventionnelle} + VS + VT$$

Avec les éléments suivants réglés dans le calcul réalisé sur l'opération :

- T° consigne conventionnelle = 19°C
- VS : Variation spatiale = 0 °C (classe A, locaux de moins de 4 m de hauteur sous plafond)
- VT : Variation temporelle = 1,8°C (régulation permettant un arrêt total de l'émission)

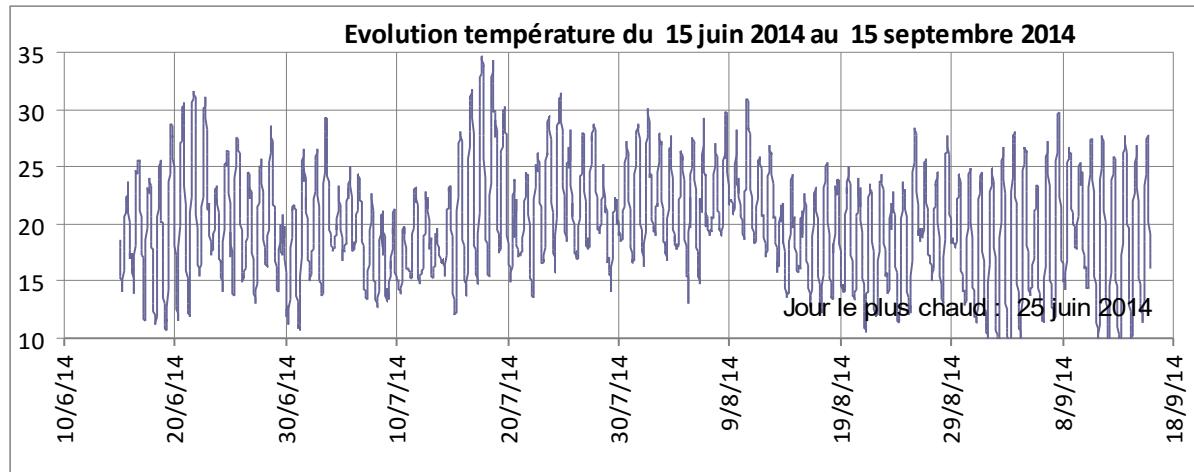
Soit une température de consigne théorique de 20,8°C.

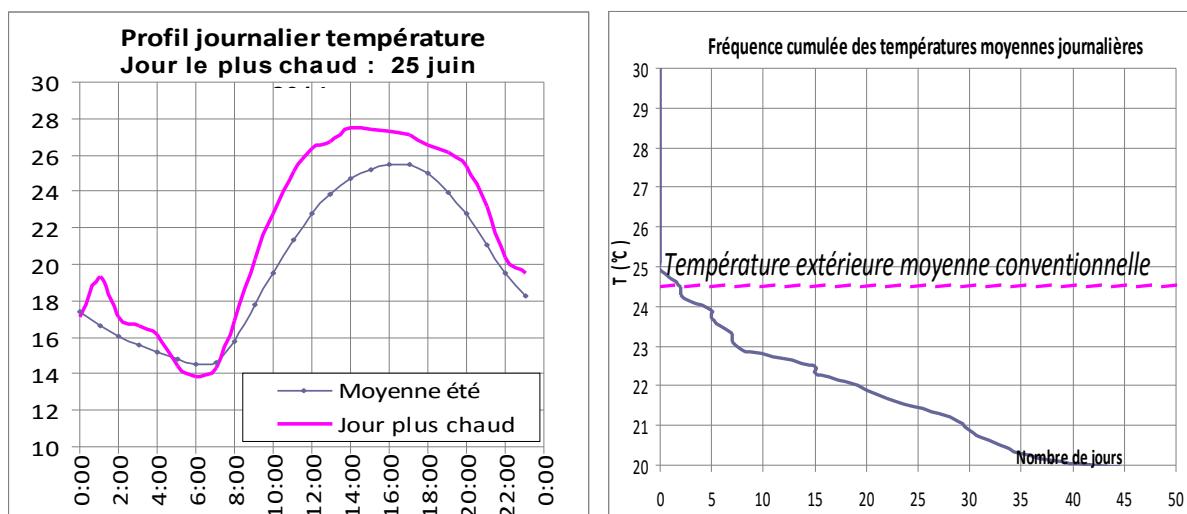
La température de consigne mesurée est inférieure à la température de consigne théorique. Ceci devrait expliquer une partie des économies de chauffage par rapport au calcul théorique.

2.4.4 - Confort d'été

Conditions climatiques estivales

La période considérée pour l'analyse du confort d'été s'étend du 15 juin au 15 septembre 2014. À l'image de ce qui a été réalisé pour le confort d'hiver, les données de température et d'hygrométrie intérieures des différents locaux au cours de cette période sont analysées.





Text Moy J+chaud = 21,6°C

Les températures extérieures ont « été relativement faibles » au cours de l'été 2014.

Température intérieure conventionnelle

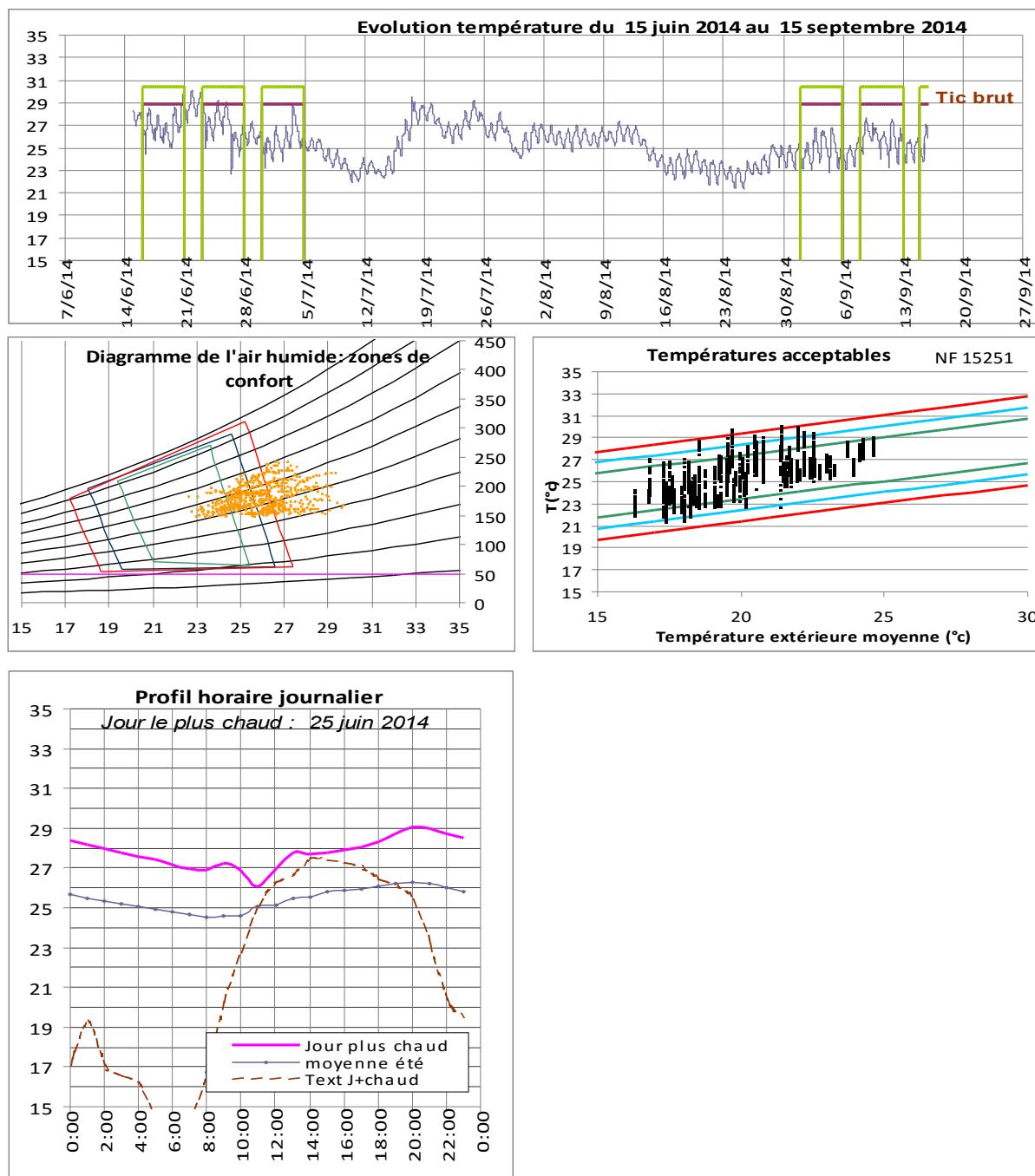
Hors résidentiel, la température intérieure conventionnelle (Tic) est la valeur maximale des températures opératives obtenues en période d'occupation.

L'école étant fermée sur l'essentiel de la période considérée, le calcul de la Tic expérimentale est réalisé sur les trois dernières semaines de l'année scolaire 2013-2014 et sur les deux premières de l'année 2014-2015. La journée la plus chaude en période d'occupation est le 25 juin (voir paragraphe précédent) avec une température moyenne de 21,6°C.

Il est à noter que le jour le plus chaud de l'été 2014 est en fait le 19 juillet 2014 avec une température moyenne extérieure de 24,1°C.

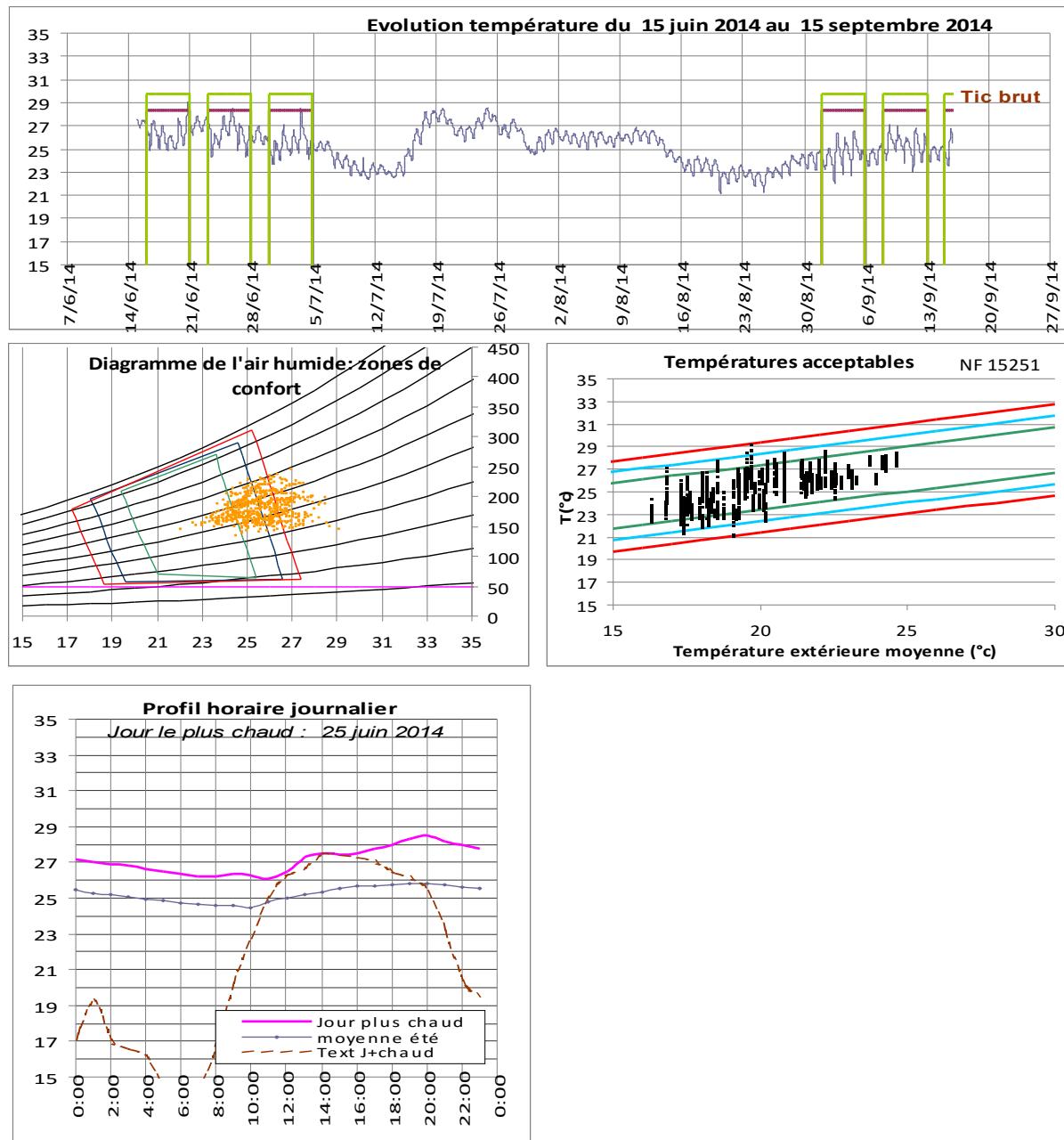
Les graphes ci-dessous présentent les résultats obtenus pour les quatre salles de classe.

Salle de classe n°1



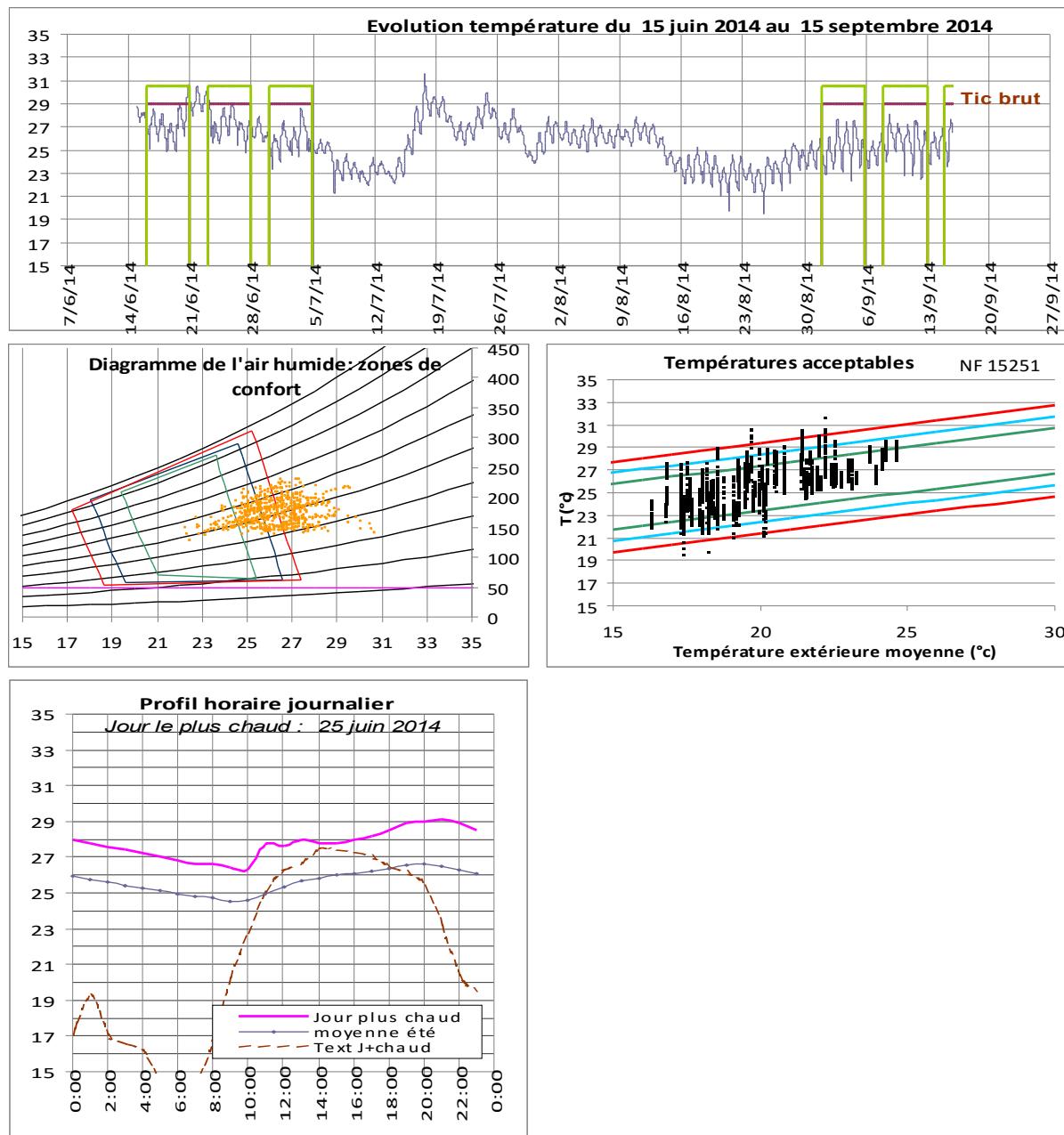
Tic expérimentale = 28,9°C

Salle de classe n°2



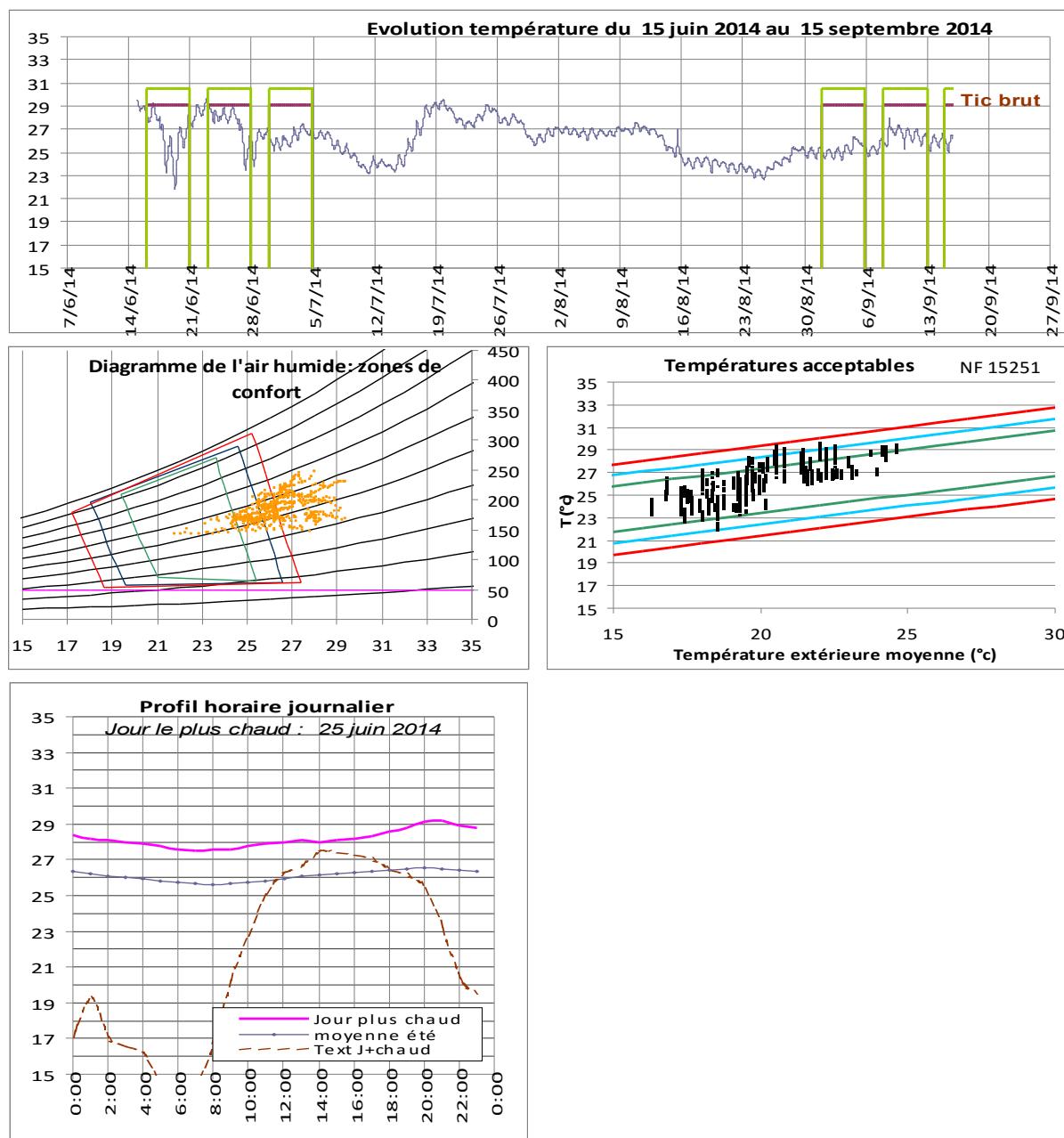
Tic expérimentale = 28,3°C

Salle de classe n°3



Tic expérimentale = 29,0°C

Salle de classe n°4



Tic expérimentale = 29,1°C

Analyse

Sur les graphiques du confort adaptatif, on retrouve trois zones de confort, qui évoluent lorsque la température extérieure change. Pour l'ensemble des classes, on constate qu'une part importante des points de mesure est hors de la zone de confort optimale. La cause est essentiellement due à des températures intérieures relativement élevées, le plus souvent supérieures à 26°C.

Les conditions de confort ne paraissent pas optimales ; néanmoins les résultats des calculs des Tic

expérimentales sont compris entre 28,3°C et 29,1°C. Ceci est conforme à l'étude thermique qui présente une Tic projet égale à 32,03°C.

Les courbes de température de la journée la plus chaude montrent que la température intérieure varie très peu sur 24 heures et qu'elle est en permanence au-dessus de la température extérieure.

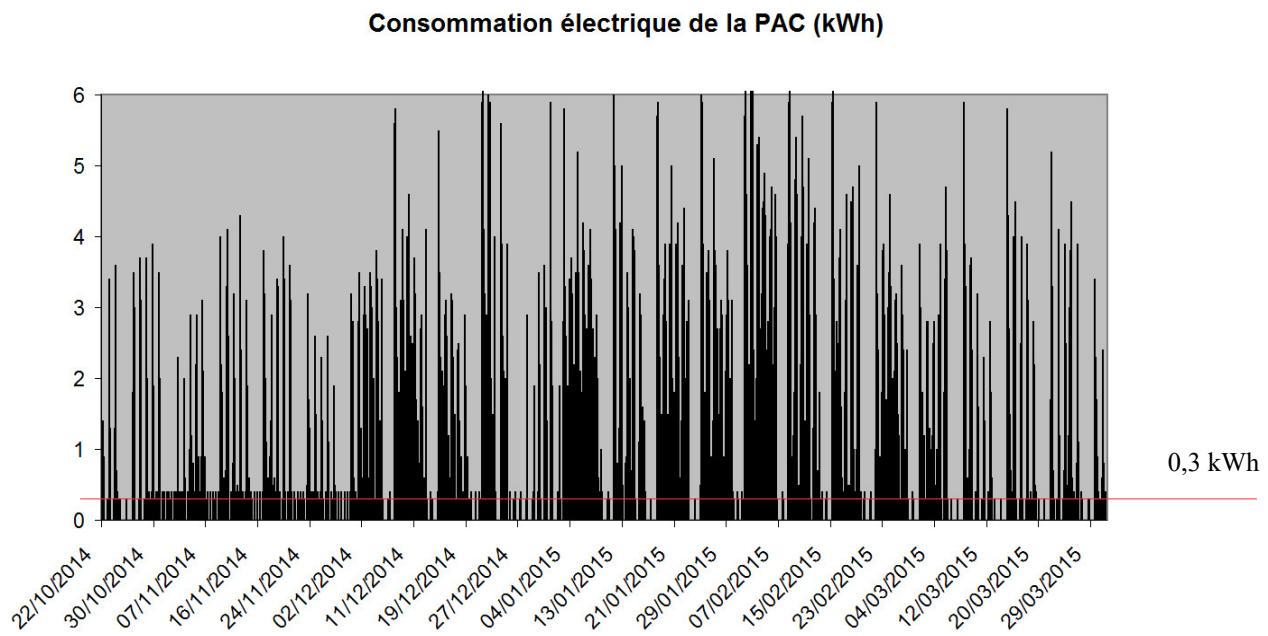
Il est important de rappeler que les conditions climatiques de l'été 2014 ont été exceptionnellement fraîches.

2.5 - Analyse du fonctionnement de la production de chauffage

Les résultats présentés ci-après découlent de l'outil « analyse des systèmes ». L'étude a porté sur la pompe à chaleur (PAC) sur la période de chauffe. Le calcul est réalisé sur la période comprise entre le 22 octobre 2014 et le 1^{er} avril 2015, à partir des comptages suivants :

- consommation électrique de la PAC ;
- compteurs calories chauffage ;
- températures extérieures.

Le compteur électrique qui mesure les consommations de la PAC prend en compte les auxiliaires de chauffage intégrés. Aussi, le calcul du COP moyen nécessite dans un premier temps d'identifier les consommations liées aux auxiliaires de chauffage.



En période de fonctionnement, une consommation horaire minimale de 0,3 kWh est enregistrée. Cette valeur plancher correspond vraisemblablement à la consommation des auxiliaires de chauffage.

Par conséquent, pour le calcul du COP moyen dont les résultats sont présentés ci-après, on considère que les auxiliaires de chauffage ont une puissance de 300 W.

Calcul du coefficient de performance (COP) expérimental de la pompe à chaleur

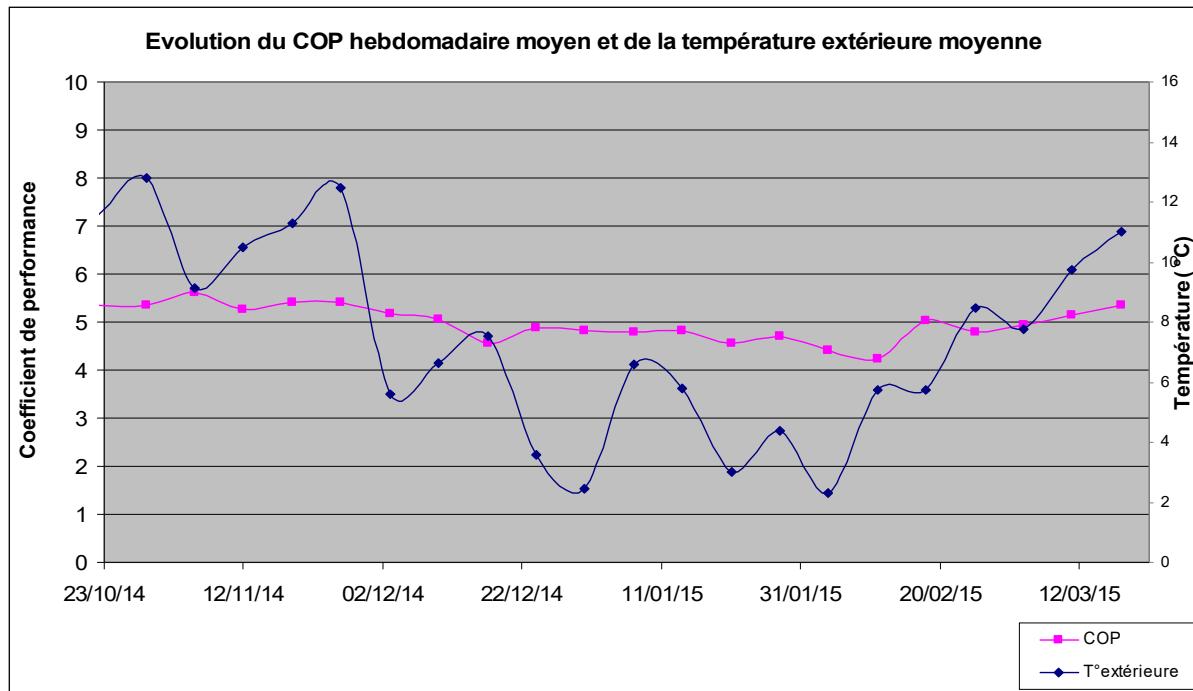
Le tableau ci-après présente les performances théoriques.

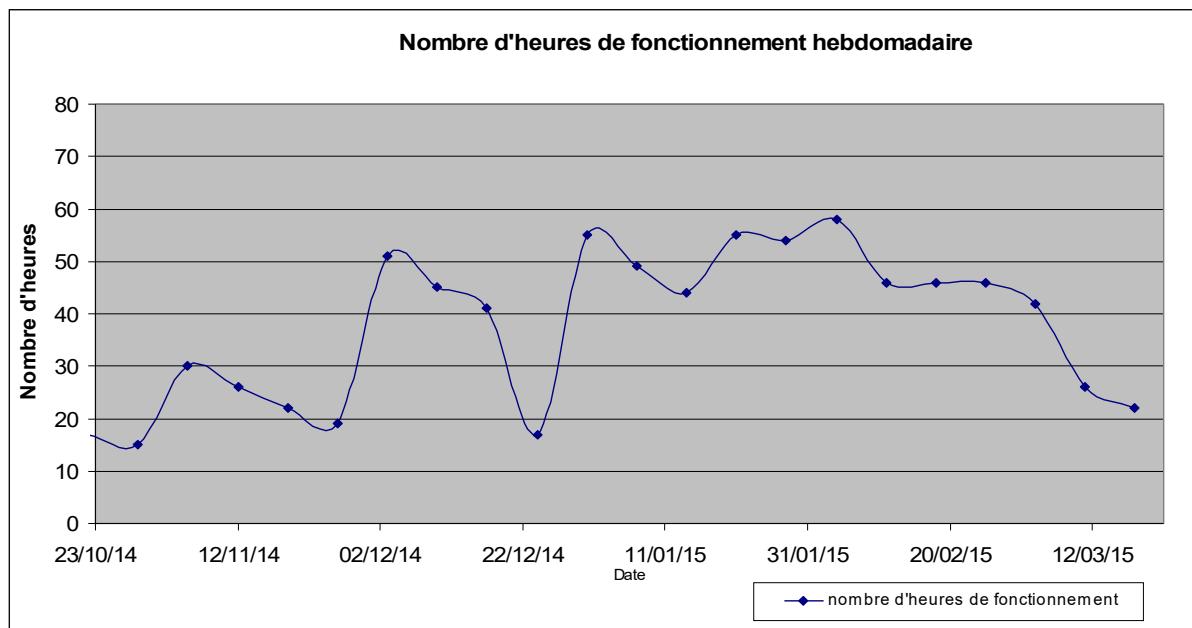
| | |
|---|---|
| Données constructeur | PAC eau/eau de marque CIAT ou techniquement équivalent, type AGEO modèle 100 HT |
| COP nominal | 5,60 |
| COP nominal de l'étude thermique | 5,04 |

| | |
|---|--------------------|
| COP moyen | 4,86 |
| Consommation Électrique | 2487,70 kWh |
| Nombre d'heures de fonctionnement de la PAC | 860 |

| | |
|------|-------------------------------|
| soit | 7,96 kWh/m² |
|------|-------------------------------|

Le COP moyen ainsi obtenu est très proche des valeurs théoriques (données techniques fournisseurs et valeur saisie dans l'étude thermique).





Le COP maximal observé est de 5,61. Le COP expérimental moyen est de 4,86 pour un COP nominal de 5,6. Si ce résultat peut être considéré comme bon, il est légèrement inférieur au COP saisi dans l'étude thermique. Il devrait par conséquent être à l'origine de surconsommations de chauffage sur l'année. **Son impact est évalué par la suite.**

2.6 - Consommation globale d'éclairage

Le dysfonctionnement du dispositif de comptage de l'éclairage ne permet pas d'analyser ce poste de consommation. Seule la consommation globale réelle peut être considérée grâce aux relevés manuels des compteurs.

Sur la première année de suivi, la consommation d'éclairage totale s'élève à 2486,09 kWh d'énergie finale. Ceci correspond à une consommation annuelle de 20,52 kWhep/m², valeur inférieure à celle du calcul conventionnel de 27,95%.

Les origines de ce gain peuvent être diverses. Un éclairage naturel plus important que celui prévu au niveau du calcul conventionnel pourrait l'expliquer. L'occupation assez réduite de la salle de classe n°4 peut également être avancée.

2.7 - Analyse des consommations des Auxiliaires

2.7.1 - Auxiliaires de ventilation

À l'image des consommations d'éclairage, le dysfonctionnement du dispositif des consommations des auxiliaires de ventilation ne permet pas d'analyser ce poste de consommation.

Globalement, la consommation annuelle des auxiliaires de ventilation est nettement inférieure à celle du calcul conventionnel.

2.7.2 - Autres auxiliaires

Les auxiliaires considérés pour ce poste sont généralement ceux nécessaires à la production de l'eau chaude sanitaire (ECS) et au chauffage. Dans le cadre de cette opération, la production d'ECS n'est pas comptabilisée. Seules les consommations électriques des auxiliaires de chauffage (pompes, vannes, régulation) sont prises en compte.

Le chauffage est assuré par une PAC. Comme vu précédemment, l'analyse des consommations électriques de la PAC a permis d'identifier une consommation plancher en fonctionnement. Cette dernière est interprétée comme la consommation spécifique aux auxiliaires de chauffage. La consommation des autres auxiliaires est donc estimée à 6,21 kWhep/m². Elle est nettement supérieure au calcul réglementaire (+53,08%).

2.8 - Consommations recalées

Les consommations théoriques, issues du calcul réglementaire doivent être recalées avant d'être comparées aux consommations réelles.

Les paramètres qui sont dus à la différence « conventionnel/prévisionnel » sont modifiés dans le calcul réglementaire. Les autres paramètres liés à l'utilisation et aux caractéristiques réelles du bâtiment sont corrigés dans la partie suivante.

Les modifications portent donc sur :

- Le climat : le fichier météo est remplacé par le climat réel de l'année de suivi (données obtenues via la station météo ou le capteur extérieur situé à l'école et complétées au besoin avec les données météo des stations de Uzerche, Brive ou Macon)
- Les apports internes, scénarios d'occupation et de ventilation : comme vu précédemment, nous considérerons le scénario moyen d'occupation et les apports internes définis ci-dessus pour recalculer les consommations théoriques. En l'absence de données, nous conservons les scénarios de ventilation conventionnels.

2.8.1 - Impact du climat

Le tableau ci-dessous donne les consommations théoriques recalées en fonction du climat réel de l'année considérée.

| Impact du climat | | | |
|---------------------------|--|--------|---------|
| | Consommation corrigée (kWhep/m ² .an) | Delta | Perte |
| Consommation totale | 69,37 | -10,79 | -13,46% |
| Consommation chauffage | 22,12 | -11,75 | -34,70% |
| Auxiliaire de ventilation | 13,75 | 0,00 | 0,00% |
| Autres Auxiliaires | 4,35 | 0,30 | 7,31% |
| Éclairage | 29,15 | 0,67 | 2,35% |

Le climat de l'année considérée est relativement doux. Il devrait permettre de générer des économies annuelles de chauffage évaluées à 11,75 kWhep/m².

L'éclairage est légèrement impacté par la modification du fichier météo. Théoriquement il aurait dû être à l'origine d'une augmentation de la consommation annuelle de 0,67 kWhep/m².

2.8.2 - Impact des scénarios d'occupation, de ventilation et des apports internes

| Impact des scénarios d'occupation, de ventilation et des apports internes | | | |
|---|-------------------------------------|-------|---------|
| | Consommation corrigée (kWhep/m².an) | Delta | Perte |
| Consommation totale | 71,67 | -8,48 | -10,58% |
| Consommation chauffage | 31,33 | -2,54 | -7,49% |
| Auxiliaire de ventilation | 13,67 | -0,08 | -0,57% |
| Autres auxiliaires | 4,12 | 0,06 | 1,60% |
| Éclairage | 22,55 | -5,93 | -20,82% |

L'importance des apports internes et l'occupation plus faible que celle considérée par le scénario conventionnel sont à l'origine d'un gain sur les consommations globales de 10,58%.

2.8.3 - Synthèse

La prise en compte des deux paramètres de manière simultanée conduit à recalier le calcul théorique la manière suivante :

| SYNTHESE (climat, occupation, apports internes, ventilation) | | | |
|--|-------------------------------------|--------|---------|
| | Consommation corrigée (kWhep/m².an) | Delta | Perte |
| Consommation totale | 61,83 | -18,32 | -22,86% |
| Consommation chauffage | 20,49 | -13,38 | -39,51% |
| Auxiliaire de ventilation | 13,67 | -0,08 | -0,57% |
| Autres auxiliaires | 4,26 | 0,21 | 5,07% |
| Éclairage | 23,41 | -5,07 | -17,79% |

Globalement, les consommations réelles devraient être inférieures de 22,86% par rapport au calcul théorique.

Ce recalage des consommations théoriques, permet de d'expliquer près 62,5% des gains observés sur les consommations réelles (-36,26% par rapport au calcul conventionnel).

D'autres paramètres liés au bâtiment différent, des corrections doivent être apportées à ce calcul recalé.

2.9 - Consommations corrigées

Tous les autres écarts constatés entre le calcul théorique et la réalité sont pris en compte ici. Dans un premier temps, nous évaluons l'impact sur le calcul conventionnel de chacun des paramètres suivants :

- température de consigne dans les locaux : +0,9°C hors variation spatiale et temporelle,
- perméabilité à l'air mesurée à 2,68 m³/(h.m²)
- coefficient de performance (COP) moyen de la PAC : 4,86.

Une étude de sensibilité sur la température de consigne est également réalisée.

Enfin, nous évaluons l'impact d'une correction simultanée de l'ensemble des paramètres sur le calcul théorique recalé précédemment. Ce dernier calcul devrait permettre d'expliquer les consommations constatées.

2.9.1 - Correction de la température de consigne

Sur la saison de chauffe 2013/2014, les locaux du rez-de-chaussée instrumentés ont en moyenne été chauffés à 19,9°C. Cette valeur est retenue comme température de consigne mesurée. Un écart de 0,9°C est ainsi relevé par rapport à la valeur conventionnelle hors variations spatiales et temporelles.

| Impact de la température de consigne | | | 0,9°C |
|--------------------------------------|---|-------|---------|
| | Consommation corrigée (kWhep/m ² .an) | Delta | Perte |
| Consommation totale | 76,34 | -3,81 | -4,76% |
| Consommation chauffage | 30,14 | -3,73 | -11,01% |
| Auxiliaire de ventilation | 13,75 | 0,00 | 0,00% |
| Autres auxiliaires | 3,97 | -0,08 | -2,05% |
| Éclairage | 28,48 | 0,00 | 0,00% |

Cette température de consigne est à l'origine d'un gain de consommation global de 3,81 kWhep/m².an par rapport au calcul théorique.

2.9.2 - Correction de l'indicateur de perméabilité à l'air du bâtiment

La valeur mesurée, en application de la norme NF EN 13 829 et de son Guide d'application GA P 50-784 est de 2,68 m³/h.m².

| Impact de la perméabilité à l'air | | | |
|--|--|--|-------|
| Perméabilité initiale (m ³ /h.m ²) | 1,7 | Perméabilité corrigée (m ³ /h.m ²) | 2,68 |
| | Consommation corrigée (kWhep/m ² .an) | Delta | Perte |
| Consommation totale | 83,45 | 3,29 | 4,11% |
| Consommation chauffage | 37,06 | 3,19 | 9,41% |
| Consommation auxiliaire de chauffage | 4,16 | 0,10 | 2,57% |

La perméabilité à l'air mesurée du bâtiment est supérieure à la valeur considérée dans l'étude thermique.

Ce résultat génère une perte sur les besoins en chauffage par rapport au calcul théorique évaluée à 3,29 kWhep/m².an.

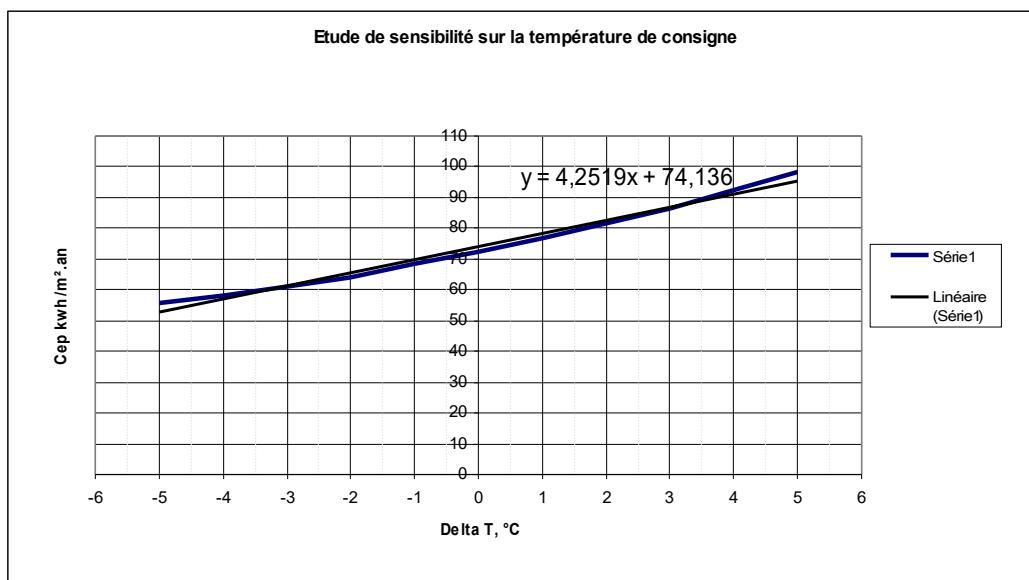
2.9.3 - Correction du coefficient de performance de la pompe à chaleur

Comme vu précédemment, le COP moyen calculé de la PAC s'élève à 4,86.

| Impact du rendement des équipements de chauffage | | | |
|--|--|-------------|-------|
| COP initial | 5,04 | COP corrigé | 4,86 |
| | Consommation corrigée (kWhep/m ² .an) | Delta | Perte |
| Consommation totale | 81,02 | 0,86 | 1,07% |
| Consommation chauffage | 34,68 | 0,81 | 2,39% |
| Auxiliaires de ventilation | 13,75 | 0,00 | 0,00% |
| Autres auxiliaires | 4,11 | 0,05 | 1,25% |

Cet écart est responsable d'une surconsommation de 0,86 kWhep/m².an par rapport au calcul théorique.

2.9.4 - Étude de sensibilité sur la température de consigne



La consommation d'énergie primaire est assez sensible à l'écart du facteur température de consigne. Un écart de 1°C en plus correspond à une majoration des consommations d'énergie primaire de 4,25 kWh/m²/an.

2.9.5 - Synthèse des corrections

Les corrections annoncées précédemment permettent, pour chacun des paramètres, d'évaluer l'impact sur le calcul réglementaire, c'est-à-dire sur les résultats de l'étude thermique. Bien évidemment, ces différents paramètres sont en interaction permanente et ne peuvent être abordés de manière isolée.

La prise en compte de l'ensemble des éléments permet d'apporter au calcul théorique les corrections suivantes.

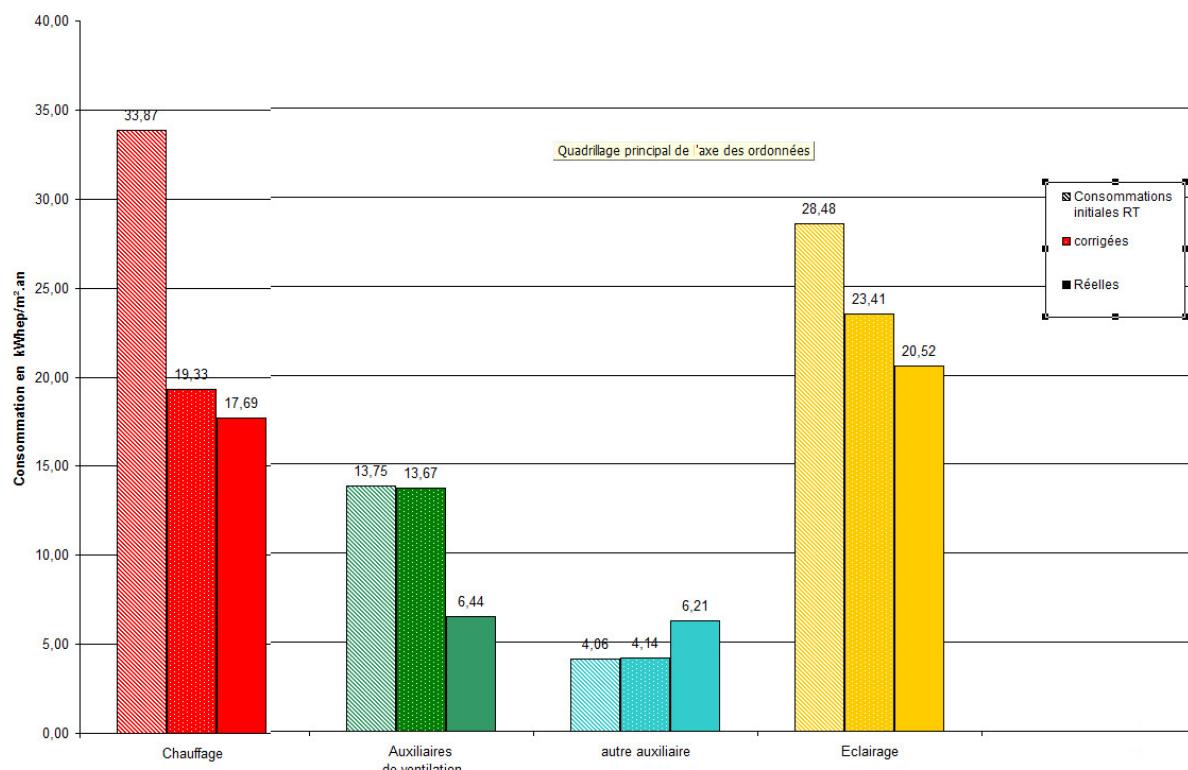
| Synthèse des corrections | |
|--|--------------|
| Consommation conventionnelle [kW_{ep}.h/m².an] | 80,16 |
| Consommation corrigée [kW_{ep}.h/m²/an] dont : | 60,55 |
| consommation chauffage | 19,33 |
| auxiliaire de ventilation | 13,67 |
| autres auxiliaires | 4,14 |
| éclairage | 23,41 |
| Consommation mesurée | 50,86 |

La consommation corrigée se rapproche de la consommation mesurée, tout en restant supérieure (+19,07%).

Les constats réalisés au cours de l'opération expliquent de manière partielle la consommation globale constatée la première année de suivi.

Le graphe ci-dessus montre que si l'on effectue une approche par poste de consommations la qualité des corrections être relativement différente.

Analyse des différents postes de consommation



Le principal poste de consommation est l'éclairage. Les économies réalisées sur ce poste sont essentiellement dues à l'occupation de l'école. Les plages de fonctionnement sont plus courtes que celles prévues par le scénario conventionnel « enseignement » du moteur de calcul. S'il subsiste un écart entre la valeur corrigée et la consommation réelle, celui-ci est vraisemblablement dû au fait que la salle de classe n°4 est utilisée de manière sporadique (1h par jour selon les enquêtes d'occupation).

D'importantes économies sont réalisées au niveau des consommations de chauffage. Le climat plutôt favorable aux économies et une température de consigne moyenne mesurée inférieure à celle du scénario conventionnel expliquent ce bon résultat.

La consommation des autres auxiliaires est plus importante que prévue. La difficulté à séparer la consommation chauffage de celle des auxiliaires (PAC) peut expliquer en partie ce résultat. Si nous considérons le cumul de la consommation de chauffage et des autres auxiliaires, les consommations réelles ($23,9 \text{ kWeph/m}^2.\text{an}$) sont très proches du calcul corrigé ($23,47 \text{ kWeph/m}^2.\text{an}$).

Les consommations de la ventilation apparaissent assez faibles. Les corrections apportées ne permettent pas de comprendre l'origine de ce résultat. L'absence de données précises (au pas de temps horaire) ne permet pas de visualiser une éventuelle utilisation de modes réduits. Une mise en service effective du compteur dédié à ce poste est souhaitable pour la seconde année de suivi. Des mesures de qualité de l'air intérieur seraient également à envisager.

3 - Seconde année de suivi

3.1 - Relevés et analyses des consommations brutes

3.1.1 - Périodes considérées pour l'analyse des données

Les analyses de données présentées par la suite portent globalement sur les données enregistrées entre le 22 septembre 2014 et le 21 septembre 2015. Le dysfonctionnement du système de transfert de données (voir ci-dessous) nous constraint à considérer une période de chevauchement de trois mois (d'octobre à décembre 2014) des deux années de suivi.

L'analyse de la performance de la pompe à chaleur ne peut être réalisée que sur la période déjà considérée la première année de suivi. Ces résultats sont repris dans l'analyse de données de la deuxième année de suivi.

L'analyse du confort d'hiver est réalisée à partir des relevés effectués entre le 15 octobre 2014 et le 15 mars 2015.

La température intérieure conventionnelle (Tic) est pour sa part analysée en période estivale. L'étude de la Tic est réalisée à partir des données de la période comprise entre le 1^{er} juin et le 20 septembre 2015.

Problèmes rencontrés

Plusieurs problèmes de mesure ont été rencontrés au cours de cette seconde année de suivi :

- absence de données à partir du 20 septembre 2015 ;
- absence de données météo à partir du 26 mars 2015 ;
- dysfonctionnement des compteurs électriques dédiés aux comptages d'éclairage et des auxiliaires de ventilation.

Hypothèses retenues pour l'analyse

Afin de disposer d'une année complète de données, il a été décidé de compléter les relevés obtenus de la manière suivante :

- prise en compte des données d'octobre à décembre 2014 pour obtenir une année complète ;
- prise en compte des températures extérieures relevées par le capteur extérieur installé à l'école ;

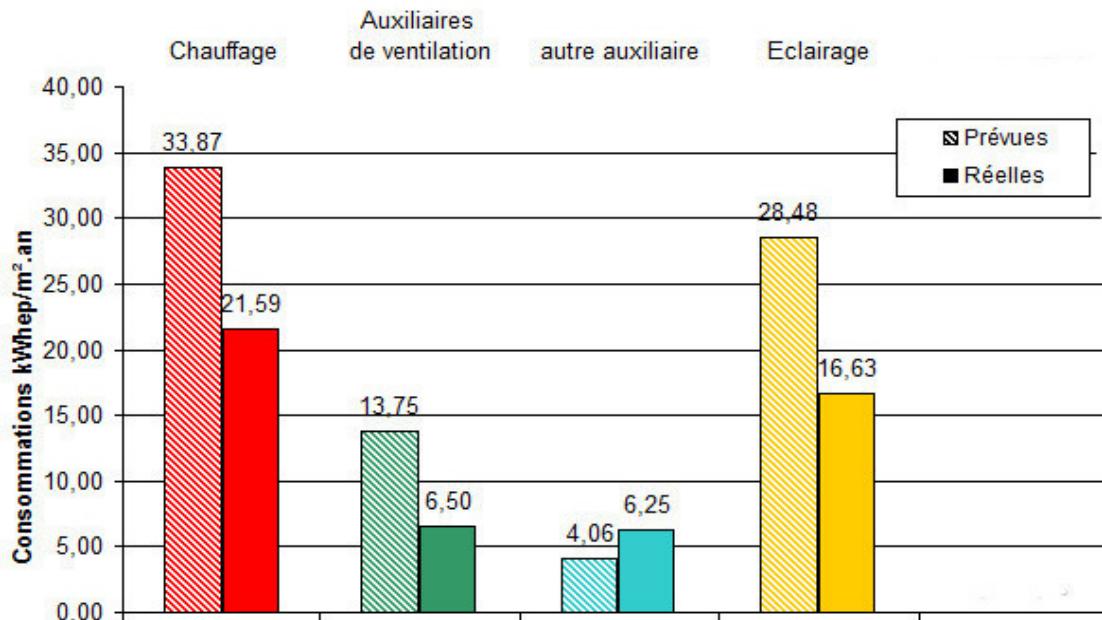
- prise en compte des données relatives au rayonnement solaire en hiver de la station météo de Marval ;
- prise en compte des index relevés manuellement pour établir une valeur moyenne des compteurs d'éclairage et des auxiliaires de ventilation

3.1.2 - Analyse globale des données – bilan des consommations

Méthodologie

Idem première année – cf. paragraphe 2.1.2.

Consommations de l'année considérée



| Tableau bilan Rez-de-chaussée | Consommations (kWep.h/m ² .an) | | |
|-------------------------------|---|--------------|---------------|
| | Prévues | Réelles | Gain |
| Chauffage | 33,87 | 21,59 | 36,25% |
| Auxiliaires de ventilation | 13,75 | 6,50 | 52,72% |
| Autres auxiliaires | 4,06 | 6,25 | -54,08% |
| Éclairage | 28,48 | 16,63 | 41,61% |
| TOTAL | 80,16 | 50,97 | 36,41% |

Les consommations globales sont nettement inférieures aux consommations théoriques du calcul conventionnel (-36,41%).

Les consommations réelles de cette seconde année de suivi sont très proches de celles enregistrées la première année (50,85 kWep.h/m².an).

Hormis le poste « autres auxiliaires » qui présente une surconsommation de 54,08%, tous les postes de

consommation mesurée présentent des résultats très inférieurs aux consommations théoriques du calcul conventionnel. Plusieurs raisons peuvent l'expliquer :

- des rendements d'équipements différents entre le calcul et la réalité,
- une température de consigne différente de celle du calcul réglementaire,
- un usage du bâtiment différent de celui prévu par les scénarios conventionnels,
- des conditions climatiques plus favorables (hiver plus doux que celui utilisé par le moteur de calcul, etc.).

La suite de l'étude s'attache à expliquer l'origine des écarts constatés.

3.2 - Analyse de l'occupation

Pour cette seconde année de suivi, la période d'analyse correspond presque à une année scolaire. Il est donc relativement aisément de définir les scénarios d'occupations du bâtiment à partir d'enquêtes auprès des utilisateurs. Deux scénarios d'occupation sont ainsi retenus.

a) Scénario « Semaine d'école »

Les classes qui utilisent ce bâtiment sont les classes de :

- CE2 (21 élèves et 1 enseignant)
- CM1 (23 élèves et 1 enseignant)
- CM2 (24 élèves et 1 enseignant).

source site internet de la mairie de St Viance

| | Population | | Activité sédentaire | | | | Activité légère, debout | | | |
|---------|------------|--|---------------------|--|--|--|-------------------------|--|--|--|
| Enfants | 68 | | 80% | | | | 20% | | | |
| Adultes | 3 | | 80% | | | | 20% | | | |

| Profil d'occupation « Adultes » | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----|-----|------|------|------|----|------|------|------|-----|-----|----|
| Heure | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Lundi | 0% | 25% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 50% | 25% | 0% |
| Mardi | 0% | 25% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 50% | 25% | 0% |
| Mercredi | 0% | 25% | 100% | 100% | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Jeudi | 0% | 25% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 50% | 25% | 0% |
| Vendredi | 0% | 25% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 50% | 25% | 0% |
| Samedi | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Dimanche | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

| Profil d'occupation « Enfants » | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----|----|------|------|------|----|------|------|------|-----|----|----|
| Heure | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Lundi | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 50% | 50% | 0% | 0% |
| Mardi | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 50% | 0% | 0% |
| Mercredi | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Jeudi | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 50% | 0% | 0% |
| Vendredi | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% | 100% | 0% | 0% | 0% |
| Samedi | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Dimanche | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

b) Scénario « Vacances scolaires »

Les périodes de vacances, durant lesquelles la population du bâtiment est nulle, sont les suivantes.

| Période de vacances | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|--------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| semaine | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | |
| semaine | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| semaine | 51 | 52 | | | | | | 0 : période d'inoccupation | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 1 | | | | | | 1 : période d'occupation d'1 semaine | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

La semaine 1 correspond à la semaine du lundi 22 septembre 2014.

Comme lors de la première période de suivi, l'année se décompose en 36 semaines d'école pour 16 semaines de vacances.

La prise en compte dans l'outil PREBAT « occupation » de ces différents scénarios permet de définir le scénario moyen d'occupation hors semaines de vacances ci-dessous :

| Planning moyen d'occupation hors semaine de vacances | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| horaires | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | total |
| lundi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| mardi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| mercredi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| jeudi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| vendredi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| samedi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| dimanche | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 : période d'inoccupation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 40 |
| | 1 : période d'occupation d'1 semaine | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

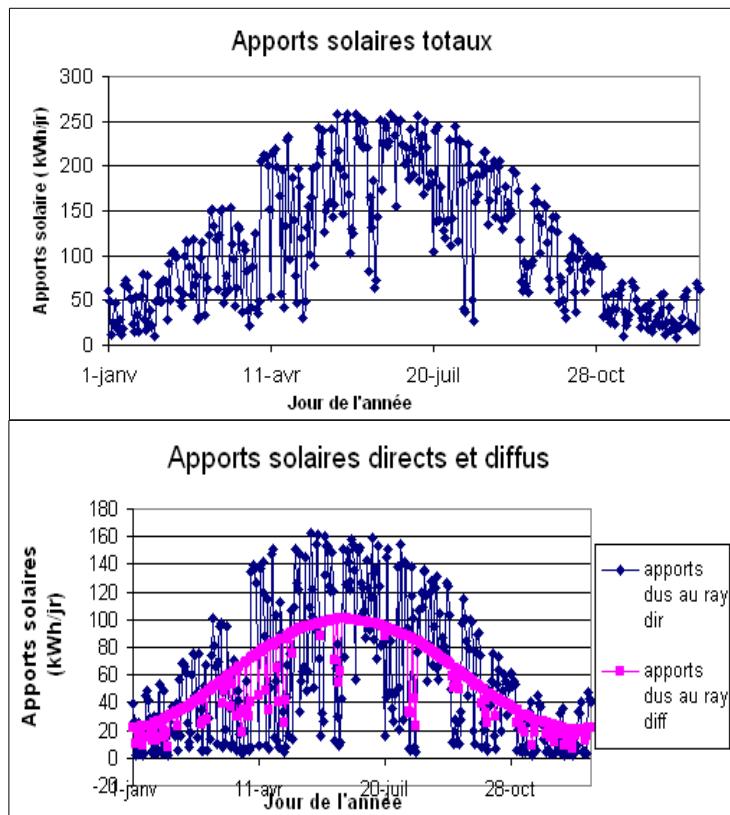
Les hypothèses retenues pour les consommations d'électricité spécifique figurent dans le tableau suivant :

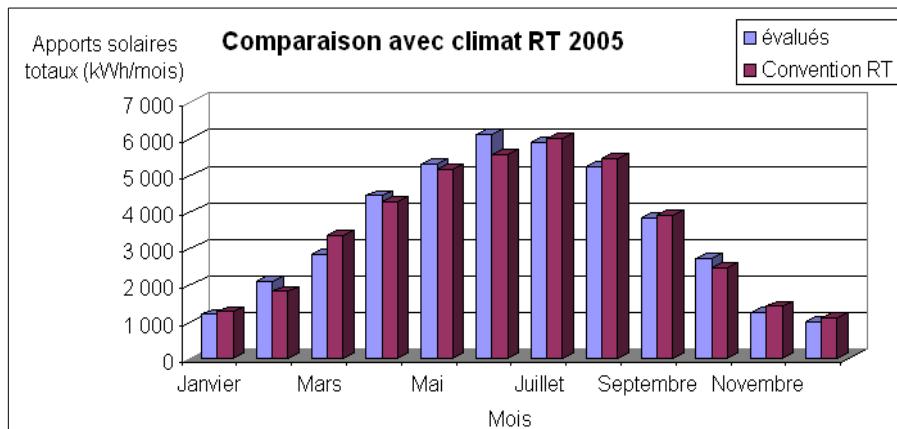
| Appareil | Quantité (u) | Puissance (W) | Puissance (kW) | Temps (h) | Énergie consommée par heure (kWh) |
|------------------------|--------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------------------|
| Ordinateur | 3 | 120 | 0,12 | 1 | 0,36 |
| Écran | 3 | 30 | 0,03 | 1 | 0,09 |
| Total par heure | | | | | 0,45 |

Pour l'électricité spécifique, une consommation de 0,45 kWh est prise en compte pendant les heures d'occupation des classes. Les apports internes horaires répartis sur la période d'occupation s'élèvent à 10,88 W/m².

3.3 - Apports solaires

Les données traitées couvrent la période du 22 septembre 2014 au 21 septembre 2015. Elles proviennent de la station météo de Saint-Viance. Les données manquantes (après le 26 mars 2015) sont issues de la station météo de Marval. Les données sont aggrégées afin de pouvoir les comparer aux apports solaires du climat de référence (du 1^{er} janvier au 31 décembre).





Sur ce dernier graphique, nous constatons que les apports solaires ont été plus importants que ceux prévus par le climat de référence au premier semestre 2015. A contrario, sur la fin d'année 2014 (à partir de fin septembre) et durant l'été 2015 les apports ont été moins importants.

3.4 - Analyse de l'enveloppe

3.4.1 - Méthodologie et hypothèses

Idem première année – cf. paragraphe 2.3.1.

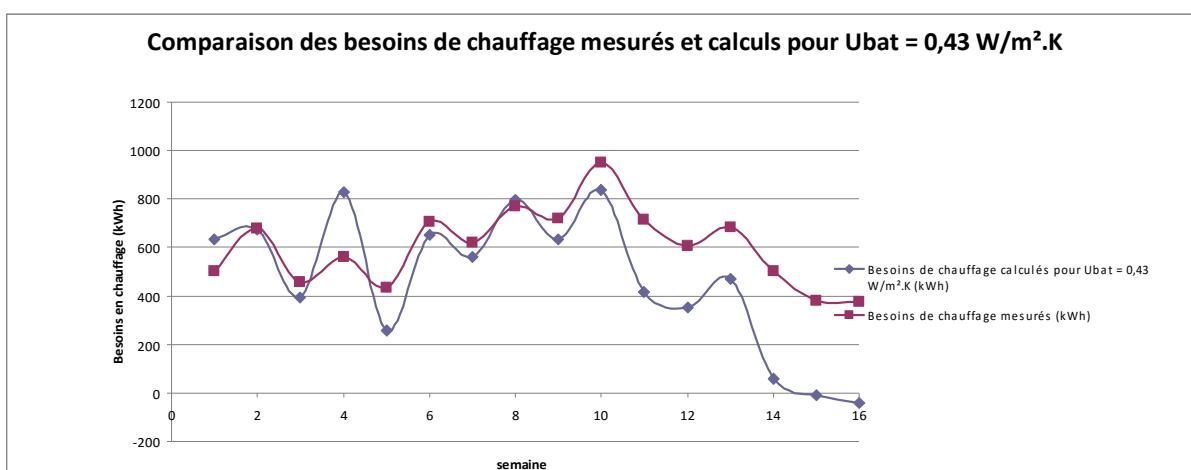
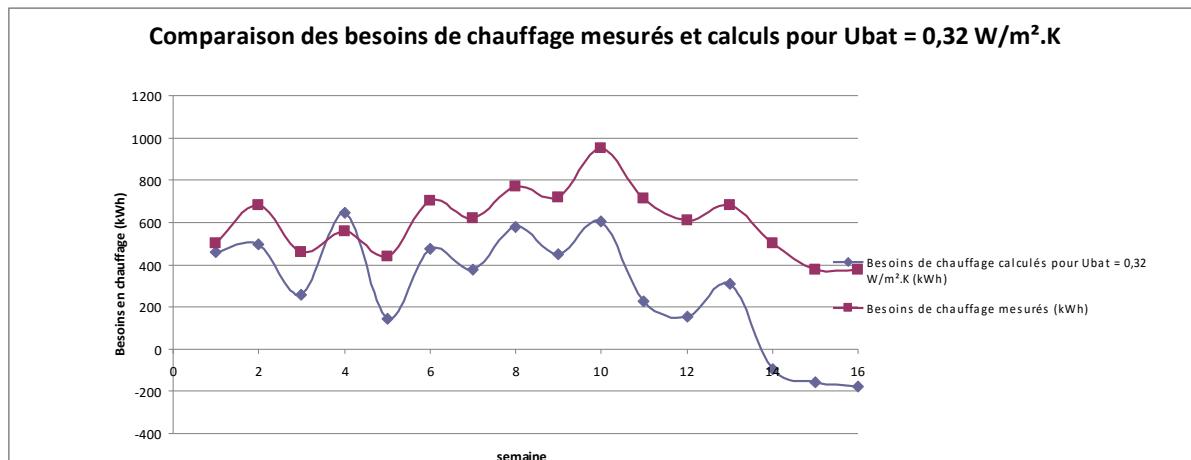
3.4.2 - Résultats obtenus sur le coefficient $U_{\text{bât}}$

La période considérée pour l'analyse de l'enveloppe s'étend du 1^{er} décembre 2014 au 22 mars 2015. Le tableau ci-dessous indique le résultat obtenu, en le confrontant au $U_{\text{bât}}$ théorique.

| $U_{\text{bât}} \text{ théorique}$ [W/m ² .K] | $U_{\text{bât}} \text{ mesuré}$ [W/m ² .K] |
|---|--|
| 0,430 | 0,430 |

Contrairement aux observations de la première année de suivi, le $U_{\text{bât}}$ mesuré apparaît conforme au $U_{\text{bât}}$ théorique.

Les courbes ci-après comparent, pour les 16 semaines évaluées, les besoins réels mesurés sur le bâtiment et les besoins recalculés avec un $U_{\text{bât}}$ donné.



Sur ces deux graphes nous voyons que, sur l'ensemble de la période considérée, les deux courbes sont davantage proches l'une de l'autre avec un U_{bat} de $0,43 \text{ W/m}^2.\text{K}$ plutôt qu'avec un U_{bat} de $0,482 \text{ W/m}^2.\text{K}$

L'hiver de la seconde année de suivi a globalement été plus froid que celui de la première année. Le U_{bat} obtenu est vraisemblablement plus réaliste que celui obtenu précédemment.

3.5 - Analyse du confort hiver/été

3.5.1 - Locaux suivis

Idem première année – cf. paragraphe 2.4.1.

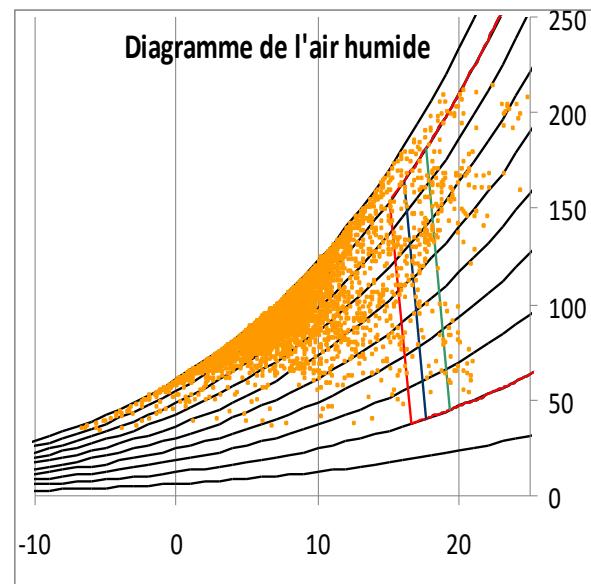
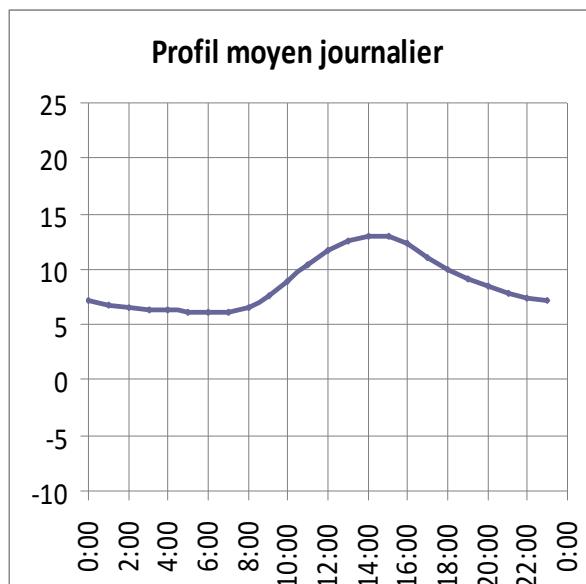
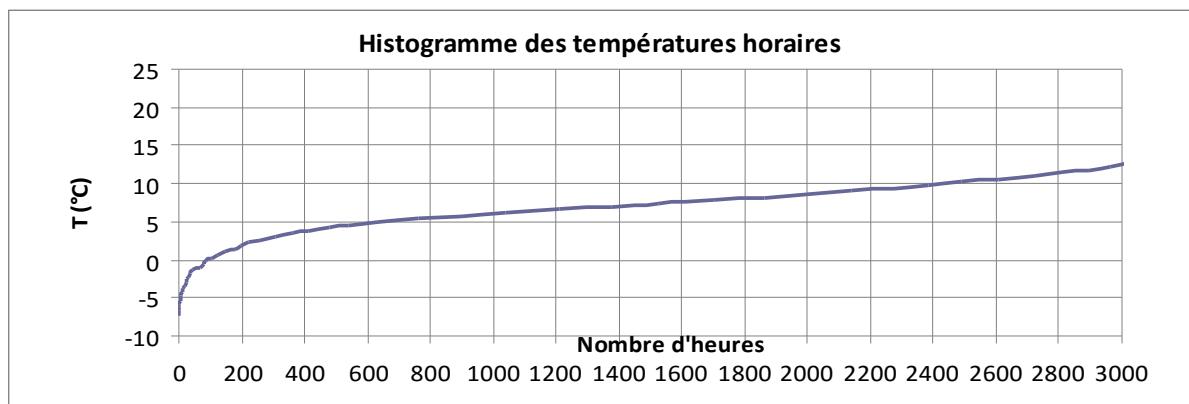
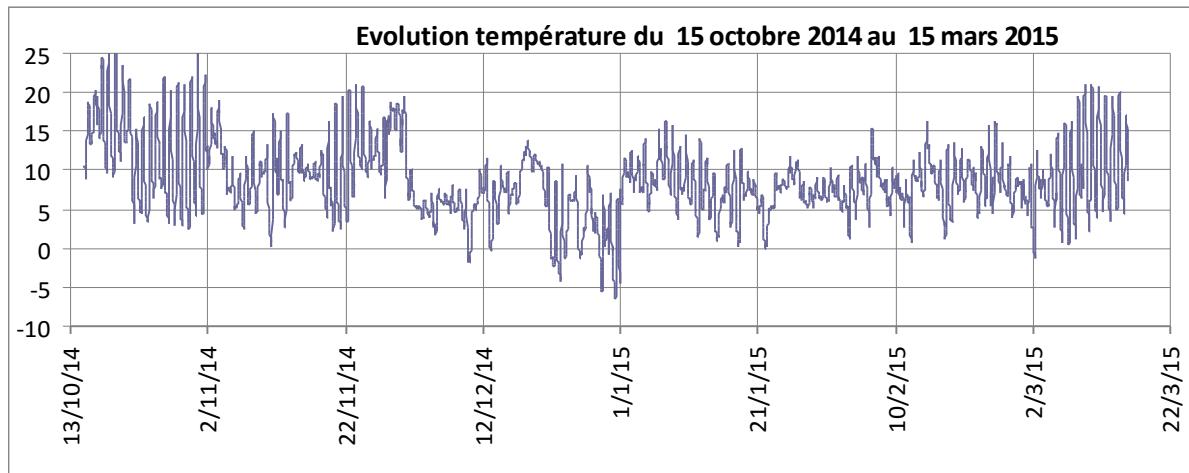
3.5.2 - Présentation des résultats

Idem première année – cf.paragraphe 2.4.2.

3.5.3 - Confort d'hiver

Conditions climatiques hivernales

La période considérée est comprise entre le 15 octobre 2014 et le 15 mars 2015.

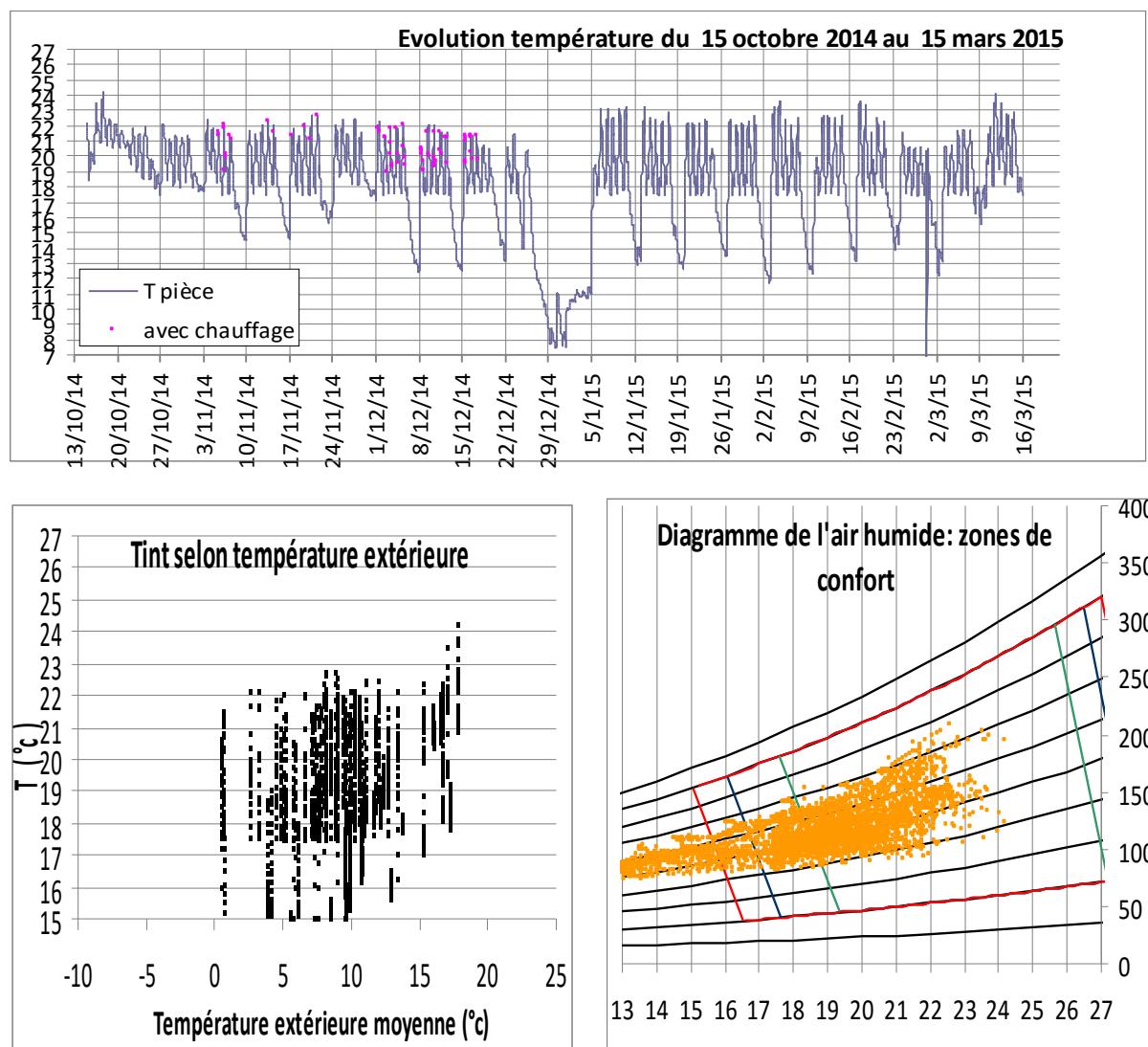


Même si l'hiver 2014–2015 a été un peu plus froid que le précédent, il est resté relativement doux. Les températures relevées sont très rarement inférieures à 0°C (100 heures environ sur la période considérée). La température moyenne de la journée la plus froide, en l'occurrence le 31décembre 2014, s'élève à -1,2°C.

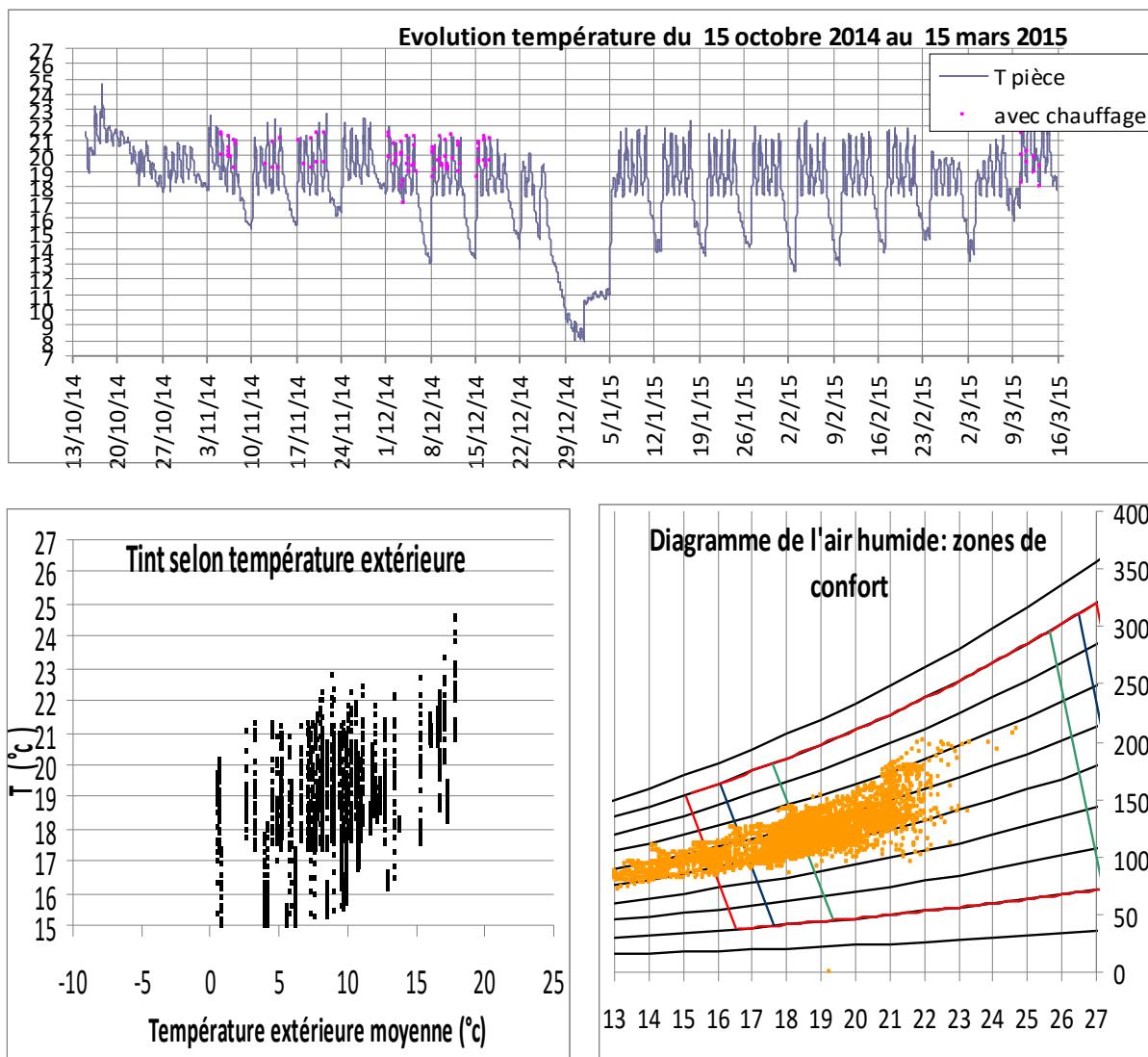
Zones de confort

Ci-dessous figurent les résultats obtenus sur la période du 15 octobre 2014 au 15 mars 2015, pour les salles de classe. Dans les diagrammes de l'air humide, le confort optimal est atteint lorsque les couples de points {température; humidité relative} sont dans le polygone vert. Le confort est dégradé lorsque l'on s'éloigne de cette zone.

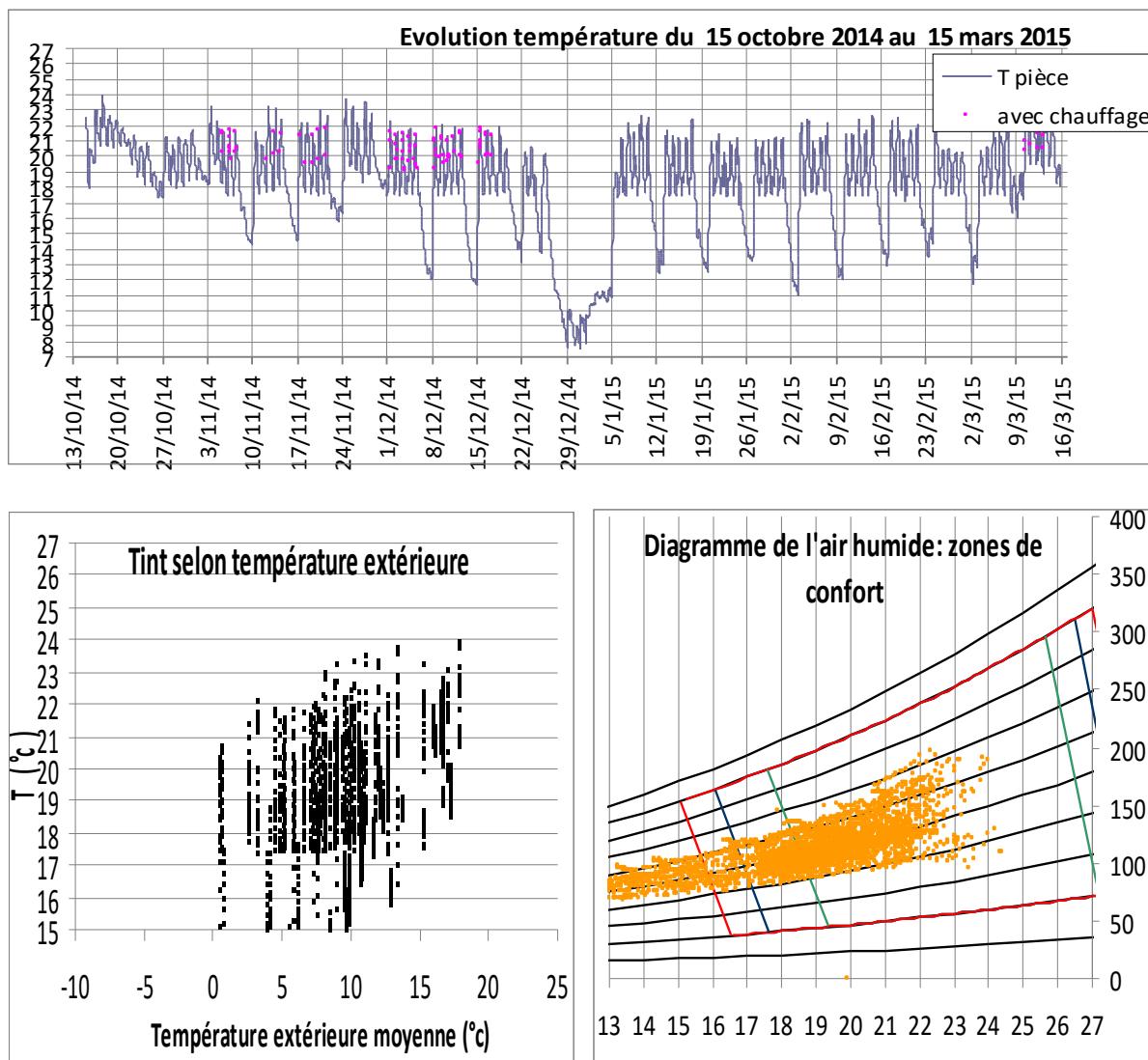
Salle de classe n°1



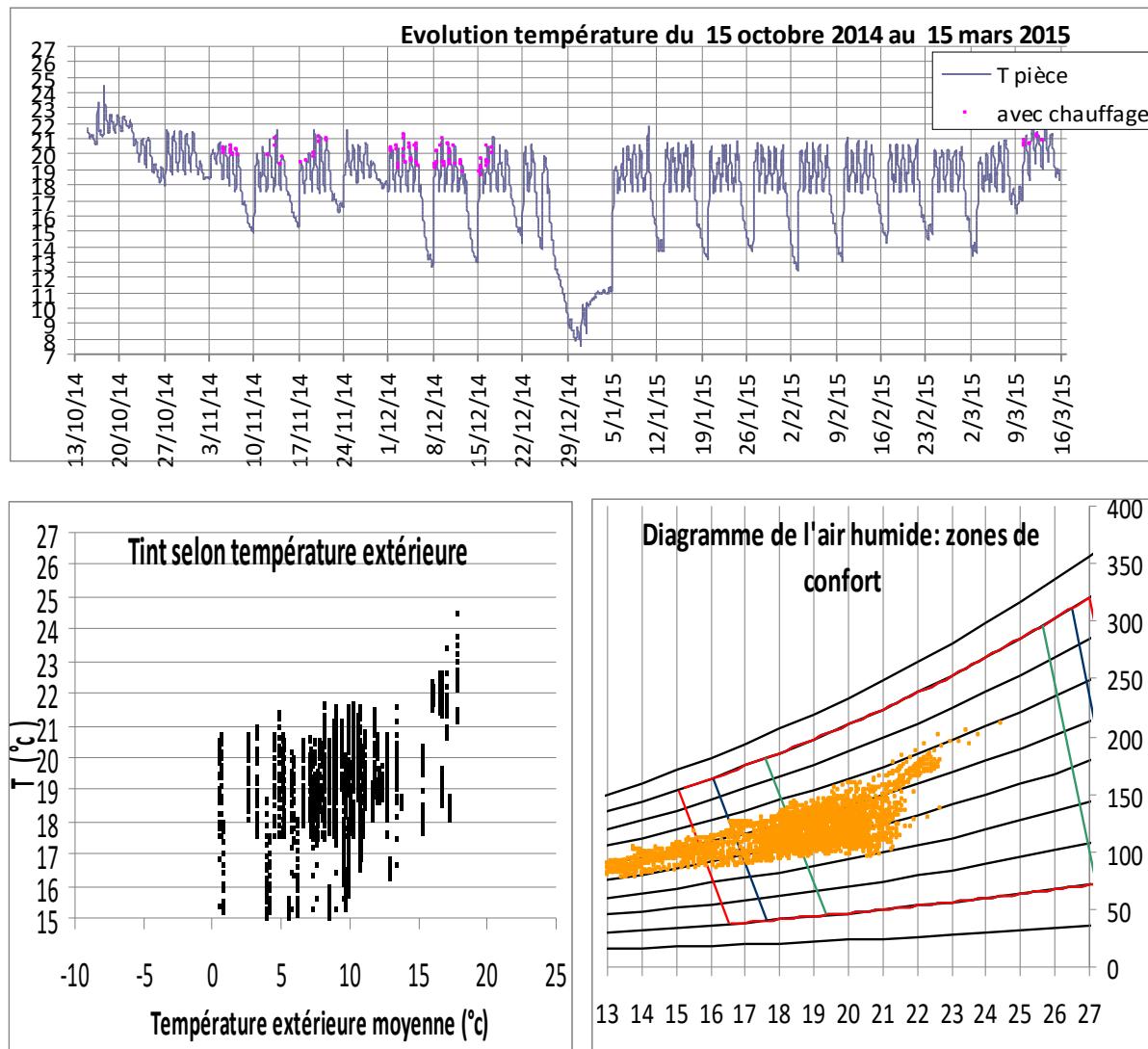
Salle de classe n°2



Salle de classe n°3

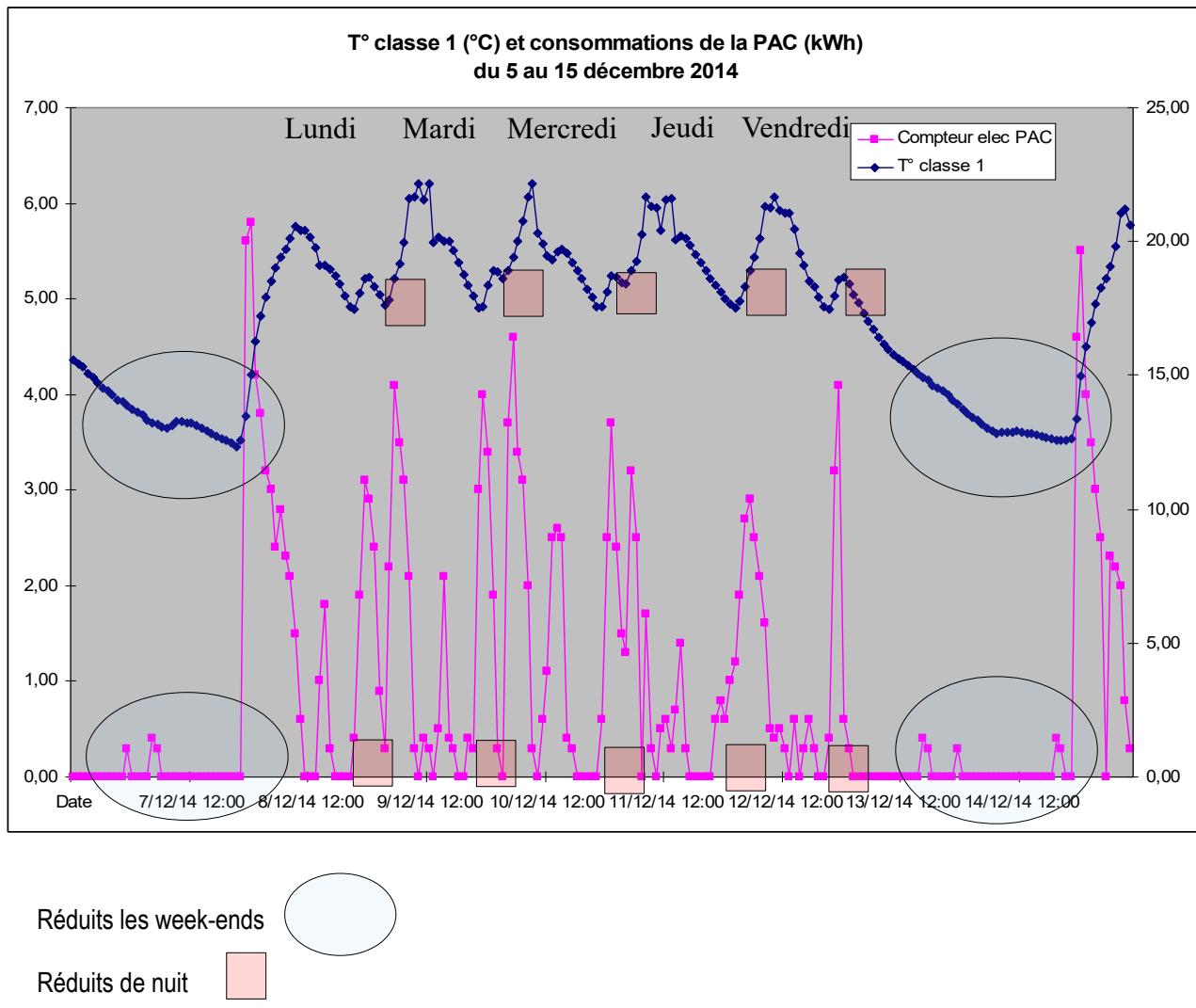


Salle de classe n°4



Comme lors de la première année, les graphiques représentant l'évolution des températures intérieures sur la période considérée font clairement apparaître une utilisation d'un mode chauffage réduit la nuit.

Sur le graphique ci-dessous, nous observons également la présence d'un mode réduit les week-ends (à partir du 9 novembre 2014).



Les réduits en week-end sont mis en place à partir du 9 novembre 2014. Si une mise hors gel lors des vacances de fin d'année est clairement visualisée, il est à noter que nous n'observons pas la même chose lors des congés d'automne et de février.

Globalement, les salles de classes sont correctement chauffées lors des périodes d'occupation (températures comprises entre 18°C et 23°C). L'analyse des graphiques des températures intérieures en fonction de la température extérieure montre que le système de chauffage permet de chauffer les locaux à des températures intérieures supérieures à 19°C en période d'occupation, y compris lorsque les températures extérieures sont les plus faibles.

Les diagrammes de confort laissent apparaître de nombreux points en dehors de la zone de confort. Néanmoins, ces points correspondent essentiellement aux périodes d'inoccupation des locaux pour lesquelles le chauffage est en mode réduit.

En occupation, l'indice de confort thermique PMV (Predicted Mean Vote) obtenu est le suivant :

| | PMV | Nb d'heures |
|----------------|-------------|-------------|
| Catégorie IV- | [-2;-0,7] | 54 |
| Catégorie III- | [-0,7;-0,5] | 2 |
| Catégorie II- | [-0,5;-0,2] | 242 |
| Catégorie I | [-0,2;+0,2] | 387 |
| Catégorie II+ | [+0,2;+0,5] | 8 |
| Catégorie III+ | [+0,5;+0,7] | 0 |
| Catégorie IV+ | [+0,7;+2] | 0 |

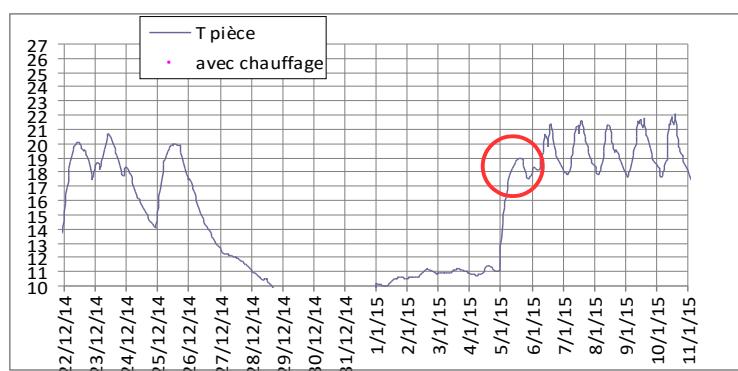
Dans notre cas, le PMV en occupation s'élève à -0,57. Le pourcentage prévisible de personnes insatisfaites des conditions est très légèrement au-dessus de la barre des 10%.

Si nous considérons uniquement les heures d'occupation des lundis, nous constatons que le PMV présente les mêmes caractéristiques en ce qui concerne les ambiances les plus froides.

| | PMV | Nb d'heures |
|----------------|-------------|-------------|
| Catégorie IV- | [-2;-0,7] | 54 |
| Catégorie III- | [-0,7;-0,5] | 2 |
| Catégorie II- | [-0,5;-0,2] | 34 |
| Catégorie I | [-0,2;+0,2] | 45 |
| Catégorie II+ | [+0,2;+0,5] | 0 |
| Catégorie III+ | [+0,5;+0,7] | 0 |
| Catégorie IV+ | [+0,7;+2] | 0 |

Le PMV limité aux conditions rencontrées le lundi s'élève à -1,48. Le pourcentage prévisible de personnes insatisfaites des conditions est alors proche de 50%. La moitié des personnes considérerait donc que l'ambiance thermique est froide ou très froide.

Ce phénomène est particulièrement observé après une interruption prolongée du chauffage (voir exemple ci-dessous, avec un lundi de reprise après les vacances de fin d'année).

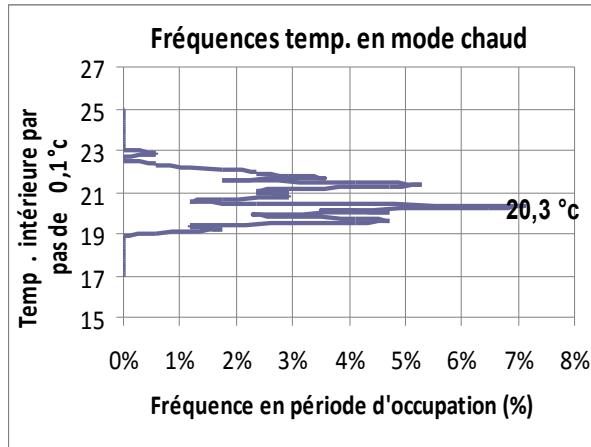


En conclusion, nous pouvons affirmer que globalement, le chauffage et la ventilation de l'école permettent d'assurer un bon confort hygrothermique des occupants ; toutefois, une attention particulière doit être accordée à la reprise du chauffage après une longue période de fonctionnement en mode réduit.

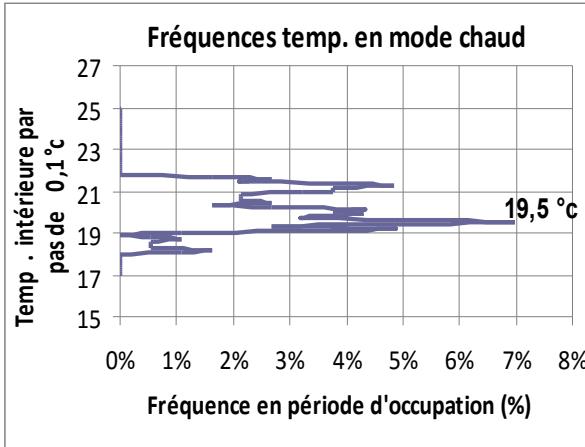
Températures de consigne mesurées

Pour les quatre classes, on s'intéresse à la fréquence d'apparition de chaque température.

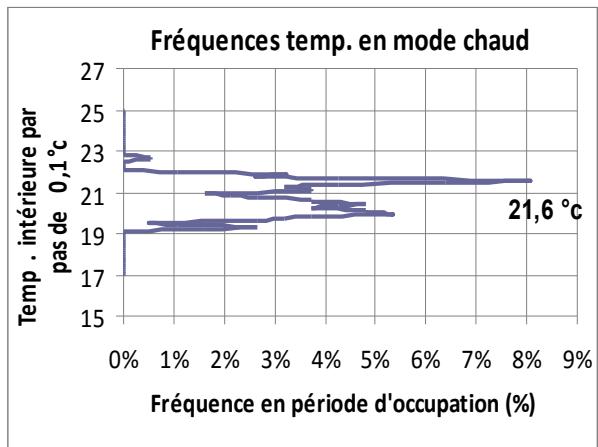
Salle de classe n°1



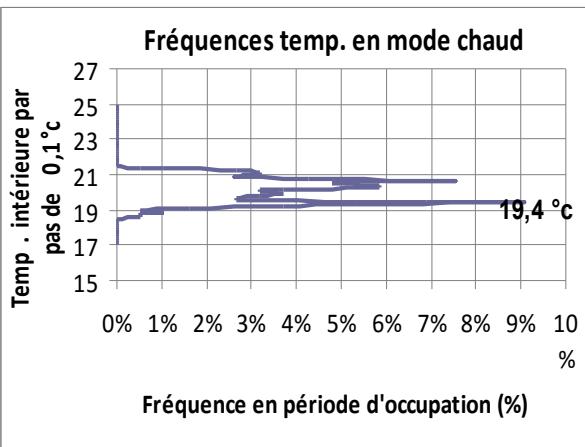
Salle de classe n°2



Salle de classe n°3



Salle de classe n°4

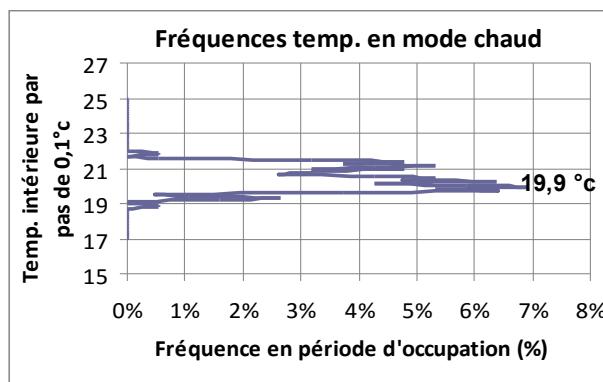


La classe n°2 présente des températures parmi les plus fraîches. Son enveloppe présente des baies moins grandes, donc la classe bénéficie de moins d'apports solaires. Avec l'inertie du plancher chauffant, les périodes où la température dépasse les 20°C sont beaucoup plus rares.

La classe n°3 est située dans l'aile symétrique à la classe n°1. On retrouve un comportement thermique relativement similaire avec des températures qui dépassent souvent 22°C, et qui augmentent en fin d'après-midi du fait de l'inertie du plancher chauffant combinée aux apports solaires.

La classe n°4 se situe au-dessus de la classe n°2. Son comportement thermique est assez semblable à celui de la classe n°2 du fait de parois vitrées de surface similaire. La température dépasse rarement 21°C et le profil moyen journalier est relativement stable. La température la plus fréquente est cependant plus basse que pour la salle de classe n°2. Cet écart est directement lié à l'occupation. En effet, cette salle est utilisée environ 1 heure par jour avec des effectifs limités à une dizaine d'élèves.

Le calcul de la température horaire moyenne de l'ensemble des classes nous permet d'obtenir le graphique ci-après :



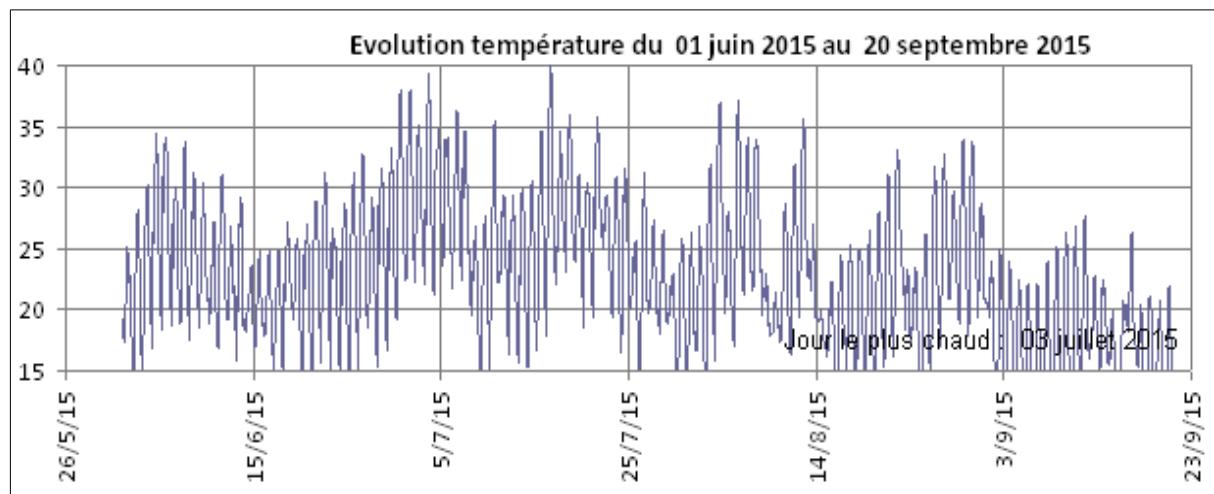
Par conséquent, la température de consigne considérée dans la suite de l'analyse s'élève à 19,9 °C.

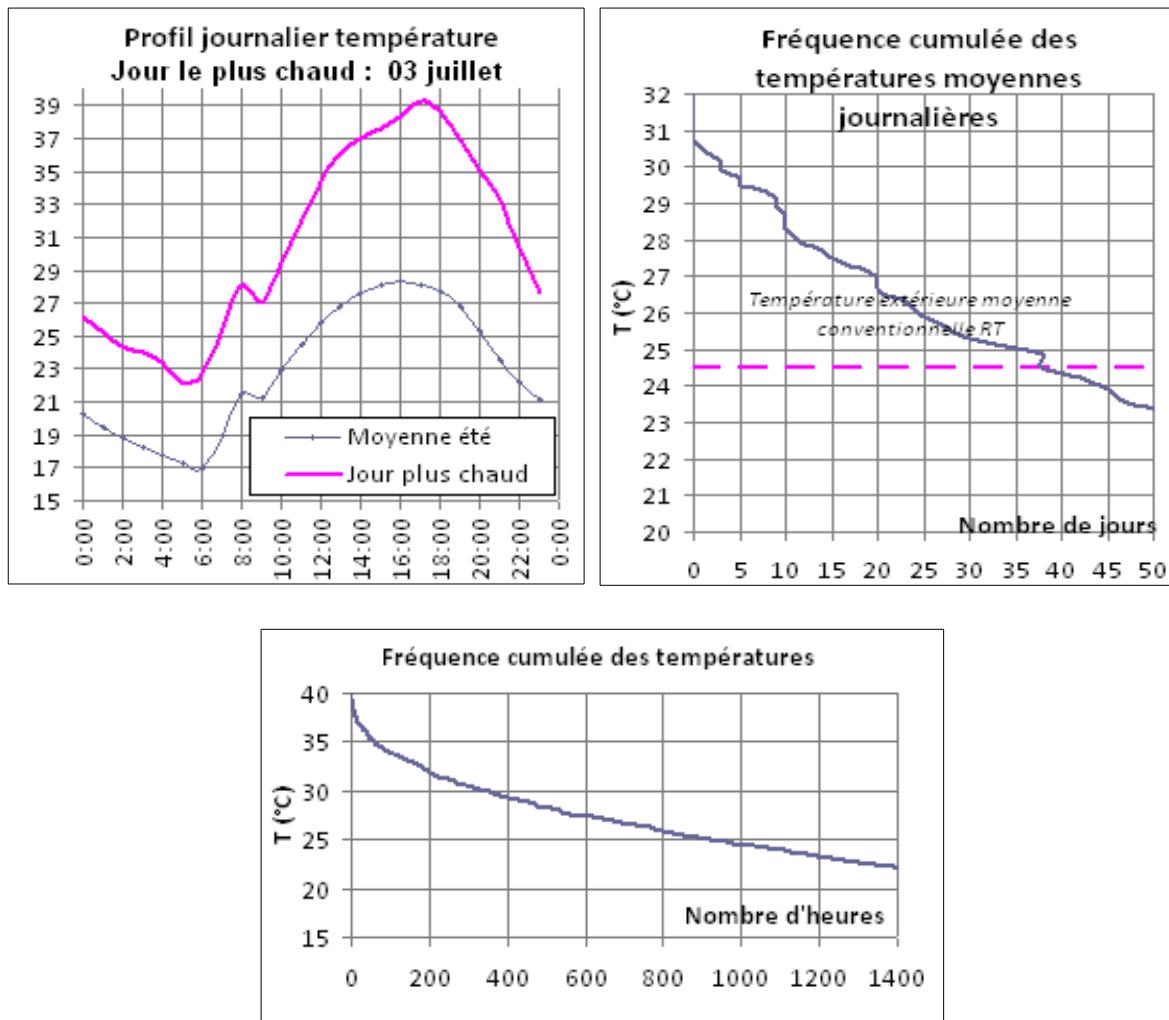
Comme lors de la première année, la température de consigne mesurée est inférieure à la température de consigne théorique. Ceci devrait expliquer une partie des économies de chauffage par rapport aux valeurs annoncées par le calcul théorique.

3.5.4 - Confort d'été

Conditions climatiques estivales

La période considérée pour l'analyse du confort d'été s'étend du 1^{er} juin au 20 septembre 2015. À l'image de ce qui a été réalisé pour le confort d'hiver, les données de température et d'hygrométrie intérieures des différents locaux au cours de cette période sont analysées.





Text Moy J+chaud = 30,6°C

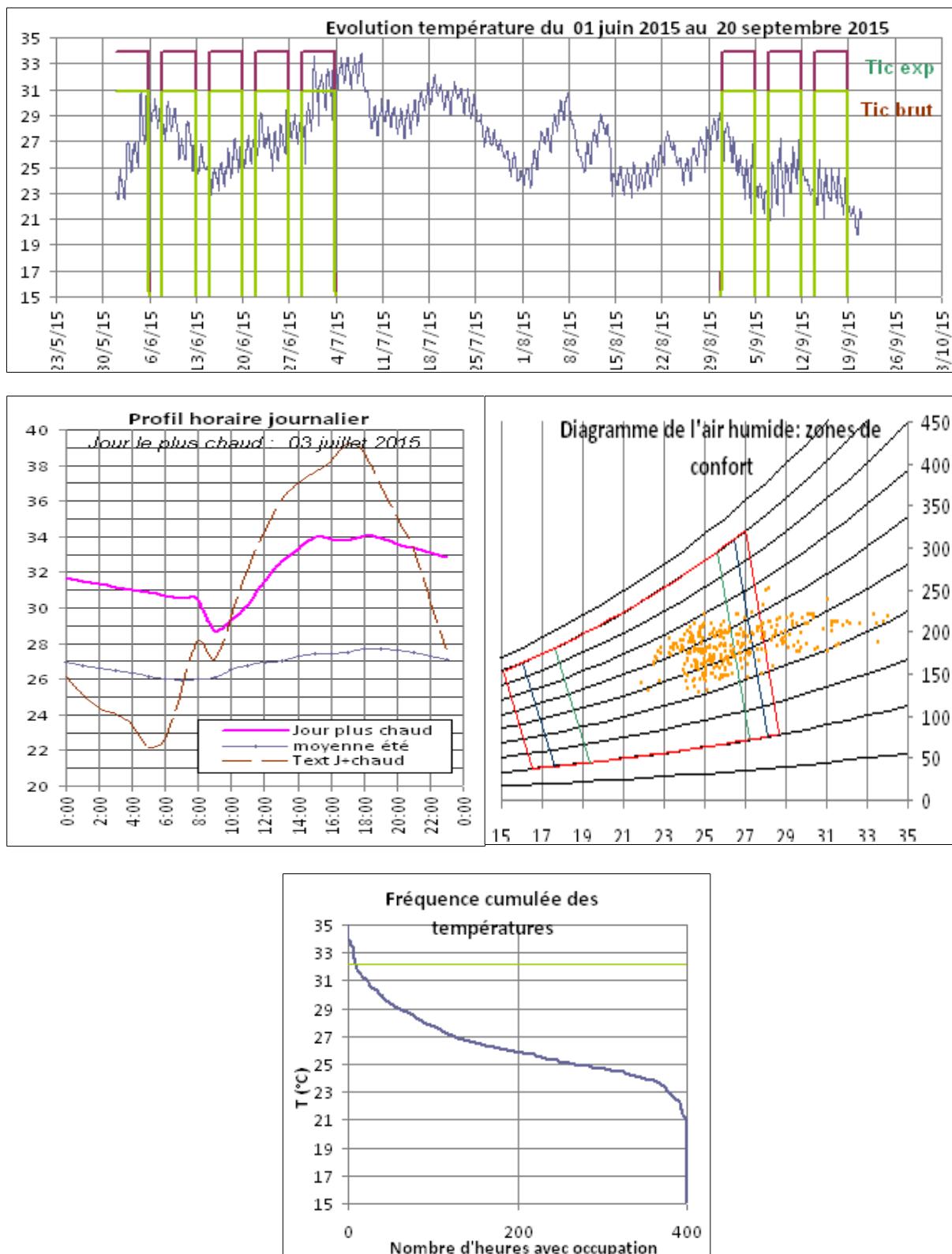
Contrairement à l'année précédente, les températures extérieures ont été particulièrement chaudes au cours de l'été 2015, avec près de 400 heures au-dessus de 30°C. Le jour le plus chaud de l'été 2015 est le 3 juillet 2015 avec une température moyenne extérieure de 30,6°C.

Température intérieure conventionnelle

Hors résidentiel, la température intérieure conventionnelle (Tic) est la valeur maximale des températures opératives obtenues en période d'occupation.

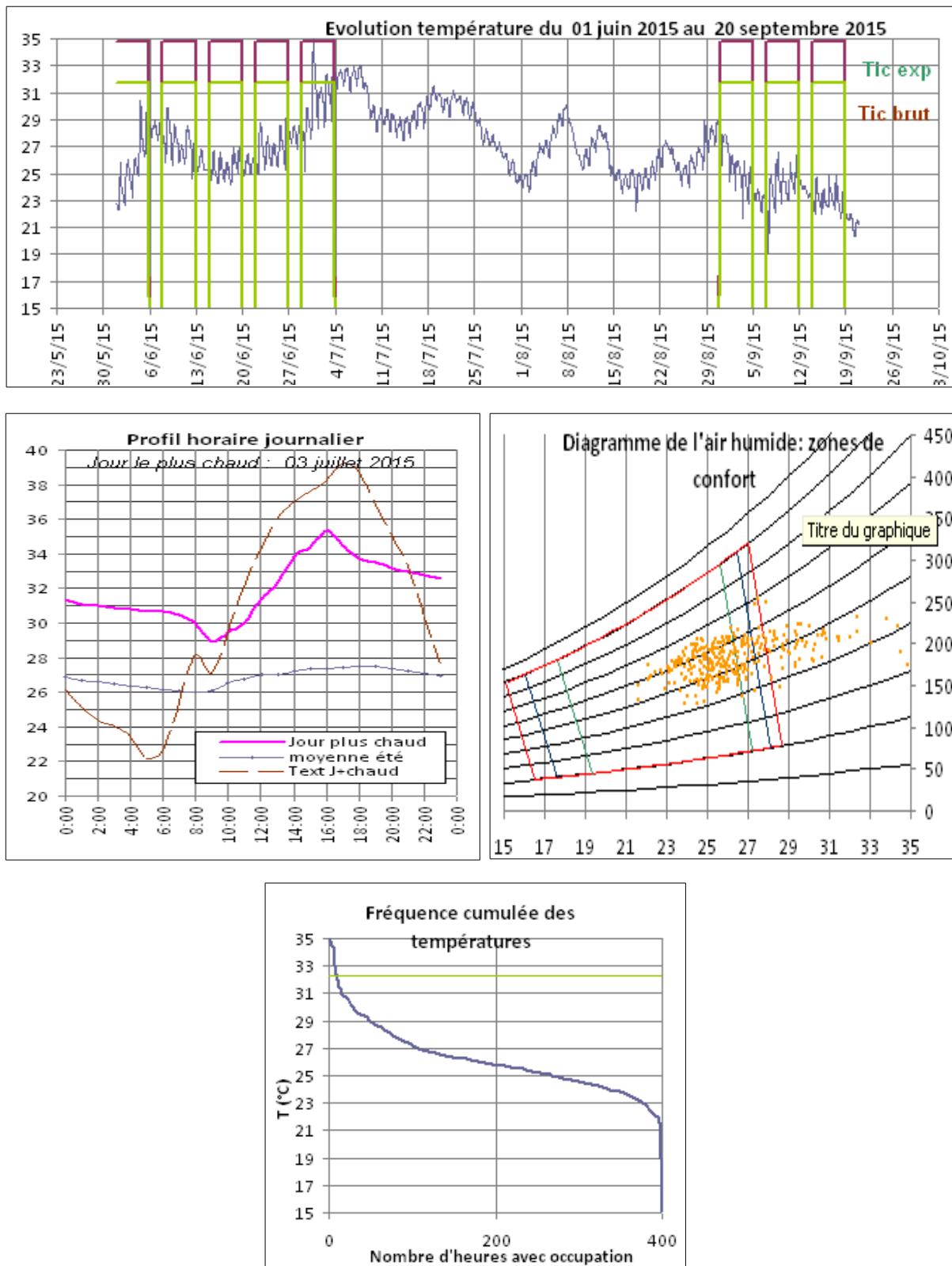
Les graphes ci-dessous présentent les résultats obtenus pour les quatre salles de classe.

Salle de classe n°1



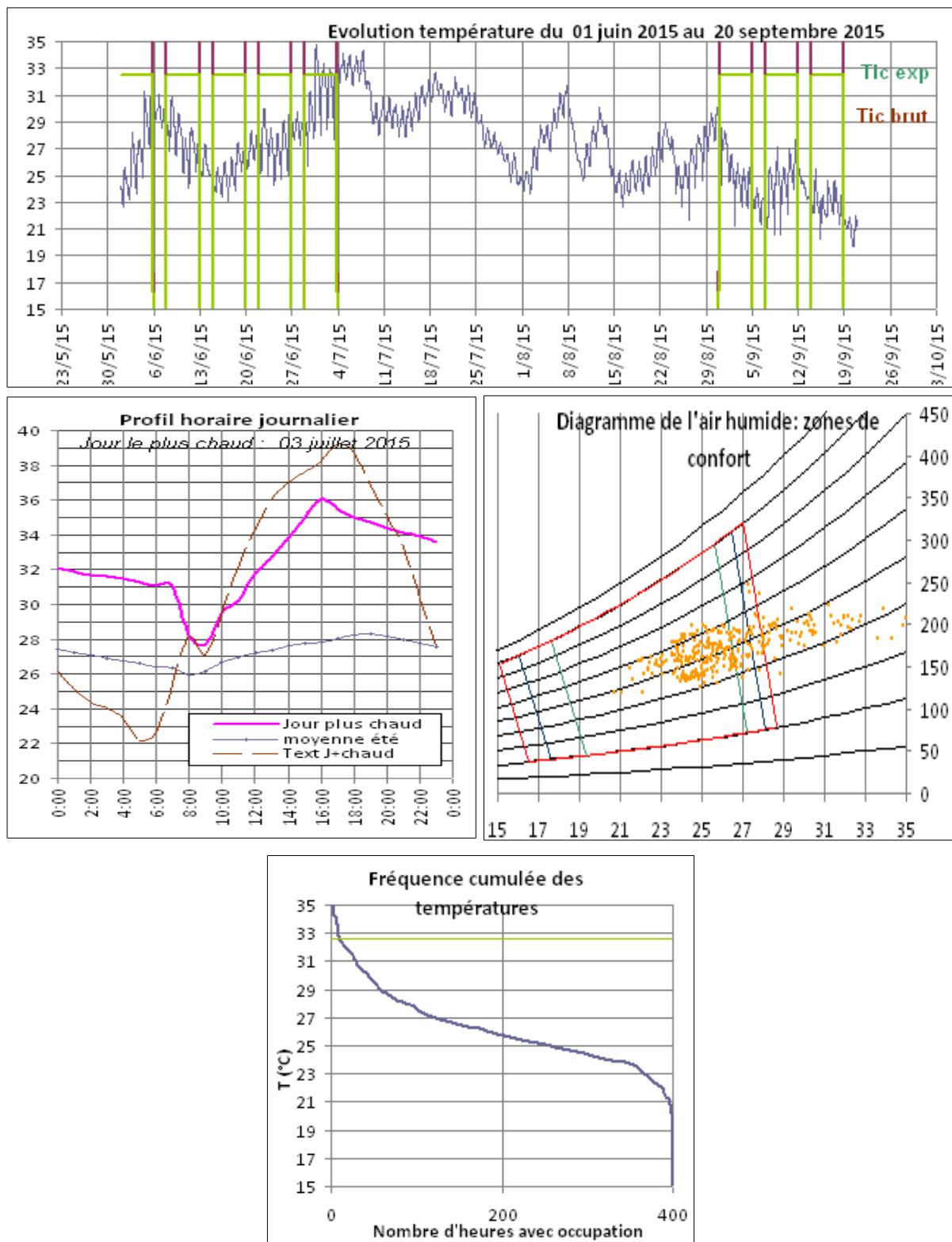
Tic expérimentale = 33,9°C

Salle de classe n°2



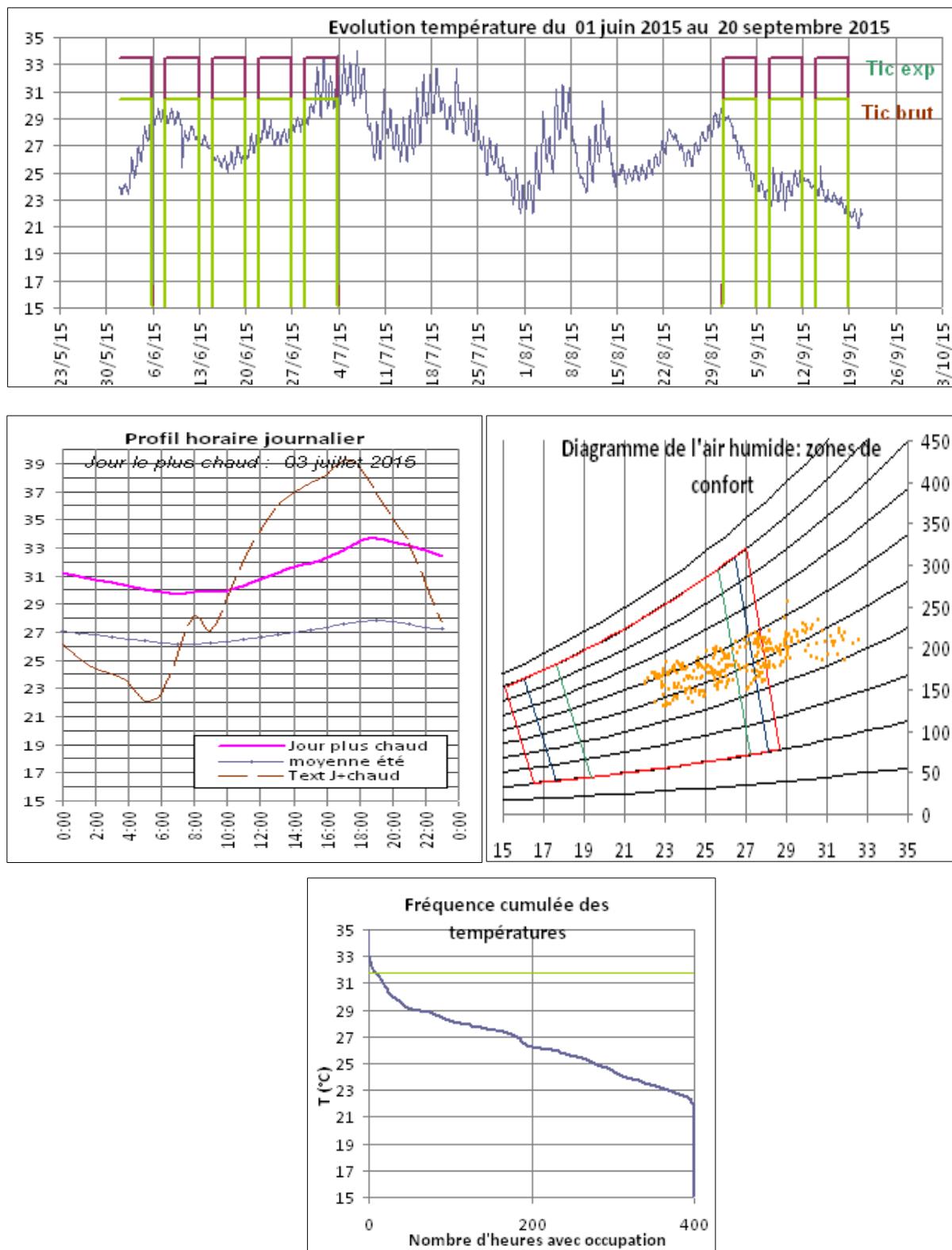
Tic expérimentale = 34,7°C

Salle de classe n°3



Tic expérimentale = 35,5°C

Salle de classe n°4



Tic expérimentale = 34,5°C

Analyse

Pour l'ensemble des classes, nous relevons des conditions de confort aux profils similaires. Une part importante des points de mesure est hors de la zone de confort. La cause est essentiellement due à des températures intérieures élevées. En période d'occupation du bâtiment (du lundi au vendredi de 8h à 17h hors vacances d'été), les différents diagrammes des fréquences cumulées des températures intérieures montrent que ces dernières dépassent 25°C les deux tiers du temps environ.

Les résultats de calcul des Tic expérimentales sont compris entre 33,9°C et 35,5°C. Ceci est nettement supérieur à l'étude thermique qui présente une Tic projet égale à 32,03°C.

Les courbes de température de la journée la plus chaude montrent que, bien que la température intérieure fluctue sur 24 heures davantage que ce que nous avions constaté l'année précédente, elle reste très élevée. Elle est au-delà de 28°C au rez-de-chaussée et de 30°C à l'étage. Le bâtiment est donc particulièrement exposé aux problèmes de surchauffe. Une bonne gestion des protections solaires est nécessaire à l'optimisation du confort des occupants. Par ailleurs, il conviendrait d'étudier la possibilité de mettre en place un dispositif de surventilation nocturne.

3.6 - Analyse du fonctionnement de la production de chauffage

Comme signalé précédemment, les dysfonctionnements de l'instrumentation n'ont pas permis de disposer de données suffisantes pour analyser le système de chauffage sur deux hivers consécutifs. Les résultats de la première année de suivi (cf. paragraphe 2.5) ont porté sur la période comprise entre 22 octobre 2014 et le 1^{er} avril 2015. Cette période correspond *in fine* à la seconde année de suivi. Ces résultats sont par conséquent réutilisés pour l'analyse qui s'ensuit.

3.7 - Consommation globale d'éclairage

Le dysfonctionnement du dispositif de comptage de l'éclairage ne permet pas d'analyser ce poste de consommation. Seule la consommation globale réelle peut être considérée grâce aux relevés manuels des compteurs.

Pour cette seconde année de suivi, la consommation d'éclairage totale s'élève à 2014,80 kWh d'énergie finale, ce qui correspond à une consommation annuelle de 16,63 kWhep/m². Cette dernière est inférieure de 41,60% à la valeur résultant du calcul conventionnel.

Les consommations d'éclairage sont encore plus faibles que lors de la première année de suivi. Un éclairement naturel plus important que celui prévu au niveau du calcul conventionnel explique en partie ce bon résultat. Toutefois, celui-ci est vraisemblablement lié avant tout à la faible occupation des locaux en comparaison du scénario conventionnel de la méthode de calcul (recours à l'éclairage artificiel possible 10 heures par jour et 5 jours par semaine hors périodes de vacances scolaires).

3.8 - Analyse des consommations des Auxiliaires

3.8.1 - Auxiliaires de ventilation

Comme lors de la première année de suivi, les dysfonctionnements du dispositif de comptage des consommations des auxiliaires de ventilation ne permet pas d'analyser ce poste de consommation. Il est par conséquent impossible de vérifier le bon fonctionnement de la ventilation (plage de fonctionnement, utilisation de mode réduit, etc.).

Au global, la consommation annuelle des auxiliaires de ventilation reste environ inférieure de moitié au calcul conventionnel.

3.8.2 - Autres auxiliaires

Comme vu précédemment (cf. paragraphe 2.7.2), l'analyse des consommations électriques de la PAC a permis d'identifier une consommation plancher en fonctionnement interprétée comme la consommation spécifique aux auxiliaires de chauffage.

Pour cette seconde période de suivi, la consommation de ces auxiliaires est estimée à 6,25 kWhep/m². Elle est, comme lors de la première année, nettement supérieure à la valeur du calcul réglementaire (+53,94%).

3.9 - Consommations recalées

Les consommations théoriques, issues du calcul réglementaire doivent être recalées avant d'être comparées aux consommations réelles.

Les paramètres qui sont dus à la différence « conventionnel/prévisionnel » sont modifiés dans le calcul réglementaire. Les autres paramètres liés à l'utilisation et aux caractéristiques réelles du bâtiment seront corrigés dans la partie suivante.

Les modifications portent donc sur :

- le climat : le fichier météo est remplacé par le climat réel de l'année de suivi (données obtenues via la station météo ou le capteur extérieur situé à l'école et complétées au besoin avec les données météo des stations de Marval) ;
- les apports internes, scénarios d'occupation et de ventilation ; comme précédemment, nous considérons le scénario moyen d'occupation et les apports internes définis ci-dessus pour recaler les consommations théoriques. En l'absence de données, nous conservons les scénarios de ventilation conventionnels.

3.9.1 - Impact du climat

Le tableau ci-dessous donne les consommations théoriques recalées en fonction du climat réel de l'année considérée.

| Impact du climat | | | |
|---------------------------|---|-------|---------|
| | Consommation corrigée (kWhep/m ² .an) | Delta | Perte |
| Consommation totale | 71,24 | -8,92 | -11,13% |
| Consommation chauffage | 24,97 | -8,91 | -26,30% |
| Auxiliaire de ventilation | 13,75 | 0,00 | 0,00% |
| Autres Auxiliaires | 3,54 | -0,51 | -12,61% |
| Éclairage | 28,98 | 0,50 | 1,75% |

Le climat de l'année considérée, bien que légèrement plus froid que celui de l'année précédente, est également plus favorable que celui du climat de référence. Il devrait permettre de générer des économies annuelles de chauffage évaluées à 8,91 kWhep/m².

L'éclairage est légèrement impacté par la modification du fichier météo. Théoriquement il aurait dû être à l'origine d'une augmentation de la consommation annuelle de 0,50 kWhep/m².

3.9.2 - Impact des scénarios d'occupation, de ventilation et des apports internes

| Impact des scénarios d'occupation, de ventilation et des apports internes | | | |
|---|---|-------|---------|
| | Consommation corrigée (kWhep/m ² .an) | Delta | Perte |
| Consommation totale | 72,90 | -7,26 | -9,06% |
| Consommation chauffage | 32,73 | -1,15 | -3,39% |
| Auxiliaire de ventilation | 13,67 | -0,08 | -0,57% |
| Autres auxiliaires | 3,92 | -0,13 | -3,22% |
| Éclairage | 22,58 | -5,90 | -20,72% |

L'importance des apports internes et l'occupation plus faible que celle considérée par le scénario conventionnel sont à l'origine d'un gain sur les consommations globales de 9,06 %.

Les consommations d'éclairage sont particulièrement impactées. L'occupation est globalement inférieure de 20,72% par rapport à celle résultant du scénario conventionnel pour les établissements scolaires.

3.9.3 - Synthèse

La prise en compte des deux paramètres de manière simultanée conduit à recalier le calcul théorique la manière suivante :

| SYNTHESE (climat, occupation, apports internes, ventilation) | | | |
|--|---|--------|---------|
| | Consommation corrigée (kWhep/m ² .an) | Delta | Perte |
| Consommation totale | 63,51 | -16,55 | -20,77% |
| Consommation chauffage | 23,40 | -10,48 | -30,93% |
| Auxiliaire de ventilation | 13,67 | -0,08 | -0,57% |
| Autres auxiliaires | 3,28 | -0,78 | -19,24% |
| Éclairage | 23,17 | -5,31 | -18,65% |

Globalement, les consommations réelles devraient être inférieures de 20,77 % cette année par rapport au calcul théorique.

Le recalage des consommations théoriques permet de d'expliquer près de 57,29% des gains observés sur les consommations réelles (-36,25 % par rapport au calcul conventionnel).

D'autres paramètres liés au bâtiment différent, des corrections doivent être apportées à ce calcul recalé.

3.10 - Consommations corrigées

Tous les autres écarts constatés entre le calcul théorique et la réalité sont pris en compte ici. Les différents paramètres pouvant être à l'origine d'écart par rapport au calcul conventionnel sont les suivants :

- température de consigne dans les locaux : +0,9°C hors variation spatiale et temporelle,
- perméabilité à l'air mesurée à 2,68 m³/(h.m²)
- coefficient de performance moyen de la PAC : 4,86.

Les valeurs retenues pour les trois premiers paramètres sont strictement identiques à celles de la première année de suivi.

3.10.1 - Correction de la température de consigne

Idem première année de suivi – cf. paragraphe 2.9.1.

3.10.2 - Correction de l'indicateur de perméabilité à l'air du bâtiment

Idem première année de suivi – cf. paragraphe 2.9.2.

3.10.3 - Correction du coefficient de performance de la pompe à chaleur

Idem première année de suivi – cf. paragraphe 2.9.3.

3.10.4 - Synthèse des corrections

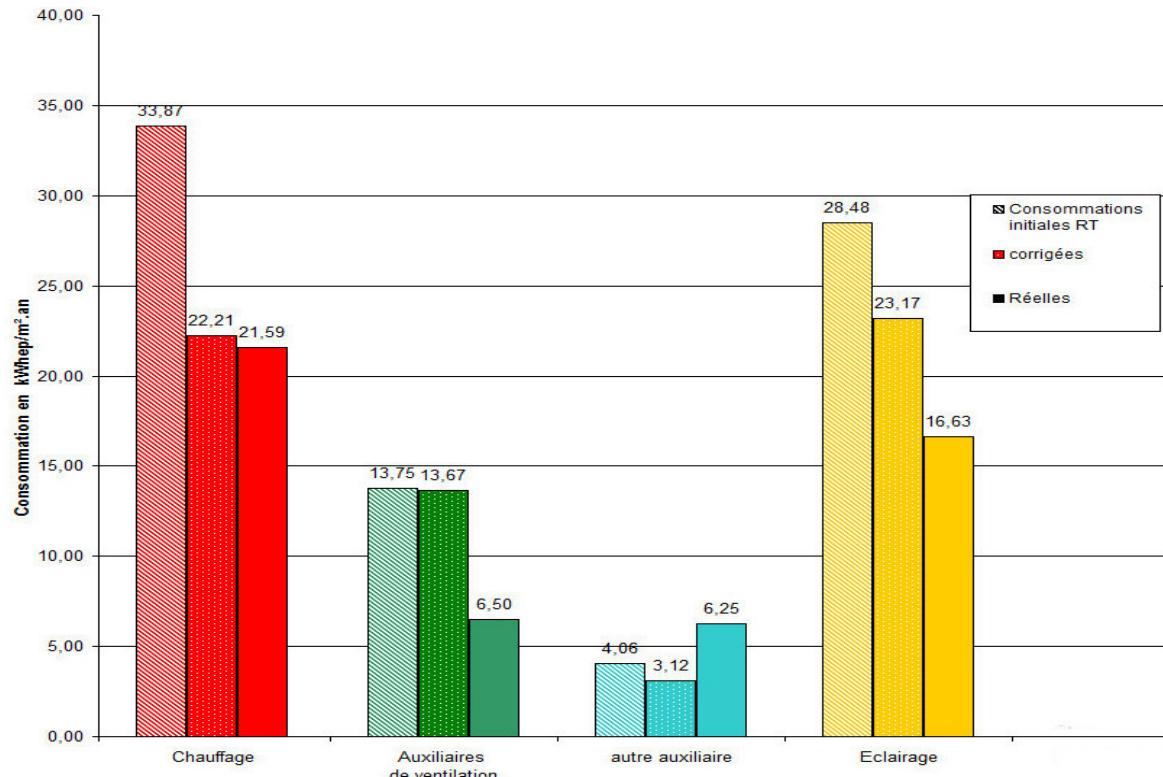
Les corrections annoncées précédemment permettent, pour chacun des paramètres, d'évaluer l'impact sur le calcul réglementaire, c'est-à-dire sur les résultats de l'étude thermique. Bien évidemment, ces différents paramètres sont en interaction permanente et ne peuvent être abordés de manière isolée.

La prise en compte de l'ensemble des éléments permet d'apporter au calcul théorique les corrections suivantes.

| Synthèse des corrections | |
|---|-------|
| Consommation conventionnelle [kW _{ep} .h/m ² .an] | 80,16 |
| Consommation corrigée [kW _{ep} .h/m ² /an] dont : | 62,17 |
| consommation chauffage | 22,21 |
| auxiliaire de ventilation | 13,67 |
| autres auxiliaires | 3,12 |
| éclairage | 23,17 |
| Consommation mesurée | 50,97 |

La consommation corrigée se rapproche de la consommation mesurée, tout en restant supérieure (+21,97 %). Ce résultat est assez proche de celui observé la première année de suivi.

Analyse des différents postes de consommation



Au cours de cette année de suivi, le principal poste de consommation est le chauffage. Il dépasse le poste éclairage qui était le plus énergivore lors de la première période de suivi. Les économies réalisées sont toujours imputables à :

- des conditions météorologiques qui, malgré des températures hivernales plus basses, restent plutôt favorables aux économies
- une température de consigne moyenne mesurée inférieure à celle du scénario conventionnel.

Comme lors de la première année, les consommations d'éclairage restent très inférieures au calcul théorique. Il est confirmé que les principales économies réalisées sur ce poste sont essentiellement dues à l'occupation de l'école. En effet, les plages d'utilisation de l'éclairage artificiel sont plus courtes que celles prévues par le scénario conventionnel « enseignement » du moteur de calcul. Bien qu'il subsiste un écart entre la valeur corrigée et la consommation réelle, cet écart est vraisemblablement dû au fait que la salle de classe n°4 est utilisée de manière sporadique (1h par jour selon les enquêtes d'occupation).

Il est également confirmé que la consommation des autres auxiliaires est plus importante que prévu. Il conviendrait de vérifier si des consommations subsistent hors période de chauffe.

Enfin, comme lors de la première année, les consommations de la ventilation apparaissent assez faibles. Les corrections apportées ne permettent pas de comprendre l'origine de ce résultat. L'absence de données précises (au pas de temps horaire) ne permet pas de visualiser une éventuelle utilisation de modes réduits.

4 - Analyse économique

4.1 - Objectifs

L'objectif de l'analyse économique des opérations PREBAT est en premier lieu d'évaluer la rentabilité économique de ces opérations. Le calcul économique est réalisé en coût global en comparant le bâtiment réalisé à une situation de référence. S'agissant de travaux de rénovation, sans changement de destination, cette référence est le bâtiment initial sans qu'on fasse de travaux d'amélioration énergétique. Le calcul s'effectue donc sur les différences de coûts entre les deux solutions : projet ou référence.

4.2 - Données et hypothèses considérées

Les calculs sont réalisés sur une période de 50 ans. Cette durée s'approche de la durée de vie du bâtiment pendant laquelle des investissements lourds devront être réalisés. Les données utilisées sont issues des documents suivants :

- étude thermique du 8 septembre 2011 ;
- Diagnostic de Performance Energétique de la commune de Saint-Viance de novembre 2009 ;
- estimations issues de l'appel à projets.

Conformément à la norme ISO 15686-5, des taux d'inflation spécifiques sont intégrés à l'actualisation des coûts d'énergie. Deux calculs en coût global sont effectués avec un taux d'actualisation spécifique :

- Un calcul en coût global simple avec un taux d'actualisation de 4% (qui est celui préconisé par le CAS et l'Union européenne pour les calculs en coûts globaux). Ce coût global simple traduit un point de vue financier (investisseur).
- Un calcul en coût global étendu comprenant l'externalité liée aux émissions de CO₂ avec un taux d'actualisation plus faible pour refléter plus fidèlement les avantages des investissements éco-énergétiques sur les moyen et long termes. Ce coût global étendu traduit un point de vue macro-économique (pouvoirs publics, société).

Le coût global simple est calculé de la façon suivante :

$$\text{Coût global} = \text{Investissement} + \sum_{i=1}^N \frac{\text{Coûts énergétiques}}{(1+ae)^i} + \sum_{i=1}^N \frac{\text{Coûts entretien}}{(1+a)^i} + \sum_{i=1}^N \frac{\text{Coûts remplacement}}{(1+a)^i} - \frac{\text{Valeur résiduelle}}{(1+a)^N}$$

où :

- a est le taux d'actualisation
- ae est le taux d'actualisation spécifique aux coûts de l'énergie (cf. plus haut). Il y a autant de valeurs pour ae qu'il y a de types d'énergie différents
- N est la durée du calcul
- la valeur résiduelle de l'investissement est la valeur du bien, au-delà de l'horizon de l'étude.

Conformément à ce que préconise la norme ISO 15686-5, les calculs sont réalisés en euros constants avec un taux d'actualisation. Cela présente l'avantage de pouvoir exploiter des données disponibles au moment du calcul, c'est-à-dire à la date d'aujourd'hui.

Coûts d'entretien et de remplacement

En l'absence de données financières précises disponibles, nous ne considérons pas :

- Les coûts d'entretien pour le bâti, ni pour le bâtiment projet ni pour le bâtiment de référence. Ceux-ci sont globalement les mêmes dans les deux cas. À titre d'exemple, une différence d'épaisseur ou de nature d'isolant sur les murs ou la toiture ne va en rien modifier des coûts d'entretien tels qu'un

- nettoyage de façade ou une réfection d'enduit.
- Les coûts de remplacement des composants et équipements.
 - Les ratios de maintenance et la durée de vie des équipements.

La valeur résiduelle

La valeur résiduelle pour un composant ou un équipement donné est une fonction décroissante linéairement. Par exemple, un composant représentant 10 000 € d'investissement avec une durée de vie moyenne de 20 ans vaudra 7 500 € au bout de 5 ans, 5 000 € au bout de 10 ans, pour finalement atteindre 0 € au bout de 20 ans, date de son remplacement. Cela permet de prendre en compte une valeur résiduelle plus forte pour les équipements plus chers à l'achat (tout du moins tant que leur durée de vie n'est pas épuisée).

Coûts des consommations énergétiques

Seule la consommation des cinq postes de la réglementation est prise en compte. Il s'agit de calculer la différence exprimée en € entre la consommation énergétique du bâtiment projet (appelée *Cep projet mesurée climat RT*), influence du climat réel exclue, et la consommation énergétique du bâtiment de référence corrigée de certains paramètres (appelée *Cep réf recalculée*).

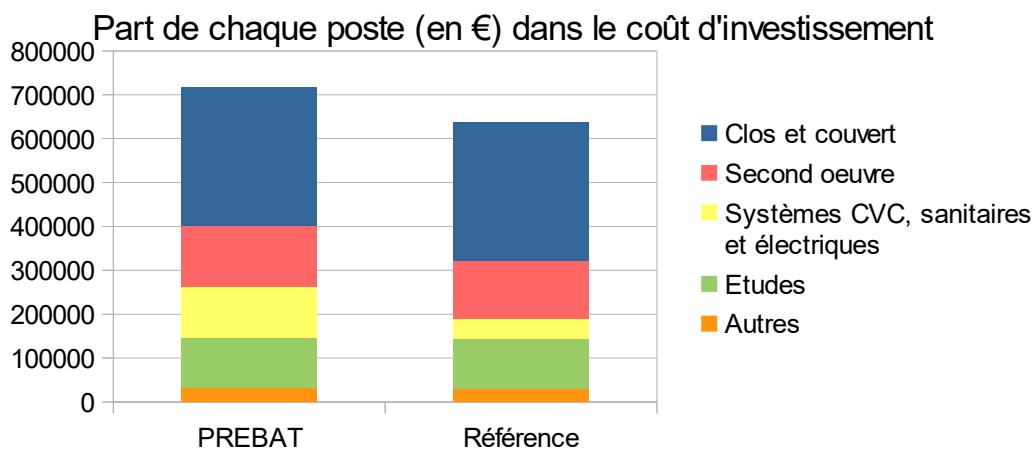
L'option retenue consiste à faire une règle de trois entre la consommation RT du bâtiment projet (*Cep projet*), la consommation "mesurée mais corrigée avec le climat RT" du bâtiment projet (*Cep projet mesurée climat RT*) et la consommation RT du bâtiment de référence (consommation du bâtiment de référence *Cep réf*).

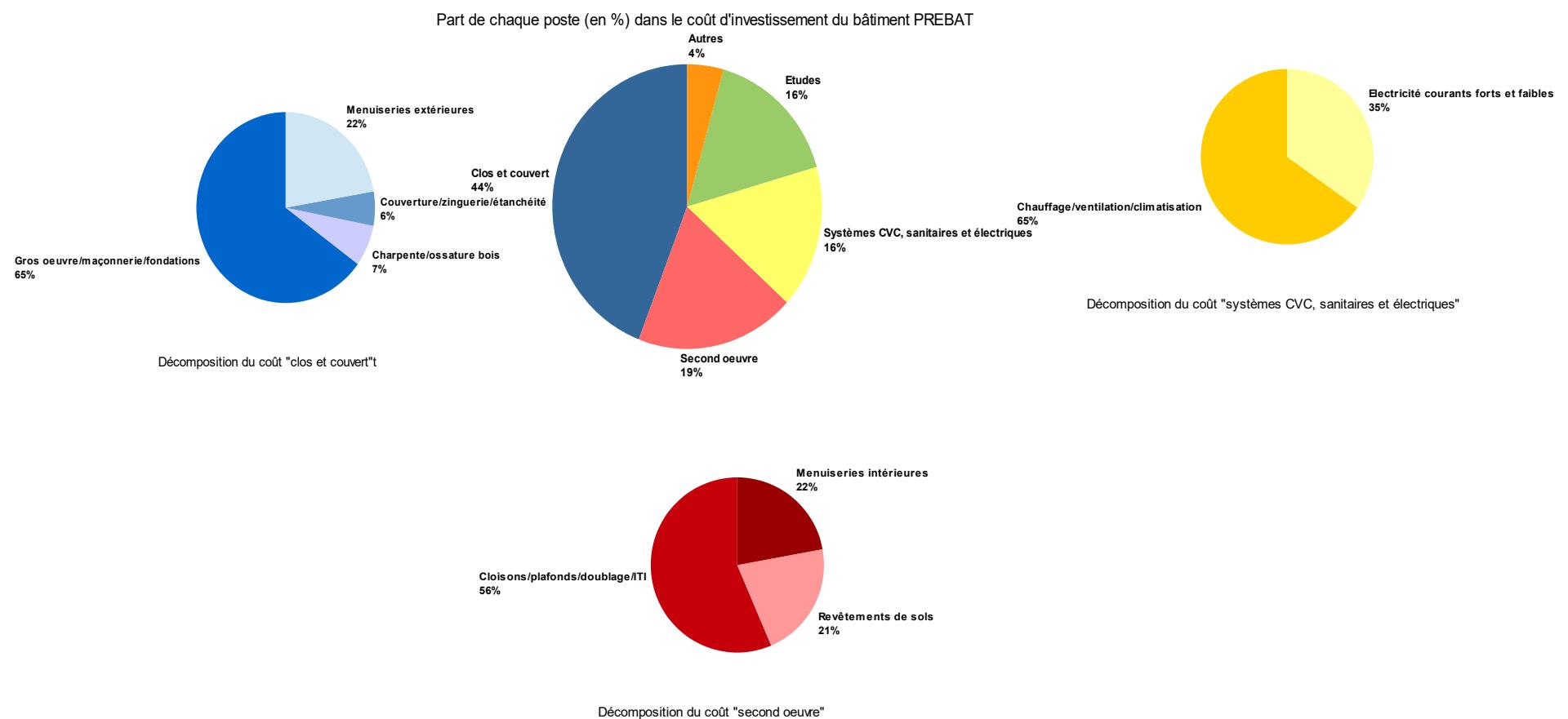
$$Cep \text{ réf recalculée} = \frac{Cep \text{ projet mesurée climat RT} \times Cep \text{ réf}}{Cep \text{ projet}}$$

Le prix du kWh avec l'abonnement est basé sur les données Eurostat pour le gaz et l'électricité qui donnent des coûts moyens TTC ou HT au kWh en fonction de la puissance souscrite avec une indication par intervalles de puissance.

4.3 - Résultats

4.3.1 - Décomposition du coût de l'opération





4.3.2 - Analyse

Identification du bâtiment

ID PREBAT 0

Nom du bâtiment École de Saint-Viance (19)

Fonctions de l'établissement Etablissement scolaire

SHON 313 m²
SUN 0 m²

Date d'investissement

Période de calcul 50 années

Taux d'actualisation 4,0% (perspective financière)
0,0% (perspective macro)

Taux de TVA 19.6%

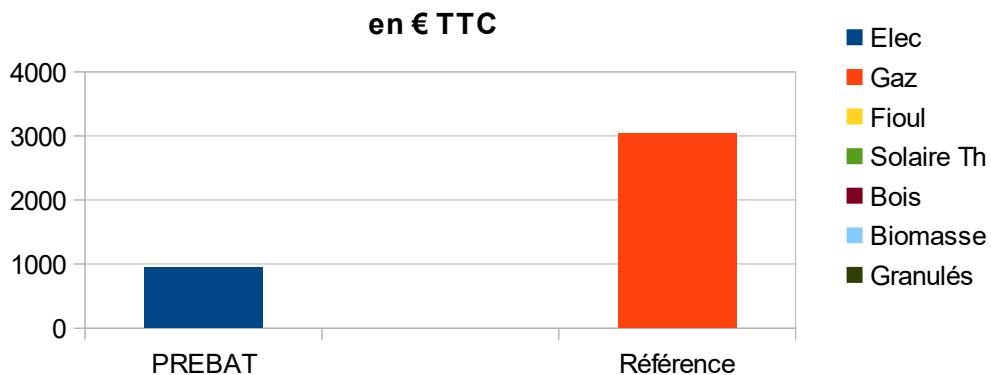
Perspective financière : Avec TVA

Perspective macro : Sans TVA

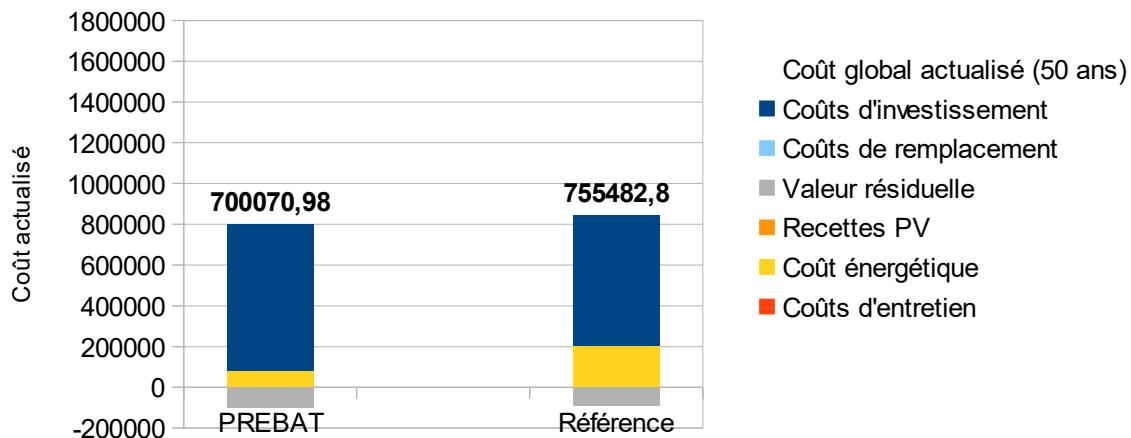
Calcul en coût global actualisé

| en coût global actualisé | | Perspective financière | | Perspective macro | |
|---|-----|------------------------|-----------|-------------------|-------------|
| | | PREBAT | Référence | PREBAT | Référence |
| <i>Coûts d'investissement</i> | | 717 600 € | 638 245 € | 600 000 € | 533 650 € |
| <i>Coûts de remplacement</i> | | 0 € | 0 € | 0 € | 0 € |
| <i>Valeur résiduelle</i> | | -100 975 € | -89 809 € | -600 000 € | -533 650 € |
| <i>Recettes PV</i> | | 0 € | | 0 € | 0 € |
| <i>Coût énergétique</i> | | 83 446 € | 207 047 € | 211 948 € | 596 829 € |
| <i>Coûts d'entretien</i> | | 0 € | 0 € | 0 € | 0 € |
| <i>Coût équivalent CO2 (PV déduit)</i> | | | | 6 329 € | 96 145 € |
| <i>Coût global actualisé (50 ans)</i> | | 700 071 € | 755 483 € | 218 277 € | 692 974 € |
| <i>Ratio de coût global actualisé / m²</i> | SUN | | | | |
| <i>Coût global actualisé sans valeur résiduelle</i> | | 801 046 € | 845 292 € | 818 277 € | 1 226 624 € |
| <i>Ratio de coût global actualisé / m²</i> | SUN | | | | |
| <i>Émissions en tonnes de CO2</i> | | | | 40,377 | 613,364 |

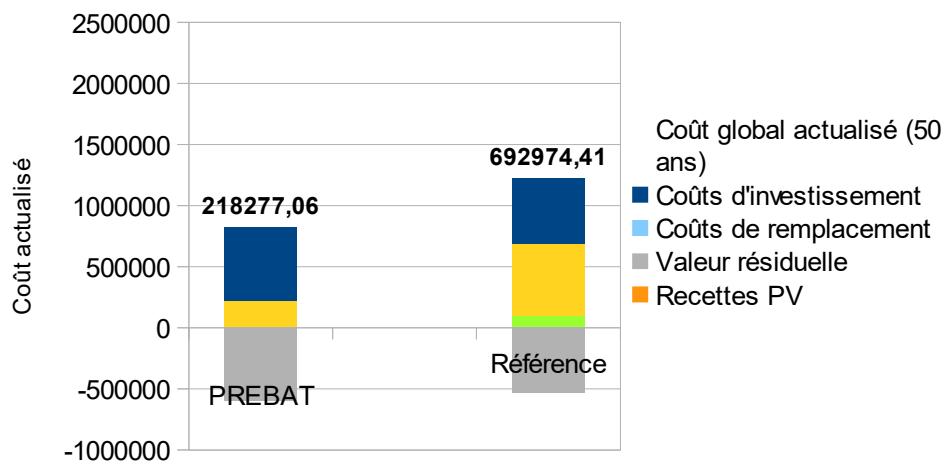
Part de chaque énergie dans la consommation annuelle



Coût global actualisé (perspective financière)

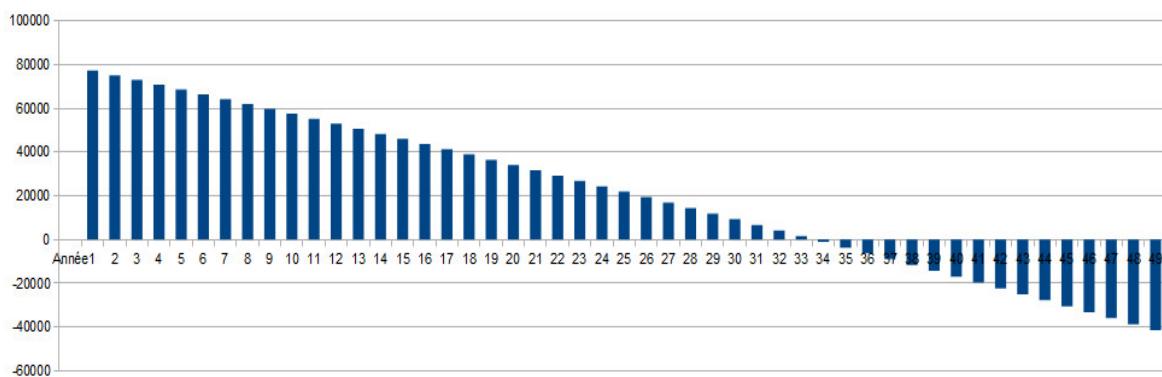


Coût global actualisé (perspective macro)

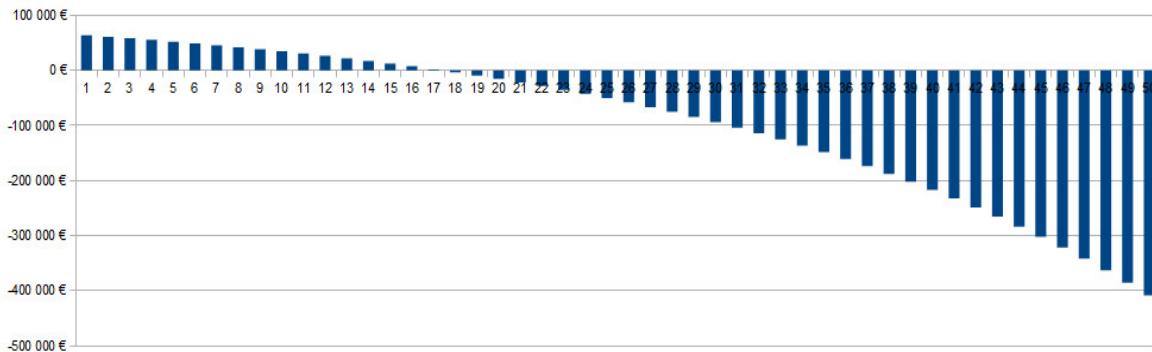


| | Perspective financière (TTC) | Perspective macro (HT) |
|---|------------------------------|------------------------|
| <i>Temps de retour actualisé en années sans valeur résiduelle (PREBAT vs Référence)</i> | 34 | 18 |

Evolution du surcoût entre le bâtiment PREBAT et le bâtiment référence sans la valeur résiduelle (perspective financière)



Evolution du surcoût entre le bâtiment PREBAT et le bâtiment référence sans la valeur résiduelle (perspective macro)



Classiquement, on observe que les surcoûts en termes d'investissements se situent essentiellement au niveau du second-œuvre (isolation) et des lots techniques (chauffage et électricité).

Si l'on compare les consommations énergétiques observées à la situation initiale (projet de référence) on constate que d'importantes économies d'énergie sont réalisées sur la durée de vie du bâtiment. Au-delà de l'intérêt financier au sens strict qui, bien que correct, apparaît moyen puisque que la période de retour sur investissement est évaluée à 34 ans, le calcul en coût global étendu comprenant l'externalité liée aux émissions de CO₂ montre que cette opération présente un réel intérêt éco-énergétique, le temps de retour sur investissement hors valeur résiduelle étant estimé à 18 ans.

5 - Bilan général et conclusion

Le suivi de l'opération de réhabilitation thermique de l'école de Saint-Viance présente un grand intérêt dans la mesure où il s'agit de la rénovation thermique d'une école de type « Jules Ferry » avec des caractéristiques architecturales à préserver, tout en présentant un potentiel de reproductibilité fort.

Les solutions mises en œuvre sur le chantier se sont très peu écartées de ce qui était prévu dans le dossier de réponse à l'appel à projets ADEME Limousin « Rénovation Énergétique de Bâtiments tertiaires ». Les principales modifications concernent de légères variations de performances de matériaux ou équipements mis en œuvre, allant la plupart du temps vers une meilleure performance. La mise en œuvre sur le chantier a révélé quelques difficultés pour ce type de projet (mise en œuvre des isolants dans les points singuliers, traitement de l'étanchéité à l'air sur un bâtiment ancien, trémie d'ascenseur fortement déperditive, portes anti pince-doigt pas du tout étanches à l'air). Ceci étant, on peut souligner la forte implication et la motivation des acteurs de terrain qui, pour la plupart intervenaient pour la première fois sur un projet de rénovation « basse consommation ».

Les deux années de suivi (2013-2015) ont permis, malgré le dysfonctionnement de certains dispositifs de comptage, d'avoir une vision assez précise du comportement thermique du bâtiment. L'analyse des données confirme la réussite du projet et vient valider la qualité de l'enveloppe ($Ubât_{mesuré}$ conforme à celui de l'étude thermique) malgré une étanchéité à l'air médiocre.

En termes de confort, l'immeuble permet d'assurer des conditions d'occupation confortables en période hivernale mais laisse apparaître des problèmes de surchauffe lors des fortes chaleurs (la seconde année de suivi a permis d'observer le bâtiment en période de canicule). Les résultats de calcul des Tic expérimentales (entre 33,9°C et 35,5°C) sont alors nettement supérieurs à la Tic de l'étude thermique (Tic projet égale à 32,03°C). Des problèmes de surchauffe sont possibles en juin voire début septembre. Aussi apparaît-il nécessaire de former le personnel à une bonne gestion des protections solaires afin d'optimiser le confort des occupants. Par ailleurs, il conviendrait d'étudier la possibilité de mettre en place un dispositif de surventilation nocturne.

Les consommations énergétiques annuelles des postes réglementaires sont quasiment identiques sur les deux années de suivi. Celles-ci sont nettement inférieures à ce que prévoyait le calcul réglementaire. Au global, le bâtiment consomme environ 35 % d'énergie primaire en moins que ce qui était prévu. Les deux principaux postes de consommation sont le chauffage et l'éclairage.

Pour le chauffage, Les consommations de chauffage enregistrées sont très inférieures aux consommations théoriques (-40 % en moyenne). Ce bon résultat est issu directement de conditions météorologiques favorables et d'une température de consigne inférieure à la valeur retenue par la réglementation. Les installations de chauffage présentent des performances conformes aux attentes. Le recours à des modes réduits (week-end et vacances) semble bien utilisé. Une mise hors gel lors des vacances de fin d'année est détectée mais il n'en va pas de même lors des congés d'automne et de février. La mise hors gel durant ces périodes permettrait de réduire encore les consommations de chauffage. Il faudra toutefois veiller à assurer un confort optimal des occupants dès la reprise des cours, après une longue période de fonctionnement en mode de chauffage réduit.

Les consommations d'éclairage sont globalement faibles. Les corrections liées au climat montrent que les consommations d'éclairage auraient d'être plus importantes que celles prévues par le calcul. Ce bon résultat est directement lié à la faible occupation des locaux en comparaison du scénario conventionnel de la méthode de calcul (recours à l'éclairage artificiel possible 10 heures par jour et 5 jours par semaine hors périodes de vacances scolaires). Le delta résiduel entre les corrections apportées et les consommations d'éclairage réelles s'explique par l'utilisation très faible de la classe n°4 et par les temps d'activité scolaire réalisés à l'extérieur du bâtiment.

Bien que les problèmes d'instrumentation ne permettent pas d'avoir une vision précise du fonctionnement des auxiliaires de chauffage et de ventilation, deux situations très différentes sont observées. Les consommations des auxiliaires de chauffage sont nettement supérieures au calcul réglementaire (+50 % environ) alors que la consommation annuelle des auxiliaires de ventilation reste inférieure de moitié au calcul conventionnel. Il conviendrait de vérifier si des consommations subsistent hors période de chauffe afin d'identifier d'éventuelles

consommations inutiles. En l'absence de données précises (au pas de temps horaire), les faibles consommations des auxiliaires de ventilation posent indubitablement la question du bon fonctionnement de la ventilation. Des mesures de qualité de l'air intérieur visant à vérifier le bon fonctionnement des dispositifs de ventilation sont à envisager.

En conclusion, le niveau de performance enregistré au cours des deux années de suivi est supérieur au seuil fixé pour l'obtention du label Bâtiment Basse Consommation. Plusieurs investigations complémentaires ou interventions peuvent toutefois être engagées afin d'optimiser la performance énergétique du bâtiment. Des mesures de qualité de l'air intérieur semblent également nécessaires afin de vérifier le bon fonctionnement de la ventilation. Par ailleurs la mise en place d'un dispositif de surventilation nocturne – sous réserve d'une étude de faisabilité - contribuerait à améliorer le confort des occupants lors des fortes chaleurs.

Enfin, si l'on se réfère aux consommations observées lors de ces deux premières années de suivi, et sous réserve des hypothèses retenues pour l'approche économique, les investissements réalisés sur cette opération présentent un intérêt éco-énergétique manifeste puisque le temps de retour sur investissement hors valeur résiduelle est estimé à 18 ans.

6 - Signatures

Rédigé, le 31/10/2017

Le chargé d'études

Laurent SELVE

Vu et vérifié, le 30/11/2017

La Responsable de l'unité
Eco-construction et Acoustique

Vu et approuvé, le

Le Responsable du Groupe
Construction Mobilité

Pilar LESAGE

Alexandre CUER

Annexes

Annexe A - Cahier de suivi de l'opération

Annexe A

Opération de rénovation énergétique de l'Ecole de Saint Viance (Corrèze)

Cahier de suivi de l'opération

Octobre 2014



Avertissement

Le présent document, rédigé par Olivier BONNEAU, est le cahier de suivi et d'instrumentation de l'opération de rénovation thermique de l'école élémentaire de Saint-Viance (Corrèze), lauréat de l'appel à projets « Rénovation de Bâtiments Tertiaires en Limousin lancé conjointement par l'ADEME Limousin, la DREAL Limousin et la Région Limousin en 2010. Ce cahier de suivi reprend les phases suivantes : analyse de l'étude thermique et du dossier de consultation des entreprises, mise en place de l'instrumentation.

Sommaire

| | |
|---|----|
| 1 -Fiche d'identité de l'opération | 3 |
| 2 -Phase 1 : évaluation de la conception et initialisation du suivi | 4 |
| 2.1 - Pièces graphiques | 4 |
| 2.1.1 - Implantation | 4 |
| 2.1.2 - Façades | 5 |
| 2.1.3 - Nature des parois | 5 |
| 2.2 - Caractéristiques thermiques du projet (extrait des études thermiques réglementaires et des contre-expertises) | 7 |
| 2.2.1 - Enveloppe | 7 |
| 2.2.2 - Ventilation | 9 |
| 2.2.3 - Chauffage – refroidissement | 10 |
| 2.2.4 - Eau chaude sanitaire (ECS) | 11 |
| 2.2.5 - Éclairage | 11 |
| 3 - Analyse du Dossier de Consultation des Entreprises | 12 |
| 3.1 - Enveloppe | 12 |
| 3.2 - Perméabilité à l'air du bâtiment | 17 |
| 3.3 - Ventilation | 17 |
| 3.4 - Chauffage – Refroidissement | 20 |
| 3.5 - Eau chaude sanitaire (ECS) | 23 |
| 3.6 - Éclairage | 23 |
| 3.6.1 - Descriptif de l'éclairage | 24 |
| 3.6.2 - Caractéristiques des luminaires | 24 |
| 3.6.3 - Prescriptions de gestion de l'éclairage | 25 |
| 4 - Phase 2 : suivi de chantier, évaluation de la mise en œuvre | 27 |
| 4.1 - Enveloppe | 27 |
| 4.2 - Perméabilité à l'air du bâtiment | 36 |
| 4.3 - Ventilation | 38 |
| 4.4 - Chauffage – refroidissement | 41 |
| 4.5 - Eau chaude sanitaire (ECS) | 42 |
| 4.6 - Éclairage | 42 |
| 5 - Phase 3 : suivi de l'exploitation du bâtiment | 44 |
| 5.1 - Protocole de suivi | 44 |
| 5.2 - Analyse du fonctionnement thermique du bâtiment | 44 |
| 5.2.1 - Instrumentation du poste chauffage | 45 |
| 5.2.2 - Instrumentation du poste ventilation | 46 |
| 5.2.3 - Instrumentation du poste éclairage | 46 |
| 5.2.4 - Ambiances extérieures et Intérieures | 47 |
| 5.3 - Caractéristiques techniques des éléments de l'instrumentation | 48 |
| 5.3.1 - Compteurs de calories | 48 |
| 5.3.2 - Compteurs électriques | 48 |
| 5.3.3 - Capteurs de température et d'hygrométrie relative | 48 |
| 5.3.4 - Station météorologique | 49 |
| 6 - Conclusion intermédiaire | 49 |
| Annexes | 50 |
| Annexe a - Photos de chantier | 51 |
| Annexe b - Plans d'instrumentation | 53 |

1 - Fiche d'identité de l'opération

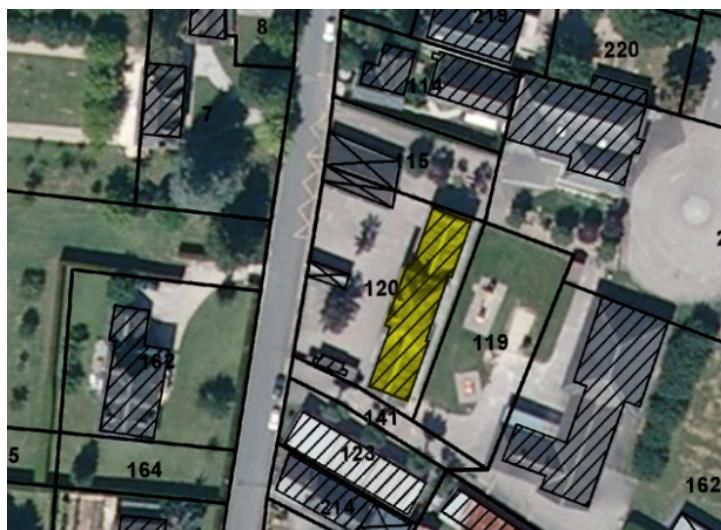
| Bâtiment | École Primaire de Saint-Viance | | | | | | | | | | | | |
|---|--|------------|------------------------------|---------------|-----------------------------|---------|----------------------------|---------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|------------------------------|
| Adresse | Le Bourg 19240 Saint-Viance | | | | | | | | | | | | |
| Maître d'ouvrage | Mairie de Saint-Viance | | | | | | | | | | | | |
| Architecte | SCP Roullin Architectes 127 Av. Ribot, 19100 Brive | | | | | | | | | | | | |
| Bureau d'études thermiques | BET LAI 14 Quai Baluze, 19000 Tulle | | | | | | | | | | | | |
| Description du projet | <p>Restructuration du bâtiment « Ancienne école » :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Requalification totale des planchers (réponse aux contraintes du Plan de Prévention des Risques Inondations de la Vézère) - Installation d'un ascenseur - Reprise totale de l'isolation du bâtiment (parois, doublages, plafonds, combles), remplacement de menuiseries extérieures - Changement de l'installation de chauffage : mise en place d'une pompe à chaleur gaz à absorption, - Mise à niveau sécurité des personnes, remise en état des façades | | | | | | | | | | | | |
| Surface Hors Œuvre Nette | 319,34 m ² | | | | | | | | | | | | |
| Budget de l'opération (en € TTC) | <p>Travaux : 503 055 € Honoraires maîtrise d'œuvre : 53 323,83 € Bureau de Contrôle : 10 000 € Coordonnateur SPS : 4 500 € Assistance à maîtrise d'ouvrage : 3 900 € Études de sol : 6 000 € Frais divers et imprévus : 19 221 € Prix au m² : 1 608 €</p> | | | | | | | | | | | | |
| Planning | <p>Études : 2011-mai 2012 Travaux : mai 2012 – septembre 2013</p> | | | | | | | | | | | | |
| Performance Affichée Détails | <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Cep dont :</td><td>79,80 kWh/m²/an</td></tr> <tr> <td>Cep chauffage</td><td>33,5 kWh/m²/an</td></tr> <tr> <td>Cep ECS</td><td>0,0 kWh/m²/an</td></tr> <tr> <td>Cep éclairage</td><td>28,48 kWh/m²/an</td></tr> <tr> <td>Cep auxiliaires</td><td>4,07 kWh/m²/an</td></tr> <tr> <td>Cep Ventilation</td><td>13,75 kWh/m²/an</td></tr> </tbody> </table> | Cep dont : | 79,80 kWh/m ² /an | Cep chauffage | 33,5 kWh/m ² /an | Cep ECS | 0,0 kWh/m ² /an | Cep éclairage | 28,48 kWh/m ² /an | Cep auxiliaires | 4,07 kWh/m ² /an | Cep Ventilation | 13,75 kWh/m ² /an |
| Cep dont : | 79,80 kWh/m ² /an | | | | | | | | | | | | |
| Cep chauffage | 33,5 kWh/m ² /an | | | | | | | | | | | | |
| Cep ECS | 0,0 kWh/m ² /an | | | | | | | | | | | | |
| Cep éclairage | 28,48 kWh/m ² /an | | | | | | | | | | | | |
| Cep auxiliaires | 4,07 kWh/m ² /an | | | | | | | | | | | | |
| Cep Ventilation | 13,75 kWh/m ² /an | | | | | | | | | | | | |

2 - Phase 1 : évaluation de la conception et initialisation du suivi

2.1 - Pièces graphiques

2.1.1 - Implantation

L'école de Saint-Viance est implantée selon une orientation est-ouest. Il s'agit d'une école de type « Jules Ferry », composée d'un bâtiment central sur deux niveaux et combles aménagés et de deux corps de bâtiment latéraux composés chacun d'une salle de classe. Les murs sont en pierres maçonées (grès) avec un caractère patrimonial à préserver. La stratégie de rénovation a donc privilégié une isolation par l'intérieur. Les systèmes de chauffage installés sont constitués d'une pompe à chaleur eau/eau sur sondes géothermiques verticales, couplée à des planchers chauffants. Le local sous combles, utilisé occasionnellement, est chauffé par des panneaux électriques rayonnants. La ventilation mécanique est de type simple flux.



Implantation sur la parcelle

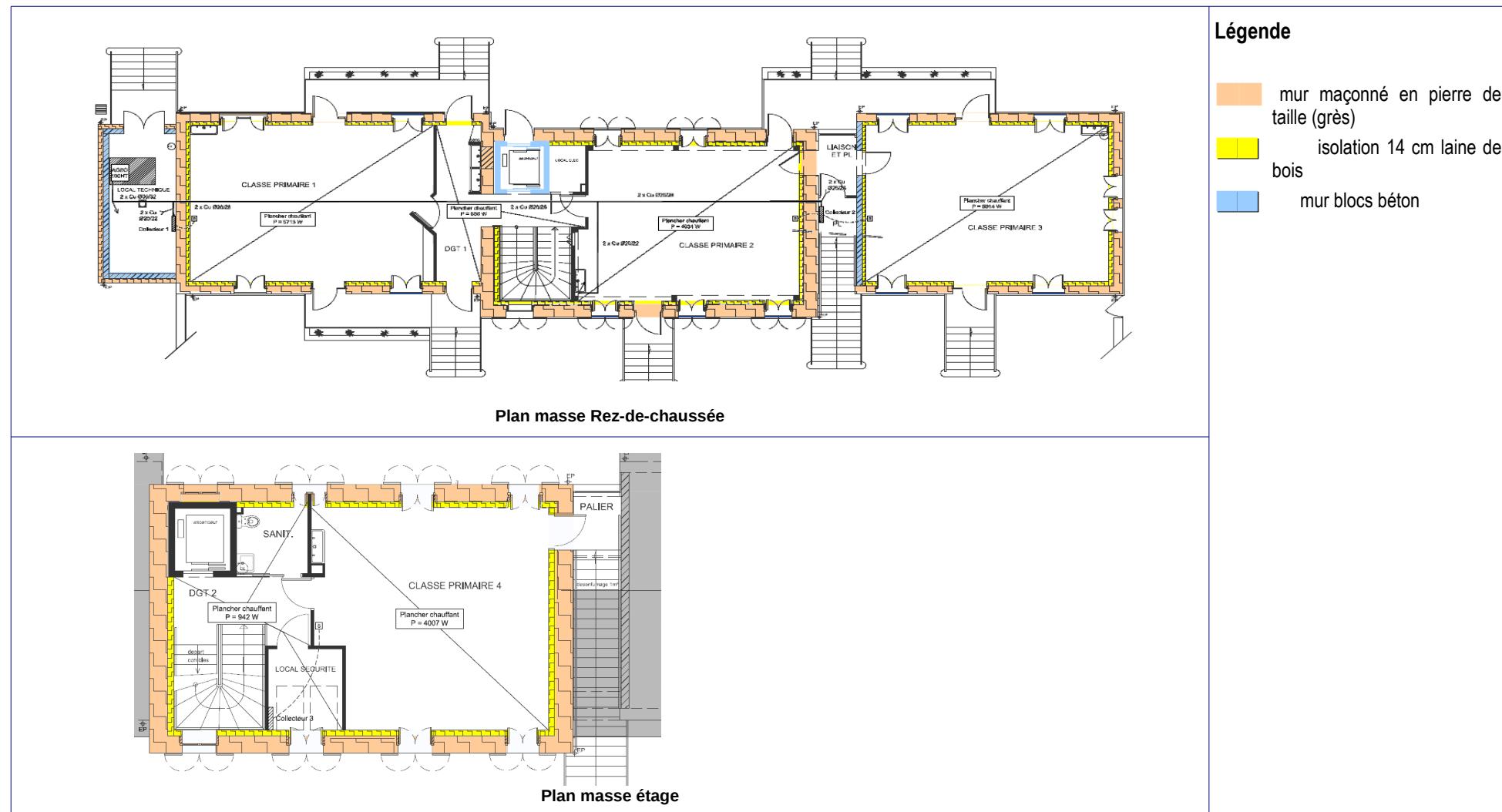
2.1.2 - Façades



Représentation schématique de la façade ouest

2.1.3 - Nature des parois

L'enveloppe est constituée de murs maçonnés anciens en pierre de taille (grès), isolés par l'intérieur avec 14 cm de fibre de bois. La toiture est isolée avec de la laine de verre soufflée, à l'exception des rampants réalisés en laine de bois. Les planchers béton nouvellement réalisés sont isolés par 6 cm de mousse de polyuréthane. Les menuiseries sont à double vitrage à isolation renforcée avec des châssis en aluminium.



2.2 - Caractéristiques thermiques du projet (extrait des études thermiques réglementaires et des contre-expertises)

2.2.1 - Enveloppe

L'enveloppe est constituée de murs en pierre de 52 cm d'épaisseur, isolés par l'intérieur par 14 cm de laine de bois montée sur ossature métallique. Les plafonds des bâtiments latéraux sont isolés avec de la laine de verre soufflée dans les combles. La toiture du bâtiment central est isolée par 30 cm de laine de bois installée en rampants. Les fenêtres sont des menuiseries aluminium à isolation renforcée, équipées de double vitrage à lame d'argon. Le plancher est isolé par de la mousse de polyuréthane servant à supporter les circuits du plancher chauffant.

| Désignation | Repérage paroi | Constituants (intérieur → extérieur) | Épaisseur (cm) | Coefficient U (W/m ² .°C) |
|----------------|----------------------------------|---|---|--------------------------------------|
| Parois opaques | Mur extérieur 1 | Mur en pierre isolé par l'intérieur avec 140 mm de fibre de bois HOMATHERM de type HOLZFLEX PROTECT – $R_{isolant} : 3,65 \text{ m}^2.\text{K/W}$ | 14 | 0,27 |
| | Toiture 1 (plafonds droits) | Laine de verre soufflée de marque ISOVER de type COMBLISSIMO d'épaisseur 345 mm – $R_{isolant} : 7,50 \text{ m}^2.\text{K/W}$ | 34,5 | 0,13 |
| | Toiture 2 (plafonds rampants) | Laine de bois de marque HOMATHERM de type HDP Q11 PROTECT d'épaisseur total 300 mm – $R_{isolant} : 7,00 \text{ m}^2.\text{K/W}$ | 30 | 0,14 |
| | Plancher sur vide sanitaire | Plancher béton chauffant isolé par 60 mm de mousse polyuréthane de marque VELTA type PRIMO – $R_{isolant} : 2,60 \text{ m}^2.\text{K/W}$ - | 6 | 0,38 |
| Parois vitrées | Ensemble des menuiseries | Menuiserie aluminium double vitrage 4/16/4 à isolation renforcée et remplissage argon + volet bois extérieur • "U total=1,8 W/m ² .K | Verre extérieur 4mm Lame d'air 85 %argon : 16mm Verre intérieur : 4mm U vitrage = 1,00 W/m².K Facteur solaire g EN410 = 0,44 | 0,56 |

| Désignation | Type | Désignation | Coefficient (W/m.K) |
|---|------------|---|---------------------|
| Ponts thermiques | Horizontal | PT2 – Plancher bas sur VS / aucune isolation | 0,670 |
| | | Am2.1 – Plancher bas sur VS / isolation intérieure | 0,370 |
| | | PT3 – Plancher intermédiaire / aucune isolation | 0,640 |
| | Fraction | Psi 1 – PT3 – Plancher intermédiaire / aucune isolation | 0,320 |
| | | Psi 2 – PT3 – Plancher intermédiaire / aucune isolation | 0,320 |
| | Horizontal | Am3.1 – Plancher intermédiaire /isolation intérieure | 0,600 |
| | Fraction | Psi 1 – Am3.1 – Plancher intermédiaire / Isolation intérieure | 0,300 |
| | | Psi 2 – Am3.1 – Plancher intermédiaire / isolation intérieure | 0,300 |
| | Horizontal | PT4 – Plafond sur INC / aucune isolation | 0,760 |
| | | Am4.1 – Plafond sur LNC / isolation intérieure | 0,350 |
| | | Am4.4 – Plafond sur LNC / isolation intérieure + plafond ext | 0,540 |
| | | Am4.6 – Plafond sur LNC / isolation intérieure + plafond int | 0,080 |
| | | Plancher chauffant sur VS | 0,060 |
| | Vertical | PT5 – Liaison entre 2 murs sortants non isolés | 0,200 |
| | | Am5.1 – Liaison entre 2 murs sortants isolés par »intérieur | 0,030 |
| | | PT7 – Liaison mur-refend 1 aucune isolation | 0,590 |
| | Fraction | Psi 1 – PT7 – Liaison mur-refend / aucune isolation | 0,295 |
| | | Psi 2 – PT7 – Liaison mur-refend / aucune isolation | 0,295 |
| | Vertical | Am7.1 – Liaison mur-refend / isolation intérieure | 0,510 |
| | Fraction | Psi 1 – Am7.1 – Liaison mur-refend / isolation intérieure | 0,255 |
| | | Psi 2 – Am7.1 – Liaison mur-refend / isolation intérieure | 0,255 |
| | Vertical | MUR / REFEND SUR DECROCHE | 0,870 |
| | Fraction | Psi 1 – MUR / REFEND SUR DECROCHE | 0,479 |
| | | Psi 2 – MUR / REFEND SUR DECROCHE | 0,392 |
| | Vertical | Am6,2 – Liaison entre 2 murs rentrants isolés par l'extérieur | 0,050 |
| Performance globale $U_{bât}$ | | 0,37 W/m².°C | |

2.2.2 - Ventilation

Type de ventilation

La ventilation est assurée par un groupe d'extraction simple flux ; Les entrées d'air sont autoréglables. Le débit de ventilation est modulé en fonction de l'occupation des locaux. La détection de l'occupation s'effectue par des détecteurs de CO₂ installé dans les salles de classe.

| Type de ventilation | Ventilation simple flux présence | Ventilation simple flux CO ₂ | Simple flux autoréglable ALDES |
|-----------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| Mode de gestion de la ventilation | CTA simple flux, gestion par détecteur de présence | CTA simple flux gestion par détecteur de CO ₂ | Mécanique simple flux sans régulation |
| Perméabilité sous 4 pascals | Non précisée | Non précisée | Non précisée |

Caractéristiques techniques

| | | | |
|-------------------------|---|---|--|
| Débits | Débit hygiénique égal au débit réel Local et bureau directrice : 5 m ³ /h en inoccupation 25 m ³ /h en occupation Salle de réunion : 5 m ³ /h en inoccupation 1000 m ³ /h en occupation | Débit hygiénique égal au débit réel Classe 1 : 38 m ³ /h en inoccupation 375 m ³ /h en occupation Classe 2 : 23 m ³ /h en inoccupation 225 m ³ /h en occupation Classe 3 : 38 m ³ /h en inoccupation 375 m ³ /h en occupation | Débit hygiénique égal au débit réel Local café : 30 m ³ /h en inoccupation et en occupation Sanitaire personnel : 30 m ³ /h |
| Prises d'air neuf | Entrées d'air autoréglables certifiées | Entrées d'air autoréglables certifiées | Entrées d'air autoréglables certifiées |
| Sorties d'air | Bouches autoréglables certifiées | Bouches autoréglables certifiées | Bouches autoréglables certifiées |
| Puissance ventilateur | 340,0 W (Puissance ventil. en inocc. 150,0 W) | | |
| Consommation électrique | 13,18 kWh/EP/m ² /an | | |

2.2.3 - Chauffage – refroidissement

Le chauffage est assuré par une pompe à chaleur eau/eau, dont la source froide est constituée de sondes géothermiques verticales.

Descriptif du chauffage

| Type de production | Système thermodynamique : pompe à chaleur géothermale eau-eau |
|--|---|
| Mixte ECS | Non |
| Local de production | Local chaufferie (ouest) |
| Puissance d'installation | 31 kW |
| Rendement de l'installation | COP nom. chauff. : 5,600 |
| Régulation en chaud | Programmation 40-100, loi d'eau en chaud |
| Réseau de distribution (implantation, isolation, distribution) | Eau plancher, plancher chauffant |
| Type d'émetteurs | Plancher rayonnant |
| Régulation des émetteurs | Arrêt total émission possible |
| Mode de gestion | Gestion température départ en fonction de la température intérieure |
| Mode de chauffage auxiliaire | Néant |
| Situation du réseau | Réseau totalement en volume chauffé |
| Isolation intérieure | Sous fourreau |
| Description réseau intérieur | Longueur estimée |
| Description circulateur | Puissance estimée |
| Consommation moyenne annuelle du chauffage | 33,5 kWh Ep m ² /an |

Refroidissement

Le bâtiment n'est pas refroidi. L'usage scolaire du bâtiment fait que celui-ci n'est pas occupé aux mois de juillet et août.

2.2.4 - Eau chaude sanitaire (ECS)

La production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) est indépendante du chauffage. Trois ballons d'eau chaude électriques sont installés dans les salles de classe. Du fait de la marginalité de leur utilisation, ces ballons n'ont pas été comptabilisés dans l'étude thermique.

| Type de production ECS | Ballons électriques décentralisés, non comptabilisés dans l'étude thermique Modèle PACIFIC Arpège |
|--|--|
| Puissance maximale fournie | Puissance utile W : 2000 W |
| Réseau de distribution (Implantation et isolation) | En volume chauffé |
| Ballon d'eau chaude | |
| Volume | 15 litres |
| Position | À proximité des points de puisage |
| Température de consigne | 65°C |
| Consommation ECS | 0 kWh Ep m²/an |

2.2.5 - Éclairage

Du fait de l'usage du bâtiment, les consommations d'éclairage artificiel sont conséquentes et représentent le deuxième poste de consommation après le chauffage. L'utilisation de l'éclairage naturel est privilégié par le percement de nouvelles ouvertures et par l'emploi de portes vitrées. Il s'agit toutefois d'un bâtiment existant aux ouvertures limitées par les contraintes structurelles. La gestion de l'éclairage artificiel est donc un enjeu important.

Les données saisies dans l'étude thermique en termes de puissance sont forfaitaires (9 W/m²). La gestion se fait par détection de mouvement et temporisation dans les circulations.

| Utilisation de l'éclairage naturel | |
|------------------------------------|---|
| Gestion de l'éclairage artificiel | Détecteurs de mouvement + temporisation dans les circulations |
| Puissance | 9 W/m ² |
| Consommation électrique | 28,4 kWh/an |

3 - Analyse du Dossier de Consultation des Entreprises

Le contenu technique du dossier de consultation des entreprises (DCE) est comparé aux hypothèses saisies dans l'étude thermique réglementaire. La dernière colonne du tableau commente les divergences observées. Un code couleur allant du vert au rouge permet d'évaluer le caractère plus ou moins préjudiciable des modifications apportées au DCE par rapport à l'étude thermique.

| | | |
|--|--|--|
| | | |
|--|--|--|

Modification sans incidence...

... modification pénalisante

3.1 - Enveloppe

| Hypothèses de l'étude thermique - Éléments techniques | Formulation du DCE | Divergences constatées/ commentaires |
|--|--|---|
| Parois opaques | | |
| Mur extérieur 1 Mur en pierre isolé par l'intérieur avec 140 mm de fibre de bois HOMATHERM de type HOLZFLEX PROTECT – $R_{\text{isolant}} : 3,65 \text{ m}^2.\text{K/W}$ | 6.01 – DOUBLAGES THERMO ACOUSTIQUES Le doublage des murs sera réalisé par une ossature métallique galvanisée de 0.6 mm à fourrure type F 47 montant simple fixé entraxe 0.60 m sur rails haut et bas et suspente U intermédiaire tous les 125 cm. maxi. Les fourrures seront positionnées à 140 mm mini du mur de manière à ne pas comprimer l'isolation. La finition sera assurée par une plaque de gypse renforcé par fibres de cellulose type FERMACELL BA des Ets XELLA, classement M0 avec PV du CSTB, vissée sur l'ossature, l'isolation sera réalisée par des panneaux de laine bois type HOLZFLEX Standard des Ets HOMATHERM ou similaire, épaisseur 140 mm, $R = 3,68 \text{ m}^2\text{K/W}$ Les travaux comprendront la mise en œuvre d'une membrane pare vapeur avec avis technique type VARIO DUPLEX des Ets ISOVER posée sur l'isolation avant l'ossature avec jointoientement des lés par adhésif VARIO K . LOCALISATION : l'ensemble du projet selon plans architecte. | Pas de divergence entre l'étude thermique et le DCE |

| Hypothèses de l'étude thermique - Éléments techniques | Formulation du DCE | Divergences constatées/ commentaires |
|---|--|---|
| Tableaux et linteaux | <p>6.2 – DOUBLAGES TABLEAUX/LINTEAUX Le doublage des tableaux sera réalisé par une ossature métal galvanisée de type cornière CR2 fixée sur un montant du doublage et sur la menuiserie alu. La finition sera assurée par une plaque de gypse renforcée par fibre de cellulose type FERMACELL BA des Ets XELLA ou similaire, classement M0 avec PVC du CSTB vissée sur l'ossature. L'isolation sera en parfaite continuité avec celle des doublages et sera en panneau de laine de bois type HOLZFLEX protect des Ets HOMATHERM ou similaire, épaisseur 30 mm, R = 0,789 m²K/W Les travaux comprendront la mise en œuvre en continuité des doublages d'une membrane pose vapeur avec avis technique type VARIO DUPLEX des Ets ISOVER dito 6.01 jusqu'au droit de la menuiserie aluminium.</p> | Les tableaux et linteau sont saisis en tant que pont thermiques structurels dans l'étude thermique. Valeurs des linéaires : 0,04 W/m.K pour les tableaux, appuis et linteaux. |
| <p>Toiture 1 (plafonds droits) Laine de verre soufflée de marque ISOVER de type COMBLISSIMO d'épaisseur 345 mm – R_{isolant} 7,50 m².K/W</p> | <p>6.03 – PLAFOND DROIT Réalisation de plafond droit sous travée bois existante comprenant une ossature métallique par fourrures type F 47 clipsées sur suspente en composite armé, permettant de fixer une membrane pare vapeur sans rupture d'étanchéité, type INTEGRA 2 des Ets ISOVER ou similaire. La finition sera assurée par une plaque BA 13 standard.</p> <p>6.04 – ISOLATION DU COMBLE Réalisation de l'isolation du comble par soufflage de ouate de cellulose type UNIVERCELL des Ets SOPREMA ou similaire, disposant d'un avis technique du CSTB et d'un certificat ACERMI, masse volumique mini 30 kg/m³, classement au feu M1, conductivité thermique = 0,04, épaisseur mise en œuvre 300 mm R = 7,5 m².K/W compris passage sous travée bois très soigné, mise en place de repères dimensionnels, mise en place de coffrage de rive bois en périphérie si nécessaire, accessibilité par passage en toiture réalisée par le couvreur (DIM. 60 X 80), contrôle par caméra thermique de la bonne exécution des travaux avec rapport papier en 3 exemplaires, fiches de contrôle et étiquettes des sacs utilisés.</p> | Pas de divergence entre l'étude thermique et le DCE |
| <p>Toiture 2 (plafonds rampants) Laine de bois de marque HOMATHERM de type HDP Q11 PROTECT d'épaisseur total 300 mm – R_{isolant}= 7,00 m².K/W</p> | <p>5.07 – ISOLATION Fourniture et mise en œuvre d'une couche d'isolation entre les solives bois par 100 mm de laine de verre IBR nu des Ets ISOVER ou similaire (R_u = 2,5 m²°K/W). L'isolation sera maintenue en place à l'aide d'un grillage galvanisé tendu sous les solives type PLASTINET GALVA des Ets ISOVER.</p> <p>LOCALISATION : Étage</p> <p>6.05 – PLAFOND RAMPANT Réalisation de plafond rampant sous travée bois existante comprenant une ossature métallique par fourrures type F 47 clipsées sur suspente en composite armé, permettant de fixer une membrane pare vapeur sans rupture d'étanchéité, type INTEGRA 2 des Ets ISOVER ou similaire. La finition sera assurée par une plaque BA 13 standard vissée sur l'ossature. Les travaux comprendront la mise en</p> | Performance de l'isolant seul plus élevée dans le DCE : Dans le DCE, R = 7,90 m ² °K/W Dans l'étude thermique, R isolant = 7,00 m ² .K/W L'étanchéité à l'air est assurée par une membrane pare-vapeur. L'isolation est réalisée en couches croisées afin de limiter les ponts thermiques aux jonctions des panneaux |

| Hypothèses de l'étude thermique - Éléments techniques | Formulation du DCE | Divergences constatées/ commentaires |
|--|--|---|
| | œuvre en continuité des doublages d'une membrane pare vapeur avec avis technique type VARIO DUPLEX des Ets ISOVER ou similaire dito 6.01, clipsée sur les suspentes avant mise en place des ossatures et des plaques de plâtre. L'isolation sera réalisée en 2 couches croisées, une première couche entre les pannes de 100 mm et une 2 ^e couche sous les pannes de 200 mm, réalisée en panneaux de fibres de bois type HOLZFLEX STANDARD des Ets HOMATHERM ou similaire, densité 40 Kg/m³, conductivité P = 0,038 (soit R = 7,90 m² °K/W pour les 300 mm total). L'isolation sera parfaitement jointive et en continuité totale avec celles des parois verticales. LOCALISATION : le bâtiment central dans les combles. | d'isolant. |
| Plafond sous escalier de secours | 6.06 – PLAFOND SOUS ESCALIER BETON Réalisation d'un plafond droit et rampant, sous la paillasse béton de l'escalier de secours, avec une seule couche de laine de bois de 200 mm type HOLZFLEX STANDARD des Ets HOMATHERM ou similaire, densité 40 kg/m³, conductivité thermique P 0,038 (soit R = 5,26 m²°K/W). LOCALISATION : plafond dans dégagement 2 et rangement 1 selon plan architecte. | Escalier hors volume chauffé : sans objet. |
| Plancher sur terre-plein Plancher béton chauffant isolé par 60 mm de mousse polyuréthane de marque VELTA type PRIMO $R_{isolant} = 2,60 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ | Isolation L'isolant aura les caractéristiques suivantes : dalle VELTA PRIMO — épaisseur : 60 mm ; — résistance thermique supérieure ou égale à 2,6 m ² °C/W | Pas de divergence entre l'étude thermique et le DCE |
| Plancher sur vide sanitaire $U = 0,285$ $R_{isolant} = 2,724 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ | dalle VELTA PRIMO — épaisseur : 60 mm ; — résistance thermique supérieure ou égale à 2,6 m ² °C/W | $R_{plancher \text{ sur } vide \text{ sanitaire}} = 0,1 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ $R_{isolant} = 2,6 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ $R_{total \text{ plancher}} = 2,7 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ |
| Portes extérieures | | |
| Portes extérieures en bois $U = 3,50 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$ $U J/N = 3,50 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$ | Le modèle sera du type RE gamme BOIS TRADITION des Ets MAB (modèle choisi par l'architecte des bâtiments de France). L'étanchéité des ouvrages à l'air et à l'eau devra être étudiée pour permettre une perméabilité mesurée maximum de 1,7 m ³ /H/m ² . Il sera utilisé un joint mousse polyuréthane auto-adhésif imprégné de résine synthétique stable, exempte de cire et bitume, permettant l'étanchéité à l'air, à l'eau, et au bruit avec une bonne perméabilité à la vapeur d'eau. Le joint sera du type ILLMOD. TRIO des Ets TREMCO ou similaire il sera appliqué sur toute la largeur de la menuiserie et sur l'ensemble de sa périphérie la pose est prévue en feuillures de tableaux de la maçonnerie existante. $U_w = 1,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ | La porte mentionnée dans le DCE est bien plus performante que celle saisie dans l'étude thermique. L'étanchéité des cadres des menuiseries est assurée par un joint adhésif en mousse de polyuréthane. |
| Parois vitrées | | |

| Hypothèses de l'étude thermique - Éléments techniques | Formulation du DCE | Divergences constatées/ commentaires |
|---|--|---|
| Fenêtre : AF4 : bois DV (velux) Fenêtre sans fermeture $U = 1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{J/N} = 1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ | <p>3.5 — FENETRE DE TOIT</p> <p>Fourniture et mise en œuvre de châssis de toiture bénéficiant d'une certification de fabrication du CSTB et d'une certification ACOTHERM AC2. Ils seront du type tout confort GHL des Ets VELUX ou similaire.</p> <p>Vitrage double de type 33/1 + 12 argon + 6 peu émissif, trempée, autonettoyant</p> <p>Affaiblissement acoustique RA = 35db (rose)</p> <p>Coefficient U = 1,5 W/m²K, coefficient Sw = 0,23.</p> | Le coefficient U du vitrage est légèrement plus performant dans le DCE que dans l'étude thermique |
| Menuiserie aluminium double vitrage 4/16/4 à isolation renforcée et remplissage argon + volet bois extérieur $- U_{total}=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ Caractéristiques menuiseries : - Verre extérieur 4 mm - Lame d'air 85 % argon 16 mm - Verre intérieur 4mm $- U_{vitrage} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ $- Facteur solaire gEN410 = 0,44$ | <p>TYPE 1 pour portes RdC et étage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - verre extérieur type SGG STADIP PROTECT SP 510 anti-effraction - lame d'air de 16 rempli d'argon à 90 % - verre intérieur type SGG STADIP protect 44/2 avec une couche PLANITHERM ONE - Ug : 1.0 W/m²K - facteur solaire g en 410 = 0.44, transmission lumineuse : 67% - épaisseur totale : 35 mm <p>TYPE 2 pour les fenêtres du RdC :</p> <ul style="list-style-type: none"> - verre extérieur type SGG STADIP PROTECT SP 510 anti effraction - lame d'air de 16 rempli d'argon à 90 % - verre intérieur type PLANILUX 4 mm avec une couche PLANITHERM ONE - Ug : 1.0 W/m²K - facteur solaire g en 410 = 0.44, transmission lumineuse : 68% - épaisseur totale : 30.3 mm <p>TYPE 3 pour les fenêtres étages :</p> <ul style="list-style-type: none"> - verre extérieur type SGG STADIP PROTECT 44/2 - lame d'air de 16 rempli d'argon à 90 % - verre intérieur type PLANILUX 4 mm avec une couche PLANITHERM ONE - Ug : 1.0 W/m²K - facteur solaire g en 410 = 0.46, transmission lumineuse : 69% - épaisseur totale : 28.8 mm | Les vitrages prescrits dans le DCE sont de performance similaire à ceux indiqués dans l'étude thermique. (Uw = 1,00 W.m ² .K) |

| Hypothèses de l'étude thermique - Éléments techniques | Formulation du DCE | Divergences constatées/ commentaires |
|---|--|---|
| Menuiserie aluminium double vitrage 4/16/4 à isolation renforcée et remplissage argon + volet bois extérieur - $U_{total}=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ Caractéristiques menuiseries : - Verre extérieur 4mm - Lame d'air 85 % argon 16 mm - Verre intérieur 4 mm - $U_{vitrage} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ - Facteur solaire gEN410 = 0,44 | <p>4.1 — PORTE 2 VANTAUXT Uw MAXI DES ENSEMBLES : 2,00 W/m²K avec vitrage TYPE 1</p> <p>4.2 — PORTE 1 VANTAIL Les portes seront du type SOLEAL des Ets TECHNAL ou CD 50 SD des Ets REYNAERS Uw maxi des ensembles = 2,00 W/m²K avec vitrage TYPE 1</p> <p>4.03 – CHASSIS A FRAPPE ET FIXE Uw maxi : 1,7 W/m²K avec vitrage TYPE 2 ou 3 LOCALISATION RDC VITRAGE TYPE 2</p> | Même type de menuiseries que précédemment : conforme aux saisies de l'étude thermique |
| | <p>4.04 – VERRIERE Fabrication et pose entre tableaux maçonnes selon détail architecte d'une verrière en ALU LAQUE BRUN FONCE à rupture de pont thermique (...). L'ensemble pourra être du type GODE 52 mm des Ets TECHNAL ou CW 50 des Ets REYNAERS Uw maxi = 1,7 W/m²K avec vitrage TYPES 1 et 4. LOCALISATION : façade est REPERES 23, 24 et 25 selon plan architecte</p> | Hors volume chauffé : sans objet |
| Étanchéité à l'air des menuiseries | <i>L'étanchéité des ouvrages à l'air et à l'eau devra être étudiée pour permettre une perméabilité mesurée maximum de 1,7 m³/H/m². Dans tous les cas, ces ouvrages devront correspondre aux résultats des essais justifiant de leur parfaite étanchéité. Ceux-ci seront réalisés par l'entrepreneur sur les menuiseries elles-mêmes ou sur un prototype de même exécution à présenter et faire agréer avant mise en fabrication.</i> | Prise en compte de l'importance de l'étanchéité des cadres de menuiseries lors de la mise en œuvre. |

Dans l'ensemble les performances des composants décrits dans le DCE sont similaires à ceux saisis dans l'étude thermique. Certains composants prescrits ont une performance thermique meilleure que celle saisie dans l'étude thermique.

3.2 - Perméabilité à l'air du bâtiment

L'opération vise une perméabilité à l'air sous quatre pascals de $1,7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, ce qui correspond à la valeur par défaut de l'étude thermique.

3.3 - Ventilation

| Hypothèses de la note de calcul | Formulation du DCE | Divergence |
|--|--|--|
| Principe de fonctionnement | <p>Le système de ventilation sera un système de Ventilation Modulée Tertiaire (VMT) permettant de ventiler les locaux de la manière suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> — salles de classes : ventilation des locaux en fonction du taux de CO₂; — autres locaux : ventilation permanente. <p>L'extracteur sera un caisson de ventilation simple flux à basse consommation d'énergie.</p> <p>La circulation d'air sera réalisée de la façon suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> — entrées d'air neuf par l'intermédiaire de grilles d'entrée d'air autoréglables dans les menuiseries extérieures ; — extraction d'air vicié par l'intermédiaire de bouches à débit variable et de bouches à débit fixe autoréglables ; — centrale de ventilation implantée dans le local technique. | Pas de divergence |
| Grilles d'entrée d'air autoréglables Entrées d'air autoréglables certifiées localisées selon plans dans les locaux suivants : local et bureau directrice, salle de réunion, classe 1, classe 2, classe 3 | <p>L'admission d'air dans les locaux s'effectuera par des entrées d'air autoréglables implantées dans les menuiseries extérieures. Ces entrées d'air seront de marque ALDES ou techniquement équivalent, de type EMMA avec un débit unitaire de 15, 30 et 45 m³/h.</p> <p>Elles auront des caractéristiques acoustiques permettant de respecter la réglementation acoustique en vigueur et les recommandations du CSTB, Dnew (Ctr) : 33 dB(A).</p> <p>Chaque grille d'entrée d'air sera constituée d'un auvent extérieur, d'un module d'autorégulation avec manchon acoustique.</p> | Pas de divergence |
| Bouches d'extraction Bouches autoréglables certifiées | <p>6.2.1 Salle de classe – Diffuseur</p> <p>La reprise d'air vicié s'effectuera par des diffuseurs plafonniers de marque ALDES ou techniquement équivalent, type SC 369R de dimensions 600 × 600 mm. Ces diffuseurs sont en acier peinture époxy, équipés d'un filtre W cousu sur jonc, classement M3, G3. Un plenum est intégré sur chaque diffuseur permettant le raccordement sur conduit circulaire.</p> | Les bouches d'extraction autoréglables de l'étude thermique sont en fait des diffuseurs plafonniers asservis en débit à la détection de CO ₂ dans les |

| Hypothèses de la note de calcul | Formulation du DCE | Divergence | | | |
|--|---|--|---|---|--|
| <p>Débits :</p> <p>Classe 1 : 38 m³/h en inoccupation 375 m³/h en occupation</p> <p>Classe 2 : 23 m³/h en inoccupation 225 m³/h en occupation</p> <p>Classe 3 : 38 m³/h en inoccupation 375 m³/h en occupation</p> | <p>L'adaptation et le renouvellement d'air dans les salles de classe s'effectuera en fonction du taux de CO₂ grâce aux équipements suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - capteur CO₂ 24V relié à un transformateur 230V/24V ; MDA CO₂ 30 VAC avec carte électronique intégrée ; - module de régulation MR en matière plastique dans manchon à fenêtre. <p>Ces équipements seront de marque ALDES ou techniquement équivalent.</p> <p>Suivant la concentration de CO₂ donnée par le capteur dans la pièce, le module MDA+MR traitera l'information pour ensuite moduler le débit nécessaire afin d'adapter le renouvellement d'air aux besoins. Cette variation du débit se fera en fonction d'une valeur seuil qui se situera à 1100 ppm. En période d'inoccupation ou de non détection du capteur de CO₂ (valeur mesurée inférieure à la valeur seuil), un débit minimum sera assuré par une ouverture périodique du MDA, 1 minute toutes les 10 minutes.</p> <p>Depuis l'attente électrique prévue par l'électricien dans chaque salle de classe, le câblage et le raccordement électrique des MDA CO₂ et de la sonde CO₂ seront à la charge du présent lot.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Vitesse dans les gaines : 3 m/s <p>Débit d'air / occupant : 15 m³/h/occupant</p> <table border="1" data-bbox="507 774 1758 861"> <tr> <td data-bbox="507 774 938 861">Salles de classe 1 et 3 : Occupation moyenne : 20-25 personnes Débit d'air extrait total : 300 à 375m³/h</td><td data-bbox="938 774 1320 861">Salle de classe 2 : Occupation moyenne : 15 personnes Débit d'air extrait total : 225 m³/h</td><td data-bbox="1320 774 1758 861">Salle de classe 4 : Occupation moyenne : 20 personnes Débit d'air extrait total : 300 m³/h</td></tr> </table> | Salles de classe 1 et 3 : Occupation moyenne : 20-25 personnes Débit d'air extrait total : 300 à 375m³/h | Salle de classe 2 : Occupation moyenne : 15 personnes Débit d'air extrait total : 225 m³/h | Salle de classe 4 : Occupation moyenne : 20 personnes Débit d'air extrait total : 300 m³/h | <p>classes. Le DCE ne précise pas de débit. Des mesures devront être effectuées lors de l'équilibrage des réseaux.</p> |
| Salles de classe 1 et 3 : Occupation moyenne : 20-25 personnes Débit d'air extrait total : 300 à 375m³/h | Salle de classe 2 : Occupation moyenne : 15 personnes Débit d'air extrait total : 225 m³/h | Salle de classe 4 : Occupation moyenne : 20 personnes Débit d'air extrait total : 300 m³/h | | | |
| <p>Bouches d'extraction salle de réunion</p> <p>5 m³/h en inoccupation 100 m³/h en occupation</p> <p>Bouche autoréglable certifiée</p> | <p>6.2.2 Salle de réunion</p> <p>L'air vicié de la salle de réunion sera assurée par une bouche d'extraction ayant les caractéristiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - noyau central réglable ; - anneau extérieur muni d'un joint d'étanchéité ; - système de blocage de la position après réglage par contre-écrou ; - finition en acier peinture époxy. <p>La bouche sera de marque ALDES ou techniquement équivalent type SR143. En amont de chaque bouche, il sera placé dans la gaine de ventilation un module de régulation MR en matière plastique de 100 m³/h y compris manchon à fenêtre.</p> <table border="1" data-bbox="507 1155 1062 1331"> <tr> <td data-bbox="507 1155 1062 1331">Salle de réunion : Occupation moyenne : 7 personnes Débit d'air / occupant : 18 m³/h/occupant Débit d'air extrait total : 126 m³/h -Vitesse dans les gaines : 3 m/s</td></tr> </table> | Salle de réunion : Occupation moyenne : 7 personnes Débit d'air / occupant : 18 m³/h/occupant Débit d'air extrait total : 126 m³/h -Vitesse dans les gaines : 3 m/s | <p>Pas de divergence</p> | | |
| Salle de réunion : Occupation moyenne : 7 personnes Débit d'air / occupant : 18 m³/h/occupant Débit d'air extrait total : 126 m³/h -Vitesse dans les gaines : 3 m/s | | | | | |

| Hypothèses de la note de calcul | Formulation du DCE | Divergence |
|--|---|--|
| Local café 30 m ³ /h en inoccupation et en occupation Sanitaire personnel 30 m ³ /h | <p>6.2.3 Autres locaux</p> <p>Dans les sanitaires et le dégagement 1, il sera installé des bouches autoréglables à débit fixe, isolées électriquement, démontables, placées dans une manchette de raccordement permettant une parfaite étanchéité entre le conduit et la bouche. Les bouches seront raccordées au réseau d'extraction par l'intermédiaire d'une liaison terminale type RT Flex.</p> <p>Chaque bouche d'extraction sera constituée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'une platine technique ; - d'un régulateur (débits modifiables et réglables facilement) ; - d'une face avant amovible ; - d'un système de fixation et d'étanchéité par joint Roll'in. <p>Les bouches seront définies dans une plage de pression d'utilisation de 50 à 160 Pa, et seront de marque ALDES ou techniquement équivalent de type BAP COLOR ou BAP SI'.</p> <p>Le débit unitaire des bouches sera de 30 m³/h.</p> | Pas de divergence |
| Centrale de ventilation puissance moteur : 340.0 W (Puissance ventil. en inocc. 150.0 W) | <p>Il sera prévu une centrale de ventilation basse consommation d'énergie de marque ALDES ou techniquement équivalent, type CVEC 2500 RH micro-watt+, homologué C4 – 400°C 1/2h.</p> <p>Caractéristiques :</p> <p>Débit maximum : 1 385 m³/h</p> <p>Débit minimum 100 m³/h</p> <p>Puissance consommée à débit maximum : 300 W</p> <p>Puissance consommée à débit minimum : 150 W</p> <p>Pression disponible 180 Pa</p> | La puissance constructeur dans le DCE est légèrement inférieure à celle saisie dans l'étude thermique. |

Commentaires

La ventilation prescrite dans le DCE est conforme à celle prescrite dans l'étude thermique. Le groupe d'extraction installé est légèrement moins puissant que celui saisi dans l'étude thermique et devrait donc se révéler moins consommateur.

3.4 - Chauffage – Refroidissement

Conformément à l'étude thermique la production de chaleur s'effectue dans le local chaufferie hors volume chauffé. Les canalisations seront calorifugées.

| Chauffage | Hypothèses de la note de calcul | Formulation du DCE | Divergence |
|-----------------------------|---|--|---|
| Type de production | Système thermodynamique : pompe à chaleur géothermale eau - eau | <p>Production de chaleur par une pompe à chaleur géothermie eau/eau.</p> <ul style="list-style-type: none"> Diffusion de la chaleur dans les locaux par des planchers chauffants pour les niveaux RDC et N1. <p>Salle de réunion et archives : compte tenu du taux d'occupation et du plancher bois des locaux, chauffage par panneaux rayonnants électriques (prévu au lot électricité)</p> | |
| Puissance de l'installation | 31 kW | <ul style="list-style-type: none"> Puissance calorifique utile B0W45 : 21,4 kW Puissance absorbée : 7,4 kW | Selon Documentation constructeur, puissance calorifique absorbée à 10/7°C pour une source chaude à 30/35°C = 30,9 kW, donc conforme aux valeurs de l'étude thermique. |
| Sondes géothermiques | Non détaillé dans l'étude thermique | <p>Fourniture et pose des sondes constituées de tubes en polyéthylène haute densité (PEHD) diamètre DN32 avec pression nominale de fonctionnement PN16.</p> <ul style="list-style-type: none"> Une sonde comprendra 2 tubes en U, avec une tête de sonde. Un fluide antigel caloporeur, de l'eau glycolée composée à 40 % de monopropylène glycol, circulera à l'intérieur des tubes pour prélever la chaleur du sous-sol environnant. | Sans objet. |
| Pompe à chaleur | PAC eau/eau | <p>5.2.2 Pompe à chaleur Il sera prévu la fourniture, pose et raccordement d'une PAC eau/eau de marque CIAT ou techniquement équivalent, type AGEO modèle 100 HT. T entrée condenseur = 35°C ; mono propylène glycol (MPG) à 40 % sur la source froide.</p> | Pas de divergence. |

| Chauffage | Hypothèses de la note de calcul | Formulation du DCE | Divergence |
|------------------------------|---|---|---|
| Caractéristiques de la PAC | COP nominal de 5,6 | <p>Nature du réfrigérant : R410A</p> <ul style="list-style-type: none"> — nombre de compresseurs : 1 — type de compresseurs : scroll — nombre d'échangeurs : 1 — type d'échangeur : échangeur à plaques brassées en acier inoxydable AISI 316 — pression sonore : 31dB (A) — Tension d'alimentation : 400V – 3 ph – 50Hz +T + N | Selon notice constructeur, le COP certifié à 10/7°C est de 5,42 donc légèrement inférieur à la valeur de l'étude thermique. |
| Conditions de fonctionnement | | <p>Les conditions de fonctionnement de l'appareil seront les suivantes :</p> <p>T entrée évaporateur = 0°C ; T sortie évaporateur = -4°C ; 11 18 – Restructuration de l'ancienne école primaire de St. Viance T sortie condenseur = 45°C ;</p> | Attention, selon la documentation du constructeur, avec une sortie de condenseur à 45°C au lieu de 35°C, le COP chute de 5,42 à 4,03. |
| Régulation | Programmation 40-100, loi d'eau en chaud Gestion température départ en fonction de la température intérieure | <p>La régulation de la PAC sera intégrée à l'appareil et disposera des fonctionnalités suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> — régulation à partir d'une loi d'eau paramétrée en fonction de la température extérieure et de la température retour planchers chauffants ; — gestion de l'anti-court cycle ; — contrôle des paramètres de fonctionnement ; — diagnostics des défauts ; — mise hors gel de l'installation ; — redémarrage automatique de l'appareil après une coupure de courant (sauvegarde des paramètres pendant 2 heures minimum sans électricité) ; — Programmation journalière et hebdomadaire. <p>En complément du tableau de commande et régulation de la PAC, le présent lot devra prévoir la fourniture, pose et câblage des équipements suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> — sonde extérieure ; — sonde de retour d'eau ; — sonde de départ d'eau. | Conformité entre l'étude thermique et le DCE. |

| Chauffage | Hypothèses de la note de calcul | Formulation du DCE | Divergence |
|----------------------------|---|---|--|
| Émission | Plancher rayonnant | <p>PLANCHER CHAUFFANT</p> <p>Les pièces du RDC et du R+1 seront chauffées par le plancher. Le système de chauffage par le sol sera de marque VELTA ou techniquement équivalent type VELTA PRIMO.</p> <p>Conditions de température :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Température eau chaude de départ : 45°C pour -9°C extérieur - Écart de température entrée/sortie : 10°C - Température de surface au sol maxi : 28°C - Température intérieure : 19°C | Pas de divergence. Attention aux variations de COP saisies dans l'étude thermique en fonction des températures de départ et retour de planchers. |
| Régulation pièce par pièce | <p>Régulation des émetteurs</p> <p>Arrêt total émission possible</p> <p>Gestion température départ en fonction de la température intérieure</p> | <p>La régulation des planchers chauffants sera assurée par un système de régulation pièce par pièce qui permettra de gérer et contrôler le chauffage indépendamment dans toutes les pièces du bâtiment. Le but de cette régulation sera de procurer un confort thermique aux occupants tout en permettant de réduire les consommations d'énergie en ne surchauffant pas et/ou en adaptant les températures et les temps de chauffe à l'utilité de chaque pièce. Le matériel installé sera de marque THERMOZYKLUS ou techniquement équivalent, certifié conforme CE. Le système se composera d'une centrale de programmation, de sondes d'ambiances aveugles, de commutateurs/ boîtes de relais. Le matériel devra être de type communicant Modbus. La centrale permettra de régler à distance et de manière instantanée les températures de chaque pièce. Au minimum, 3 consignes de températures pourront être paramétrées par salle de classe :</p> <ul style="list-style-type: none"> • une température de confort de 19°C (mode Jour) ; • une température réduite de 16°C (mode Nuit) ; • une température hors gel de 5°C (mode Hors Gel). • une fonction Arrêt permettra d'annuler temporairement les programmations journalière/hebdomadaire. <p>La centrale devra permettre de contrôler à distance les températures ambiantes réelles des pièces et de les comparer aux températures programmées.</p> | Conforme à l'étude thermique. |

Commentaires

Les performances de la PAC dépendent de la température de départ et de retour du plancher chauffant. Lors de la première mise en chauffe, les températures de départ et de retour des planchers chauffant seront vérifiées.

3.5 - Eau chaude sanitaire (ECS)

Les besoins de l'école en eau chaude sanitaire étant faibles, ils sont couverts par des ballons électriques verticaux de petite capacité placés dans les sanitaires. L'étude thermique ne prenant pas en compte l'eau chaude sanitaire, la présence de ballons d'eau chaude est ici mentionnée uniquement à titre indicatif.

| Type de production ECS | Extrait du DCE |
|------------------------------|--|
| Ballon d'eau chaude | 4.3 - PRODUCTION D'EAU CHAUE « La production d'eau chaude des appareils sanitaires sera assurée par l'intermédiaire de ballons électriques verticaux de petite capacité, installés au plus près des points de puisage. Ces ballons seront certifiés NF avec haute isolation thermique, cuve garantie totale 5 ans, à chauffe permanente, de marque PACIFIC ou techniquement équivalent». |
| Caractéristique du ballon | Marque : PACIFIC ARPEGE |
| Volume | Capacité : 15 ou 50 litres |
| Position | Position : verticale Localisation : <ul style="list-style-type: none"> - local technique (ballon de 15 L) - sanitaires étage (ballon de 50 L) - classe 3 (ballon de 15 L) |
| Température de consigne | Le thermostat sera réglé entre 60°C et 65°C pour éviter les phénomènes de légionellose. |
| Consommation ECS (en kWh/an) | Non précisé |

3.6 - Éclairage

L'éclairage représentant le second poste de consommation (28,5 kWh/m²/an) juste derrière le chauffage, son utilisation fera l'objet d'un suivi précis. L'étude thermique mentionnant seulement des puissances d'éclairement de 9 W par m², les éléments suivants ont été recueillis dans le DCE pour évaluer la puissance réellement installée.

3.6.1 - Descriptif de l'éclairage

Extrait du DCE

« 3.8.3 Lustrerie

Les luminaires seront implantés selon plan et pourront être de marque différente à celle indiquée au présent document mais présenteront des caractéristiques techniquement équivalentes.

Le choix ne sera définitif qu'après l'accord complet du Maître de l'Ouvrage et du Maître d'œuvre. Tous les points lumineux seront équipés d'un conducteur de protection.

Tous les luminaires fluorescents seront équipés d'appareillage électronique. Ils seront équipés de tubes fluorescents 26 mm IRC 85 minimum ayant une température de couleur de 3 500 K. »

3.6.2 - Caractéristiques des luminaires

| Type | Marque/ Modèle | Caractéristiques techniques | Puissance Lampe | Localisation | Nombre de luminaires | Surface (m ²) | Puissance totale installée calculée (W) | Puissance au m ² |
|------|--|--|-----------------|------------------------------------|----------------------|----------------------------------|---|-----------------------------|
| E1 | Trilux ou équivalent Réf. : Olivéon 228 | I.P. – IK : 66 Tenue au feu : 850°C Ballast : Électronique | 2T5 – 28W | Local technique et rangement étage | 3 | 10,86 7,99 | 112 | 5,94 |
| E2 | Trilux ou équivalent Réf. : 3693 D-RPX 3 x 14 W | I.P. – IK : 20 – 02J Rendement : 0,91 B Tenue au feu : 960°C Ballast : Électronique | 3 × 14 W | Salle de cours | 34 | 62,95 47,24 61,28 29,22 | 1428 | 7,11 |
| E3 | THORN ou équivalent Réf. : Encastré LED | IP – IK : 20 Accessoire : Convertisseur LED | 6 × 1 W | Sanitaires | 2 | 3 | 12 | 4 |
| E4 | DECLIC ou équivalent Réf. : Mianda | I.P. – IK : 54 | 1 × 24 W | Extérieur | 10 | 0 | 240 | - |
| E5 | THORN ou équivalent Réf. : Chalice 190H | I.P. – IK : 23 Tenue au feu : 850°C Ballast : Électronique Accessoires : Disque verre | 2 × 26 W | Hall et circulations | 8 | 19,84 | 416 | 20,97 |
| E6 | TRILUX ou équivalent Réf. : 5041 RPX-L 2 × 28/54 | I.P. – IK : 20 – 04 Tenue au feu : 850°C Ballast : Électronique à cathode chaude | 2 × 28/54 W | Salle de réunion | 2 | 14,45 | 112 | 7,75 |

| Type | Marque/ Modèle | Caractéristiques techniques | Puissance Lampe | Localisation | Nombre de luminaires | Surface (m ²) | Puissance totale installée calculée (W) | Puissance au m ² |
|------|---|---|-------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------------|--|---|
| E7 | Trilux ou équivalent Réf. : 39/12 RAV/1 x 28/54 | Tenue au feu : 950°C Ballast : Électronique I.P. – IK : 20 | 1 x 54 W | Salle de cours suivant plan | 12 | 62,95 47,24 61,28 29,22 | 648 | 3,25 |
| E8 | Trilux ou équivalent Réf. : Génus | Tenue au feu : 850°C Ballast : Électronique I.P. – IK : 65 | 2 x 26 W | Local technique – placard | 1 | 11,62 | 52 | 4,48 |
| E9 | Epsilon ou équivalent Réf. : Larrau | I.P. – IK : 20 – 07 Tenue au feu : 960°C Ballast : Électronique | 1 x 26 W | Cage d'escalier | 4 | 6 | 104 | 17,33 |
| E10 | Epsilon ou équivalent Réf. : Lucane | I.P. – IK : 65 – 07 Tenue au feu : 960°C Ballast : Électronique | 1 x 70 W – 1 x 150 W | Extérieur | 1 | 0 | 220 | - |
| | | | | | | Surface totale 297,69 | Puissance totale installée à l'intérieur 3 104 W | Puissance moyenne au m ² 10,42 W |

La puissance moyenne installée au m² est de 10,42 W ce qui est légèrement supérieur à la valeur moyenne de 9 W/m² figurant dans l'étude thermique. Cette valeur reste acceptable, la puissance totale installée comportant pour partie des lampes à usage très ponctuel.

3.6.3 - Prescriptions de gestion de l'éclairage

Les commandes de l'éclairage des circulations et des salles de classes s'effectueront en fonction de la luminosité et de la présence par détecteurs de mouvement.

Mode de fonctionnement de la gestion de l'éclairage

- Allumage volontaire manuel par poussoir
- Extinction automatique par détecteur ou par action sur bouton poussoir
- Détecteur autonome encastré en faux-plafond
- Luminosité : 500 Lux

- Détecteur infra rouge et ultrasonic 360°
- Distance entre détecteur : 10 m maximum
- Champ de détection : 90m².

Commentaires sur le dispositif d'éclairage mis en œuvre

Les puissances installées sont relativement proches de l'objectif de l'étude thermique. Le mode de gestion combinant boutons poussoirs et détection automatique en fonction de la luminosité naturelle est essentiel pour l'optimisation des consommations.

4 - Phase 2 : suivi de chantier, évaluation de la mise en œuvre

Les tableaux ci-dessous comparent les produits mis en œuvre effectivement et ceux prescrits dans le DCE. La qualité de la mise en œuvre est également évaluée.

4.1 - Enveloppe

| Éléments techniques | Description DCE | Principaux constats |
|---|---|--|
| Mur extérieur 1 Mur en pierre isolé par l'intérieur avec 140 mm de fibre de bois HOMATHERM de type HOLZFLEX PROTECT – R isolant : 3,65 m ² .K/W | <p>6.01 – DOUBLAGES THERMO ACOUSTIQUES</p> <p>Le doublage des murs sera réalisé par une ossature métallique galvanisée de 0.6 mm à fourrure type F 47 montant simple fixé entraxe 0.60 m sur rails haut et bas et suspente U intermédiaire tous les 125 cm maxi. Les fourrures seront positionnées à 140 mm mini du mur de manière à ne pas comprimer l'isolation.</p> <p>La finition sera assurée par une plaque de gypse renforcé par fibres de cellulose type FERMACELL BA des Ets XELLA, classement M0 avec PV du CSTB, vissée sur l'ossature, l'isolation sera réalisée par des panneaux de laine bois type HOLZFLEX Standard des Ets HOMATHERM ou similaire, épaisseur 140 mm, R = 3,68 m²K/W</p> <p>Les travaux comprendront la mise en œuvre d'une membrane pare vapeur avec avis technique type VARIO DUPLEX des Ets ISOVER posée sur l'isolation avant l'ossature avec jointolement des lés par adhésif VARIO K. LOCALISATION : — L'ensemble du projet selon plans architecte.</p> |   <p>Murs en pierre après curage du bâtiment – mise en œuvre de l'isolant.</p> |

| Éléments techniques | Description DCE | Principaux constats |
|---------------------|--|--|
| |   <p>L'isolant est maintenu par l'ossature métallique sur laquelle est fixé le pare-vapeur de type Vario Duplex (isoler). La finition est assurée par des plaques de fermacell vissées sur l'ossature.</p>  |  <p>Isolant mis en œuvre : laine de bois de 140 mm</p> |

| Éléments techniques | Description DCE | Principaux constats |
|---------------------|-----------------|--|
| | | <p>Les passages de gaines électriques sont traités avec des gaines élastomères spéciales.</p>  <p>Les jonctions entre parois verticales et planchers haut et bas sont traitées par un retour du pare-vapeur.</p> <p>Globalement, la mise en œuvre de l'isolant est de qualité. Un soin particulier a été porté à l'étanchéité à l'air et à la continuité du pare-vapeur malgré les contraintes de l'existant.</p>   <p>Les jonctions tridimensionnelles, plus difficiles à traiter représentent les points faibles en matière d'étanchéité à l'air.</p> <p>Certains panneaux de laine de bois mis en œuvre sont endommagés.</p> |

| Éléments techniques | Description DCE | Principaux constats |
|----------------------|--|---|
| | |   <p>Une thermographie infrarouge viendra confirmer si ces panneaux ont été conservés tels quels derrière le doublage ou remplacés.</p> |
| Tableaux et linteaux | <p>6.2 — DOUBLAGES TABLEAUX / LINTEAUX</p> <p>Le doublage des tableaux sera réalisé par une ossature métal galvanisée de type cornière CR2 fixée sur un montant du doublage et sur la menuiserie alu. La finition sera assurée par une plaque de gypse renforcée par fibre de cellulose type FERMACELL BA des Ets XELLA ou similaire, classement M0 avec PVC du CSTB vissée sur l'ossature.</p> <p>L'isolation sera en parfaite continuité avec celle des doublages et sera en panneau de laine de bois type HOLZFLEX protect des Ets HOMATHERM ou similaire, épaisseur 30 mm, R = 0.789 m²K/W</p> <p>Les travaux comprendront la mise en œuvre en continuité des doublages d'une membrane pose vapeur avec avis technique type VARIO DUPLEX des Ets ISOVER dit 6.01 jusqu'au droit de la menuiserie aluminium.</p> |    <p>Les tableaux sont exécutés conformément au DCE, avec toutefois des difficultés pour assurer la continuité parfaite entre l'isolant et les tableaux. Il sera procédé à une thermographie pour évaluer l'impact de cette mise en œuvre.</p> |

| Éléments techniques | Description DCE | Principaux constats |
|--|--|---|
| <p>Toiture 1 (plafonds droits) Laine de verre soufflée de marque ISOVER de type COMBLISSIMO d'épaisseur 345 mm – R isolant 7,50 m².K/W</p> | <p>6.03 – PLAFOND DROIT Réalisation de plafond droit sous travée bois existante comprenant une ossature métallique par fourrures type F 47 clipsées sur suspente en composite armé, permettant de fixer une membrane pare vapeur sans rupture d'étanchéité, type INTEGRA 2 des Ets ISOVER ou similaire. La finition sera assurée par une plaque BA 13 standard.</p> <p>6.04 – ISOLATION DU COMBLE Réalisation de l'isolation du comble par soufflage de ouate de cellulose type UNIVERCELL des Ets SOPREMA ou similaire, disposant d'un avis technique du CSTB et d'un certificat ACERMI, masse volumique mini 30 kg/m³, classement au feu M1, conductivité thermique = 0,04, épaisseur mise en œuvre 300 mm R = 7,5 m²K/W compris passage sous travée bois très soigné, mise en place de repères dimensionnels, mise en place de coffrage de rive bois en périphérie si nécessaire, accessibilité par passage en toiture réalisée par le couvreur (DIM. 60 X 80), contrôle par caméra thermique de la bonne exécution des travaux avec rapport papier en 3 exemplaires, fiches de contrôle et étiquettes des sacs utilisés.</p> |   <p>Différentes étapes de la mise en œuvre des plafonds.</p> |
| | <p>5.07 – ISOLATION Fourniture et mise en œuvre d'une couche d'isolation entre les solives bois par 100 mm de laine de verre IBR nu des Ets ISOVER ou similaire (R_u = 2,5 m²K/W). L'isolation sera maintenue en place à l'aide d'un grillage galvanisé tendu sous les solives type PLASTINET GALVA des Ets ISOVER. LOCALISATION : étage</p> |   <p>L'installation du plafond technique et du système de fixation du faux plafond conduit à de nombreux percements des plaques de fermacell</p> <p>Non accessible lors des visites de chantier. Une thermographie des planchers hauts sera réalisée.</p> |

| Éléments techniques | Description DCE | Principaux constats |
|---|---|--|
| <p>Toiture 2 (plafonds rampants) Laine de bois de marque HOMATHERM de type HDP Q11 PROTECT d'épaisseur total 300 mm – R isolant= 7,00 m².K/W</p> | <p>6.05 – PLAFOND RAMPANT plafond rampant sous travée bois existante comprenant une ossature métallique clipées sur suspente en composite armé, permettant de fixer une membrane pare vapeur sans rupture d'étanchéité. Isolation réalisée en 2 couches croisées, une première couche entre les pannes de 100 mm et une 2e couche sous les pannes de 200 mm, réalisée en panneaux de fibres de bois. L'isolation sera parfaitement jointive et en continuité totale avec celles des parois verticales.</p> | <p>Non accessible lors des visites, l'escalier n'étant pas construit. Une thermographie des planchers hauts sera réalisée.</p> |
| <p>Plancher sur vide sanitaire Plancher béton chauffant isolé par 60 mm de mousse polyuréthane de marque VELTA type PRIMO R isolant : 2,60 m².K/W -</p> | <p>Dalle VELTA PRIMO Épaisseur : 60 mm Résistance thermique supérieure ou égale à 2,6 m²C/W</p> | |
| <p>Portes extérieures en bois</p> | <p>Le modèle sera du type RE gamme BOIS TRADITION des Ets MAB (modèle choisi par l'architecte des bâtiments de France) <i>Il sera utilisé un joint mousse polyuréthane auto-adhésif imprégné de résine synthétique stable, exempte de cire et bitume, permettant l'étanchéité à l'air, à l'eau, et au bruit avec une bonne perméabilité à la vapeur d'eau.</i> Uw = 1,5 W/m²K</p> | <p>Porte à revérifier lors d'une prochaine visite</p> |

| Éléments techniques | Description DCE | Principaux constats |
|---|--|--|
| <p>Menuiserie aluminium double vitrage 4/16/4 à isolation renforcée et remplissage argon + volet bois extérieur • " U total=1,8 W/m².K</p> <p>Verre extérieur 4 mm Lame d'air 85 %argon : 16 mm Verre intérieur 4 mm U vitrage = 1,00 W/m².K Facteur solaire gEN410 = 0,44</p> | <p>5.17 – AMENAGEMENT D'UN BUREAU DIRECTION ZONE MATERNELLE</p> <p>5.17.3 – CHASSIS A FRAPPE EXTERIEUR</p> <p>Fourniture et pose en rénovation d'un châssis bois classé FSC à 2 vantaux, à la française, séparé par un meneau central de 120 mm (reçoit une cloison de 98/48), le vitrage sera du type SP 510 face extérieur + lame d'air de 16 argon + 4 planimètre One des Ets St Gobain ou similaire.</p> <p>Ug = 1 W/m²K.</p> <p>La menuiserie sera classée A*3, E*6b, V*A3, isolement acoustique contre les bruits de l'espace extérieur de 30 dB</p> <p>Uw = 1,7 /m²K.</p> |   <p>Les menuiseries installées sont conformes aux prescriptions du DCE. Les cadres sont installés avec un système d'étanchéité de type comprimande efficace pour le traitement de l'étanchéité à l'air. Des défauts mineurs d'étanchéité à l'air sont constatés au niveau des paumeilles des menuiseries. Un réglage des menuiseries sera suffisant pour les corriger.</p> <p>Les portes fenêtres posent un plus gros problème : elles ne sont pas du tout étanches à l'air en partie basse. Un dispositif anti pince-doigt est imposé par le ministère de l'éducation nationale sur les nouvelles écoles. Dans le cas présent, la solution technique employée pour mettre en œuvre ce dispositif dégrade très fortement l'étanchéité à l'air, un jour étant nettement visible entre l'ouvrant et le dormant des menuiseries. Ce détail est particulièrement dommageable au regard de l'effort porté par ailleurs à l'étanchéité à l'air des menuiseries.</p> |
| | |   |
| | <p>3.5 — FENETRE DE TOIT</p> <p>Fourniture et mise en œuvre de châssis de toiture de type tout confort GHL des Ets VELUX ou similaire.</p> <p>Vitrage double de type 33/1 + 12 argon + 6 peu émissif, trempée, autonettoyant, affaiblissement acoustique RA = 35 db (rose)</p> <p>Coefficient U = 1,5 W/m²K Coefficient Sw = 0,23.</p> |  <p>Conformité des menuiseries mises en œuvre au DCE</p> |

| Éléments techniques | Description DCE | Principaux constats |
|---------------------|---|---|
| | <p>TYPE 1 pour portes RdC et étage : Verre extérieur type SGG STADIP PROTECT SP 510 anti effraction, lame d'air de 16 rempli d'argon à 90 %, verre intérieur type SGG STADIP protect 44/2 avec une couche PLANITHERM ONE</p> <ul style="list-style-type: none"> — Ug : 1,0 W/m²K — facteur solaire g en 410 = 0,44 — transmission lumineuse : 67 % — épaisseur totale : 35 mm <p>TYPE 2 pour les fenêtres du RdC : Verre extérieur type SGG STADIP PROTECT SP 510 anti effraction, lame d'air de 16 rempli d'argon à 90 %, verre intérieur type PLANILUX 4 mm avec une couche PLANITHERM ONE</p> <ul style="list-style-type: none"> — Ug : 1,0 W/m²K — facteur solaire g en 410 = 0,44 — transmission lumineuse : 68 % — épaisseur totale : 30,3 mm <p>TYPE 3 pour les fenêtres étages : Verre extérieur type SGG STADIP PROTECT 44/2, lame d'air de 16 rempli d'argon à 90 %, verre intérieur type PLANILUX 4 mm avec une couche PLANITHERM ONE</p> <ul style="list-style-type: none"> — Ug : 1,0 W/m²K — facteur solaire g en 410 = 0,46 — transmission lumineuse : 69 % — épaisseur totale : 28,8 mm |     |

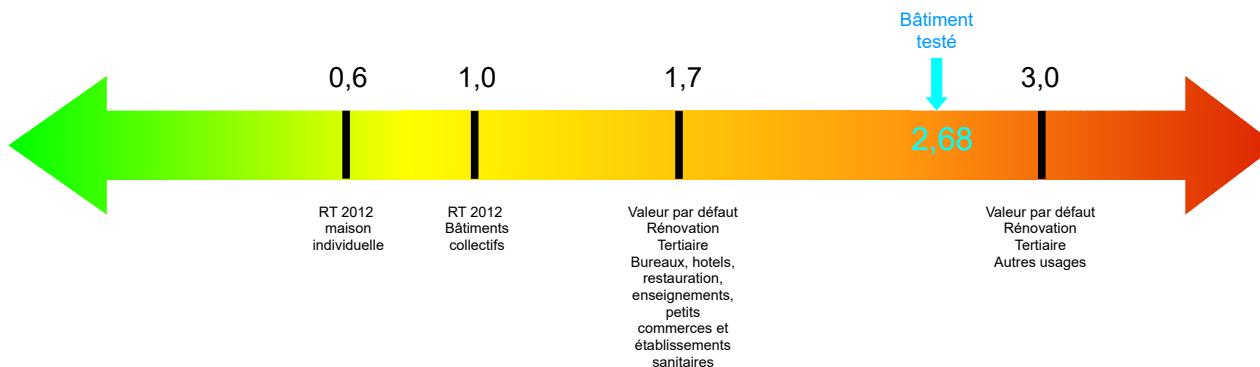
| Éléments techniques | Description DCE | Principaux constats |
|---------------------|---|--|
| | <p>4.04 – VERRIERE Fabrication et pose entre tableaux maçonnés selon détail architecte d'une verrière en ALU LAQUE BRUN FONCE à rupture de pont thermique. (...) L'ensemble pourra être du type GEODE 52 mm des Ets TECHNAL ou CW 50 des Ets REYNAERS Uw maxi = 1,7 W/m²K avec vitrage TYPES 1 et 4. LOCALISATION : façade Est REPÈRE 23, 24 et 25 selon plan architecte</p> |  Mise en œuvre conforme au DCE |

Remarques

Dans l'ensemble, les prescriptions du DCE ont été bien mises en œuvre lors de la phase chantier. L'entreprise en charge des doublages en plaques de plâtre avait également pour mission la coordination de la gestion de l'étanchéité à l'air. Un soin particulier a donc été apporté à l'étanchéité de l'enveloppe et des cadres des menuiseries. Quelques erreurs sont à imputer à l'inexpérience des entreprises qui, pour la plupart, réalisaient ici leur premier chantier de bâtiment basse consommation : point singuliers mal traités, réglages des ouvrants. Certains défauts d'étanchéité relèvent plus d'erreurs de conception : les vitrages anti pince-doigt qui, malgré l'emploi d'un vitrage performant, laissent passer de vrais courants d'air. De même l'adjonction de la trémie de l'ascenseur dans le volume chauffé conduit à dégrader fortement l'étanchéité à l'air, à cause des événements de décompression nécessaires au bon déplacement de la cabine de l'ascenseur : il eut été judicieux de sortir l'ascenseur du volume chauffé ou de créer un sas étanche, à défaut de trouver un système d'ascenseur étanche à l'air.

4.2 - Perméabilité à l'air du bâtiment

La valeur de perméabilité à l'air finale mesurée sous 4 pascals est de $2,68 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, pour une valeur visée de 1,7, ce qui représente une surface de fuite équivalente sous 4 pascals de $2896,1 \text{ cm}^2$.



Cette valeur est très supérieure aux objectifs pour ce type de bâtiment. Elle s'explique par les raisons suivantes.

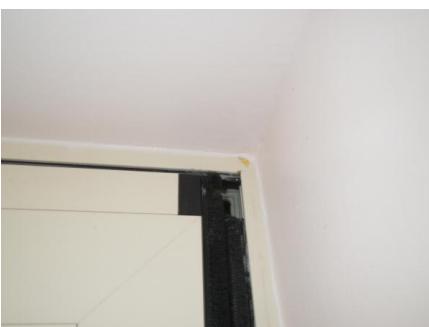
- Traversée du pare-vapeur par des gaines électriques sans rebouchage approprié



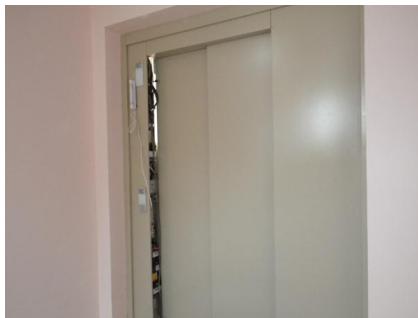
- Liaisons murs plancher intermédiaire



- Menuiseries : liaison ouvrant/dormant des fenêtres anti pince-doigt, mécanisme de réglage des menuiseries présent en partie basse, réglage de la fermeture des menuiseries de toiture



- Cage d'ascenseur fortement perméable, tableau électrique non étanche



L'écart de performance concernant l'étanchéité à l'air s'explique à la fois par des erreurs ou des contraintes de conception (cage d'ascenseur, fenêtre anti pince-doigt) et par des problèmes d'exécution (perçement du pare-vapeur par l'électricien, défauts d'étanchéité des tableaux, traitement des points singuliers).

4.3 - Ventilation

Le tableau ci-après dresse les principaux constats relatifs à la mise en œuvre de la ventilation.

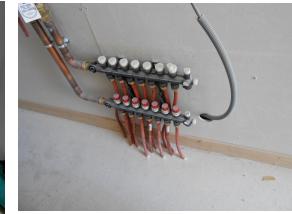
| Éléments techniques | Formulation DCE | Observations |
|-----------------------|--|---|
| Réseau de ventilation | <p>Depuis les bouches d'extraction jusqu'à la centrale d'aspiration, les conduits seront circulaires, réalisées en tôle d'acier galvanisé rigide, agrafé en spirales et réalisés selon la norme NF P 50.401.</p> <p>Le réseau cheminant dans les combles sera isolé par de la laine de roche de 25 mm d'épaisseur sur toute sa longueur. L'isolant thermique sera composé d'un feutre de laine de roche protégé par un film aluminium armé pare vapeur, il sera classé M0 et il aura un coefficient de conductivité thermique : $\lambda=0,040 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ (à 20°C). L'isolant sera de marque ALDES, type rouleau de laine de roche 25 mm ou techniquement équivalent.</p> |   <p>Le réseau de ventilation est réalisé avec des gaines circulaires rigides. Des joints en caoutchouc sont utilisés pour les raccords afin d'assurer une bonne étanchéité du réseau et de limiter ainsi les pertes de charge. L'isolation du réseau de ventilation hors volume chauffé est difficile à justifier dans le cas présent, le réseau étant utilisé uniquement pour de l'extraction, il n'y a aucun intérêt énergétique à isoler le réseau.</p> |

| Éléments techniques | Formulation DCE | Observations |
|--|--|--|
| Réseau de ventilation (suite) | <p>Tous les piquages devront être réalisés à 45°, aucun piquage à 90° ne sera accepté. Tous les raccords doivent être du type aéraulique. Les assemblages seront rendus étanches grâce au joint EPDM serti par bord retourné pour les diamètres 125 à 315 mm et grâce au joint bi-dureté EPDM fixé dans une gorge pour les diamètres de 355 à 560 mm.</p> | <p>Le passage du réseau hors du volume chauffé génère des coudes engendrant des pertes de charge. La traversée du mur extérieur mitoyen avec le local chaufferie n'est pas parfaitement étanche à l'air.</p>  |
| Grilles d'entrée d'air autoréglables | <p>L'admission d'air dans les locaux s'effectuera par des entrées d'air autoréglables implantées dans les menuiseries extérieures. Ces entrées d'air seront de marque ALDES ou techniquement équivalent, de type EMMA avec un débit unitaire de 15, 30 et 45 m³/h.</p> <p>Elles auront des caractéristiques acoustiques permettant de respecter la réglementation acoustique en vigueur et les recommandations du CSTB, Dnew (Ctr) : 33 dB(A).</p> <p>Chaque grille d'entrée d'air sera constituée d'un auvent extérieur, d'un module d'autorégulation avec manchon acoustique.</p> |  <p>Entrées d'air autoréglables : modèle conforme au DCE.</p> |
| Bouches d'extraction des salles de classe | <p>Salle de classe – Diffuseur</p> <p>La reprise d'air vicié s'effectuera par des diffuseurs plafonniers de marque ALDES ou techniquement équivalent, type SC 369R de dimensions 600 × 600 mm.</p> <p>Ces diffuseurs sont en acier peinture époxy, équipés d'un filtre W cousu sur jonc, classement M3, G3.</p> <p>Un plenum est intégré sur chaque diffuseur permettant le raccordement sur conduit circulaire.</p> |   <p>Diffuseurs plafonniers pour la reprise d'air</p> <p>Détecteurs de CO₂ placés dans les classes commandant le débit des entrées d'air et la puissance du ventilateur</p> |

| | | |
|--|--|--|
| <p>Bouches d'extraction de la salle de réunion 5 m³/h en inoccupation 100 m³/h en occupation Bouche autoréglable certifiée</p> | <p>La bouche sera de marque ALDES ou techniquement équivalent type SR143. En amont de chaque bouche, il sera placé dans la gaine de ventilation un module de régulation MR en matière plastique de 100 m³/h y compris manchon à fenêtre.</p>  |  <p>Modèle de bouche conforme au DCE. Débit à vérifier.</p> |
| <p>Centrale de ventilation Puissance moteur : 340,0 W (Puissance ventil. en inocc. 150,0 W)</p> | <p>Il sera prévu une centrale de ventilation basse consommation d'énergie de marque ALDES ou techniquement équivalent, type CVEC 2500 RH micro-watt+, homologué C4 – 400°C 1/2h. Caractéristiques : Débit maximum : 1 385 m³/h Débit minimum 100 m³/h Puissance consommée à débit maximum : 300 W Puissance consommée à débit minimum : 150 W Pression disponible 180 Pa</p> |  <p>Centrale de ventilation ALDES Microwatt CVEC 2500 conforme au DCE.</p> |

La mise en œuvre du réseau de ventilation est conforme au DCE. Des mesures de débit seront effectuées en cours de fonctionnement du bâtiment afin de s'assurer que l'équilibrage des réseaux aérauliques a bien été effectué.

4.4 - Chauffage – refroidissement

| Éléments techniques | Formulation DCE |   | Observations |
|--------------------------------|---|--|--|
| Pompe à chaleur PAC eau/eau | <p>5.2.2 Pompe à chaleur</p> <p>Il sera prévu la fourniture, pose et raccordement d'une PAC eau/eau de marque CIAT ou techniquement équivalent, type AGEO modèle 100 HT.</p> <p>T entrée condenseur = 35°C ; Mono propylène glycol (MPG) à 40 % sur la source froide.</p> | | <p>Le modèle de pompe à chaleur installé est celui prévu au DCE. L'ensemble des organes internes et des réseaux de distribution en chaufferie sont calorifugés. La mise en œuvre des sondes géothermiques verticales n'a pas pu être observée.</p> |
| Émission Plancher rayonnant | <p>PLANCHER CHAUFFANT</p> <p>Les pièces du RDC et du R+1 seront chauffées par le plancher. Le système de chauffage par le sol sera de marque VELTA ou techniquement équivalent type VELTA PRIMO.</p> |   | <p>Le plancher chauffant a été mis en œuvre sur l'isolant polyuréthane, puis recouvert par une chape de béton. Les nourrices de distribution sont visibles ici.</p> |
| Calorifugeage des réseaux | <p>Toutes les canalisations en chaufferie seront calorifugées individuellement par de la coquille de laine de verre finition PVC classé M1, d'épaisseur minimum 40 mm.</p> |   | <p>Les réseaux de distribution de chaleur sont calorifugés conformément au DCE.</p> |

4.5 - Eau chaude sanitaire (ECS)

| Extrait du DCE | Observations |
|--|---|
| <p>« 4.3 PRODUCTION D'EAU CHAUDE La production d'eau chaude des appareils sanitaires sera assurée par l'intermédiaire de ballons électriques verticaux de petite capacité, installés au plus près des points de puisage. Ces ballons seront certifiés NF avec haute isolation thermique, cuve garantie totale 5 ans, à chauffe permanente, de marque PACIFIC ou techniquement équivalent». Marque : PACIFIC ARPEGÉ Capacité : 15 ou 50 litres Position : verticale</p> |  <p>Les ballons sont positionnés à proximité immédiate des points de puisage (dans les faux plafonds juste au-dessus afin de réduire les pertes de distribution).</p> |

4.6 - Éclairage

| Type | Marque/ Modèle et caractéristiques techniques | Puissance lampe | Localisation | Constat |
|------|---|-----------------|------------------|---|
| E2 | Trilux ou équivalent Réf. : 3693 D-RPX 3 x 14 W I.P. – IK : 20 – 02J Rendement : 0,91 B Tenue au feu : 960°C Ballast : Électronique | 3 x 14 W | Salle de cours |  |
| E3 | THORN ou équivalent Réf. : Encastré LED IP – IK : 20 Accessoire : convertisseur LED | 6 x 1 W | Sanitaires |  |
| E6 | TRILUX ou équivalent Réf. : 5041 RPX-L 2 x 28/54 I.P. – IK : 20 – 04 Tenue au feu : 850°C Ballast : Électronique à cathode chaude | 2 x 28/54 W | Salle de réunion | Pas de photo |

| Type | Marque/ Modèle et caractéristiques techniques | Puissance lampe | Localisation | Constat |
|------|---|-------------------------|-----------------------------|--|
| E7 | Trilux ou équivalent Réf. : 39/12 RAV/1 × 28/54 Tenue au feu : 950°C Ballast : Électronique I.P. – IK : 20 | 1 × 54 W | Salle de cours suivant plan |  |
| E8 | Trilux ou équivalent Réf. : Génus Tenue au feu : 850°C Ballast : Électronique I.P. – IK : 65 | 2 × 26 W | Local technique – placard | Pas de photo |
| E9 | Epsilon ou équivalent Réf. : Larrau I.P. – IK : 20 – 07 Tenue au feu : 960°C Ballast : Électronique | 1 × 26 W | Cage d'escalier |  |
| E10 | Epsilon ou équivalent Réf. : Lucane I.P. – IK : 65 – 07 Tenue au feu : 960°C Ballast : Électronique | 1 × 70 W – 1 × 150 W | Extérieur | Pas de photo |

Commandes

| Mode de fonctionnement de la gestion de l'éclairage | Commande |
|---|---|
| Allumage volontaire manuel par poussoir |  |
| Détecteur autonome encastré en faux-plafond |  |

Il n'a pas été relevé de divergence entre l'éclairage décrit dans le DCE et ce qui a été effectivement installé.

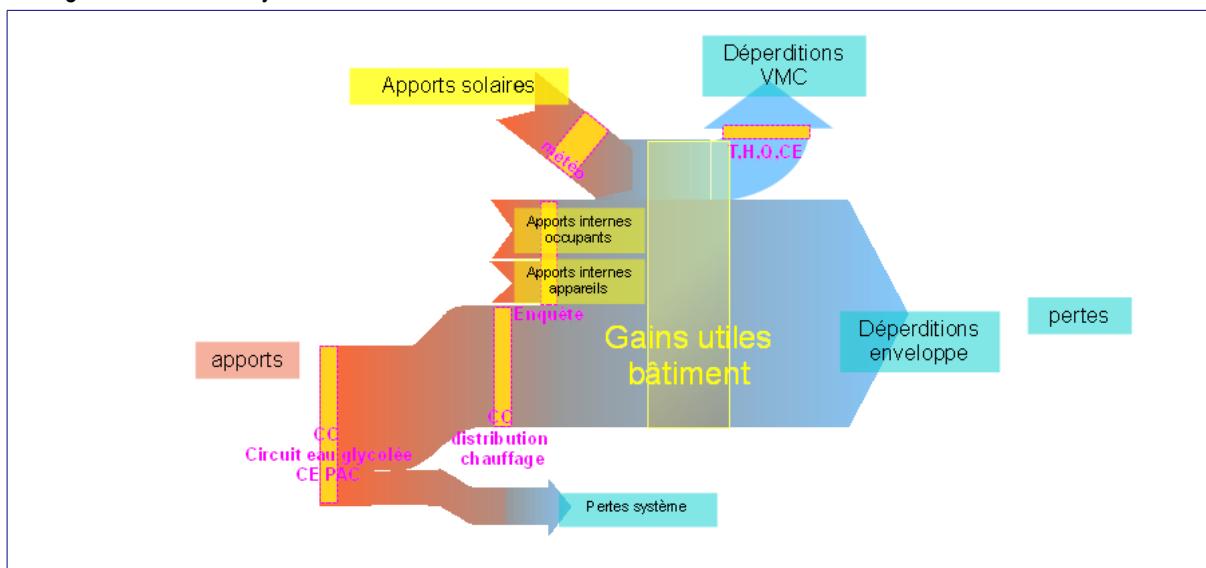
5 - Phase 3 : suivi de l'exploitation du bâtiment

5.1 - Protocole de suivi

Le chapitre ci-dessous décrit le protocole d'instrumentation tel que mis en place à la fin du chantier afin d'effectuer deux années de recueil de données au pas de temps horaire.

5.2 - Analyse du fonctionnement thermique du bâtiment

De l'analyse des apports et des pertes d'énergie du système « bâtiment » pour l'école de Saint-Viance, il résulte le diagramme de Sankey suivant :



| Légende | |
|---------|------------------------|
| T | Température intérieure |
| H | Hygrométrie intérieure |
| Q | Débit d'air extrait |
| CE | Compteur électrique |
| PAC | Pompe à chaleur |
| CC | Compteur de calories |

Sur la base du diagramme de Sankey les différents postes d'instrumentation sont définis et localisés.

5.2.1 - Instrumentation du poste chauffage

Le chauffage du corps de bâtiment rénové est assuré par la PAC géothermale à sondes verticales, couplée au plancher chauffant, complétée par des convecteurs électriques d'appoint pour les locaux annexes situés en R+2.

Énergie thermique dissipée dans les planchers chauffants

Un compteur de calories est positionné sur le circuit départ/retour alimentant les vannes des différents planchers chauffants. Les points de comptage sont placés au plus près de la pompe à chaleur. La partie du compteur mesurant le débit est placée sur le circuit retour des planchers chauffants, après le ballon de stockage.



Compteur d'énergie thermique des circuits de chauffage (planchers chauffants)

Énergie thermique captée dans le sous-sol

Un compteur de calories est positionné sur le circuit départ/retour d'eau glycolée circulant dans les sondes géothermales verticales. Ce compteur permet d'évaluer la quantité d'énergie prélevée à la source froide pour chauffer le bâtiment.



Compteur d'énergie thermique du circuit des sondes géothermiques

Consommation électrique de la pompe à chaleur et de ses auxiliaires

La consommation électrique de la pompe à chaleur et de ses auxiliaires (compresseur de la pompe à chaleur, circulateurs, pompes, régulation, etc.) est relevée au moyen d'un sous-compteur à impulsions sur l'armoire

électrique de la pompe à chaleur.



Sous-compteurs électriques (en bleu) de l'armoire électrique de la PAC

Consommation électrique du chauffage d'appoint

La consommation électrique liée au chauffage du R+2 (convecteurs électriques utilisés en appoint) est relevée sur le tableau général de l'école au moyen d'un sous-compteur à impulsions.

5.2.2 - Instrumentation du poste ventilation

Consommation électrique de la ventilation

La consommation électrique des auxiliaires de ventilation est relevée dans l'armoire électrique de la chaufferie au moyen d'un sous-compteur à impulsions.

Débit de l'air extrait

Afin d'évaluer les pertes d'énergies liées au renouvellement d'air, le débit d'air doit être connu. La vitesse du ventilateur étant asservie au taux de CO₂ dans les salles de classe, la vitesse d'air mesurée dans la gaine d'extraction de la VMC sera récupérée. La valeur sera corrélée à des mesures de débit ponctuelles aux bouches de ventilation.

5.2.3 - Instrumentation du poste éclairage

Le comptage de l'ensemble des départs d'éclairage est effectué sur le tableau général de l'école au moyen d'un sous-compteur impulsionnel effectuant un relevé horaire.

5.2.4 - Ambiances extérieures et Intérieures

Mesure de la température et de l'hygrométrie dans les salles de classe

Dans chaque salle de classe, l'évaluation du confort thermique des occupants du bâtiment est effectuée en s'appuyant sur la mesure de la température (T), et de l'hygrométrie (H). Dans chaque salle de classe, un capteur est placé sur une cloison intérieure, à environ 1,50 m du sol à l'écart du rayonnement direct, des courants d'air, des sources de chaleur et de la proximité des occupants. Ces capteurs enregistrent la température et l'hygrométrie toutes les 10 minutes et réalisent ensuite une moyenne horaire stockée sur leur mémoire interne.



Mesure des conditions météorologiques extérieures

Pour quantifier les conditions extérieures au bâtiment, une station météorologique a été installée. Cette station enregistre la mesure des grandeurs suivantes :

- température et hygrométrie extérieure,
- rayonnement solaire diffus et direct sur un plan horizontal,
- vitesse du vent,
- direction du vent.

Le terrain avoisinant l'école ne satisfaisant pas les recommandations d'exposition des capteurs formulées par l'organisation mondiale de météorologie, et ne présentant pas des conditions satisfaisantes de sécurité, la station météorologique a été installée sur un terrain des services techniques municipaux situé à proximité.



Vue générale de l'implantation de la station météo

5.3 - Caractéristiques techniques des éléments de l'instrumentation

5.3.1 - Compteurs de calories

Le comptage de l'énergie dissipée sous forme de chaleur se fait par un compteur de calories, équipé de deux sondes de températures dont une est directement intégrée dans la partie hydraulique du compteur. Il faudra prévoir une section droite de 10 fois le diamètre de la canalisation pour l'installation du compteur de calories.

Le choix du compteur de calories se fait en fonction du débit de la canalisation.

Précision :

- Plage de température : au minimum 5°C à 90°C
- Classe de précision : classe 1
- Classe d'environnement : classe B.

5.3.2 - Compteurs électriques

Des compteurs électriques de classe 1 sont préconisés, avec un poids d'impulsion de 1 Watt heure par impulsion.

5.3.3 - Capteurs de température et d'hygrométrie relative

Les caractéristiques de ces capteurs autonomes sont les suivantes :

Plage de mesure pour sorties 0 – 10 V :

- Température : au minimum 5°C - 40°C

- Humidité relative : 25% à 95% à 20°C

Précision de la mesure :

- Température : +/- 0,35°C à 20°C (possibilité jusqu'à +/- 0,8°C à 20°C)
- Humidité relative : à 20°C avec +/- 3 % hr [40... 60%],

Les capteurs installés sont de type Onset HOBO U12-012.

5.3.4 - Station météorologique

La précision des différents capteurs utilisés sur la station météo est la suivante :

| Mesure | Précision | Résolution | Mesure minimale | Mesure maximale |
|-----------------|--------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Vitesse du vent | ± 0,5 m/s | 0,19 m/s | 0,5 m/s | 54 m/s |
| Pyranomètre | ± 10 W/m² ou ± 5% | 1,25 W/m² | 0 W/m² | 1280 W/m² |
| Température | ± 0,35°C à 25°C | 0,4°C à 25°C | -40°C | 75°C |
| Hygrométrie | ± 3% de 0°C à 50°C | 0,5% à 25°C | 0,00% | 100,00% |

6 - Conclusion intermédiaire

Le suivi de l'opération de réhabilitation thermique de l'école de Saint-Viance présente un grand intérêt dans la mesure où il s'agit d'une rénovation thermique d'une école avec des caractéristiques architecturales à préserver, tout en présentant un potentiel de reproductibilité fort (école de type « Jules Ferry », dont il existe beaucoup de modèles similaires en France).

Les solutions mises en œuvre sur le chantier se sont très peu écartées de ce qui était prévu dans le dossier déposé à l'appel à projets ADEME Limousin « Rénovation Énergétique de Bâtiments tertiaires ». Les principales modifications concernent de légères variations de performances de matériaux ou équipements mis en œuvre, allant la plupart du temps vers une meilleure performance. Toutefois, la mise en œuvre sur le chantier a révélé quelques difficultés : mise en œuvre des isolants dans les points singuliers, traitement de l'étanchéité à l'air sur un bâtiment dont la structure est antérieure à 1914. De même, la coexistence de réglementations aux intérêts contradictoires a conduit à des contre-performances sur le plan thermique : trémie d'ascenseur fortement déperditive, portes anti pince-doigt pas du tout étanches à l'air, pour les exemples les plus emblématiques. La forte implication et la motivation des acteurs de terrain est tout de même à souligner, sachant que pour la plupart des entreprises, il s'agissait de leur premier chantier sur une rénovation « basse consommation ».

L'instrumentation a été mise en place mi-septembre 2013. Le paramétrage a permis un début de la campagne de suivi le 12 décembre 2013. Certains compteurs ont subi un dysfonctionnement important jusqu'en mars 2014 période à laquelle l'entreprise Deltadore est revenue faire une intervention. Le format d'envoi des données par messagerie ne permet pas d'avoir une vue globale des consommations sans un traitement lourd des données.

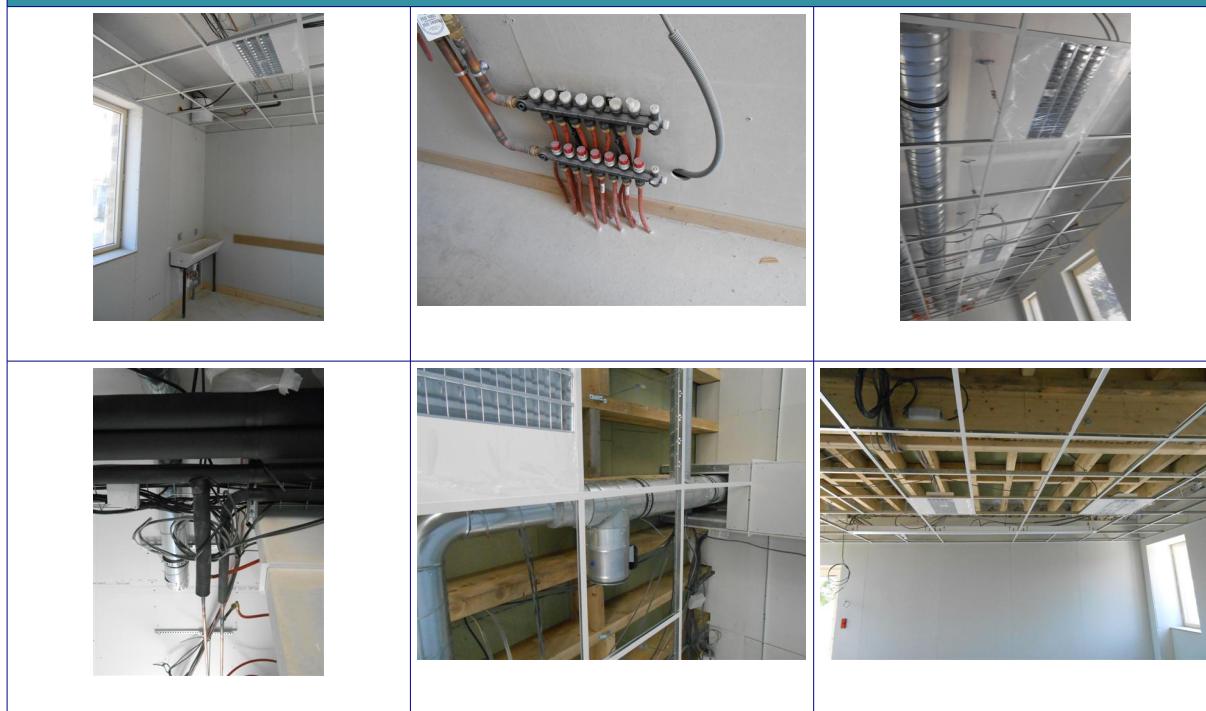
Un premier bilan montre qu'il subsiste des interrogations quant au bon paramétrage des compteurs d'éclairage et de ventilation au regard des courbes de puissance observées.

Annexes

Annexe a - Photos de chantier



Juin 2013

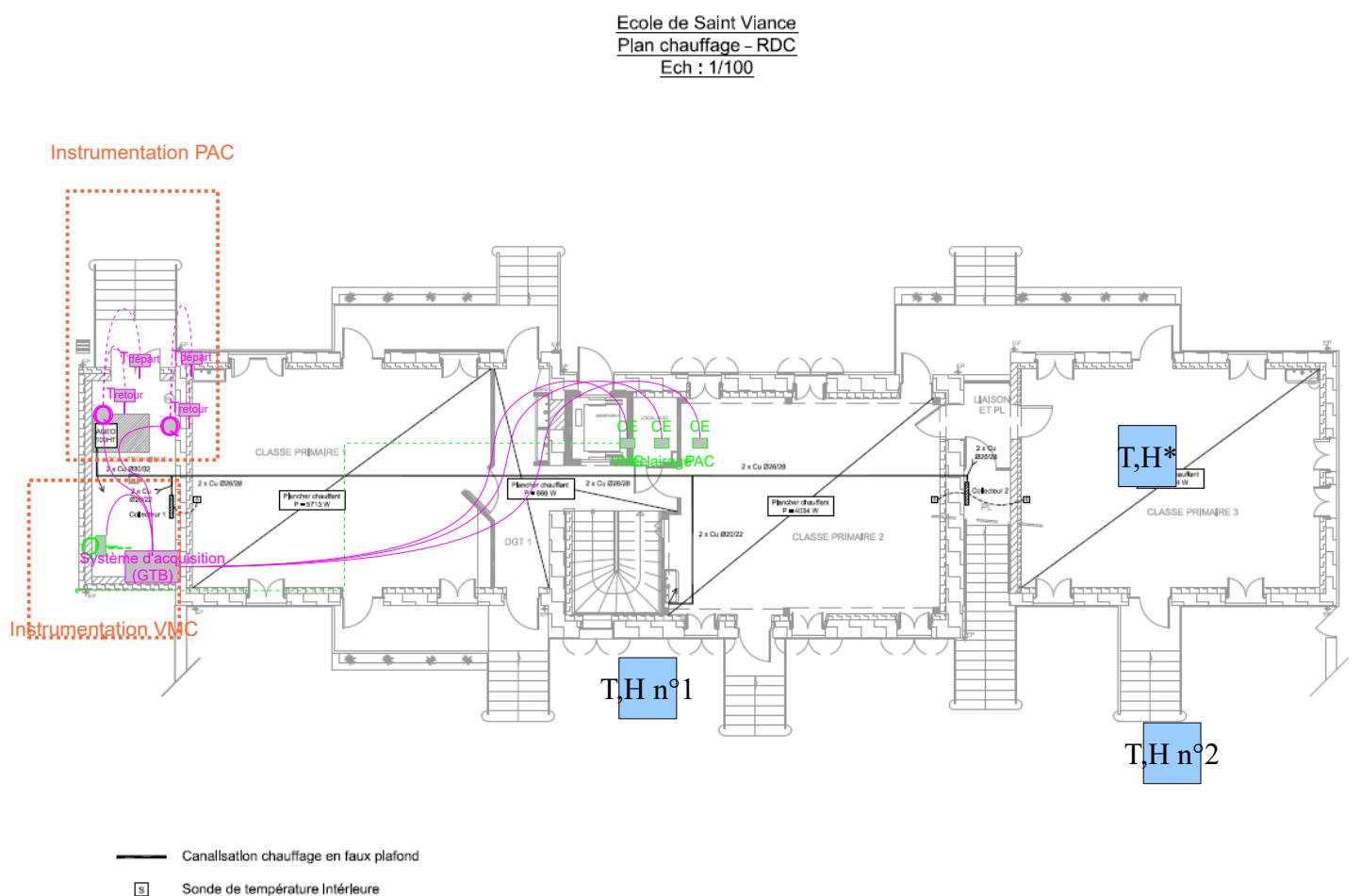


Juillet/septembre 2013



Annexe b - Plans d'instrumentation

Rez-de-chaussée



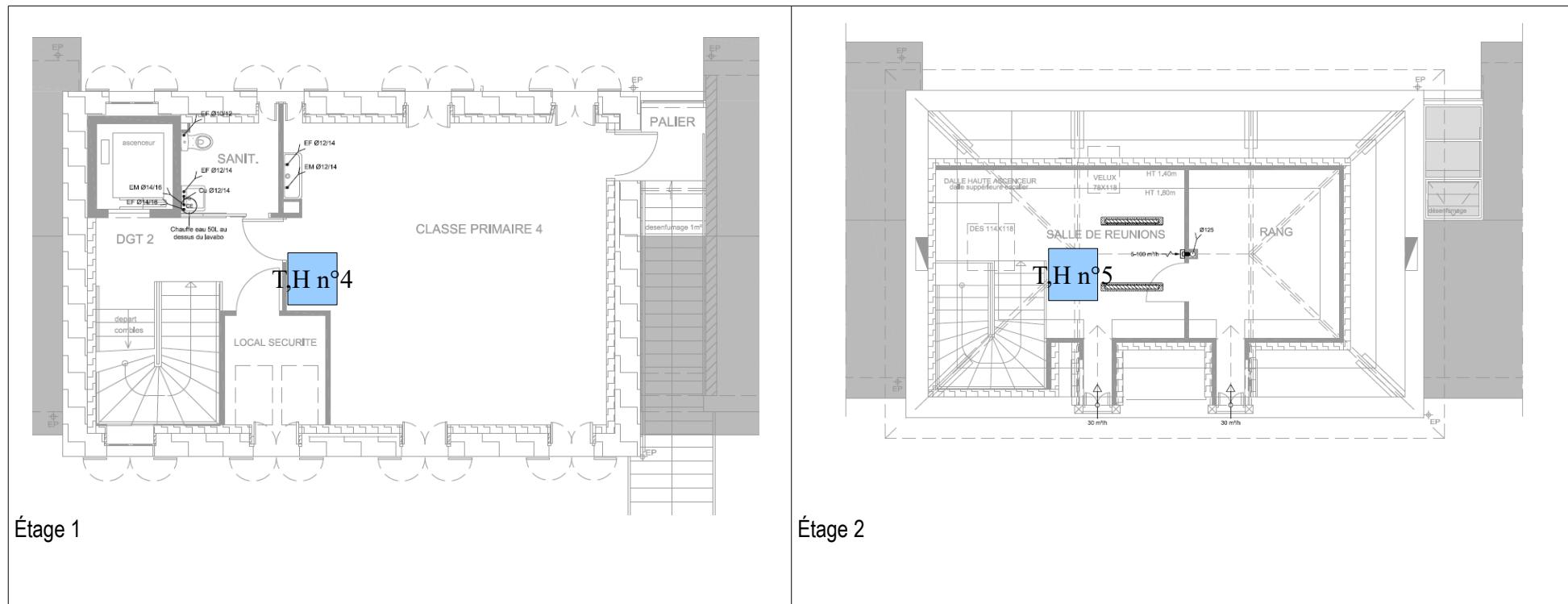
Q Compteur d'énergie – mesure du débit circuit

CE Sous-compteur électrique sur tableau correspondant

T Sonde de température /hygrométrie

Station météo*

T,H n°3





Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Département Laboratoire de Clermont-Ferrand - ZI du Brézet

8 à 10, rue Bernard-Palissy

63 017 CLERMONT-FERRAND CEDEX 2 - +33 (0)4 73 42 10 10

Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30

Établissement public - Siret Siret - TVA Intracommunautaire : FR 94 130018310 - www.cerema.fr