

Rapport

Analyse finale du suivi PREBAT

Gymnase de Saint-Léonard-de-Noblat

Novembre 2017



ADEME Nouvelle-Aquitaine
Site de Limoges
38ter, avenue de la Libération - BP 20259 - 87 007 LIMOGES Cedex

Analyse finale du suivi PREBAT

Gymnase de Saint-Léonard-de-Noblat

Objet : Instrumentation et suivi de performance énergétique et du gymnase de Saint-Léonard-de-Noblat (Haute-Vienne).

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
V0	Septembre017	Rédaction initiale
V1	Novembre 2017	Rédaction définitive

Affaire suivie par

Laurent SELVE - DLCF – Unité CGM/ECA
Tél. : 04 73 42 10 71 / Fax : +33 (0)4 73 42 10 01
Courriel : laurent.selve@cerema.fr
Avec la participation de : Olivier BONNEAU
Cerema Centre-Est ZI du Brézet - 8 à 10, rue Bernard-Palissy - 63 017 CLERMONT-FERRAND CEDEX 2

Références

N° d'affaire : C15LP0086-07

Maître d'ouvrage : Michèle DEBAYLE, Directrice Régionale déléguée

Convention n°1104C0063

Signatures

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Laurent SELVE Chargé d'études bâtiment durable	24/11/2017	
Contrôlé par	Pilar LESAGE Responsable de l'Unité Eco-construction et Acoustique	30/11/2017	
Approuvé par	Alexandre CUER Chef du Groupe Construction Mobilité		
Validé par	Roland COTTE Directeur du Département Laboratoire de Clermont-Ferrand		

Communicabilité

Contrôlée (communiquée uniquement avec l'autorisation du commanditaire a posteriori)

Liste des destinataires

Contact	Adresse	Nombre – Type
Michèle DEBAYLE, Directrice Régionale déléguée	ADEME Nouvelle-Aquitaine Site de Limoges 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

Résumé de l'étude

Le suivi des consommations réalisé sur la période 2015-2017 permet d'avoir une vision assez précise du comportement du bâtiment et de sa performance énergétique globale. Le niveau de performance enregistré au cours de ces deux années de suivi est inférieur à celui du calcul théorique réglementaire. Il est toutefois meilleur que celui du bâtiment de référence de la réglementation thermique. Au-delà des performances des systèmes ou de l'enveloppe du bâtiment, moins bonnes qu'attendues, les principales raisons de la surconsommation sont liées à une utilisation du gymnase et une température de consigne de l'aire de jeu plus importantes que celles prévues par la réglementation.

Le bâtiment est globalement confortable en hiver mais un certain inconfort peut être ressenti lors des épisodes de 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 21 ans.

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 -Période considérée 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 -Apports solaires.....	11
2.4 -Analyse de l'enveloppe.....	13
2.4.1 -Méthodologie et hypothèses.....	13
2.4.2 -Résultats obtenus sur l'indicateur Ubât.....	13
2.5 -Analyse du confort hiver/été.....	15
2.5.1 -Locaux suivis.....	15
2.5.2 -Présentation des résultats.....	16
2.5.3 -Confort d'hiver.....	19
2.5.4 -Confort d'été.....	23
2.6 -Analyse du fonctionnement des systèmes chauffage et eau chaude sanitaire.....	29
2.6.1 -Production de chauffage.....	29
2.6.2 -Distribution du chauffage.....	31
2.6.3 -Production d'eau chaude sanitaire.....	31
2.6.4 -Consommation globale d'éclairage.....	33
2.7 -Analyse des consommations des Auxiliaires.....	34
2.7.1 -Auxiliaires de chauffage et ECS.....	34
2.7.2 -Auxiliaires de ventilation.....	35
2.8 -Consommations recalées.....	37
2.9 -Consommations corrigées.....	37
2.9.1 -Correction de la température de consigne.....	38
2.9.2 -Correction de l'indicateur de perméabilité à l'air du bâtiment.....	38
2.9.3 -Correction du coefficient de performance de la pompe à chaleur.....	39
2.9.4 -Correction avec le Ubât réel.....	39
2.9.5 -Correction avec le besoin en ECS réel.....	39
2.9.6 -Étude de sensibilité du Ubât sur le Cep.....	40
2.9.7 -Étude de sensibilité sur la température de consigne.....	40
2.9.8 -Synthèse des corrections.....	41
3 -Seconde année de suivi.....	43
3.1 -Relevés et analyses des consommations brutes.....	43
3.1.1 -Période considérée pour l'analyse des données.....	43
3.1.2 -Analyse globale des données – bilan des consommations.....	43
3.2 -Analyse de l'occupation.....	44
3.3 -Apports solaires.....	44
3.4 -Analyse de l'enveloppe.....	46
3.4.1 -Méthodologie et hypothèses.....	46
3.4.2 -Résultats obtenus sur le coefficient Ubât.....	46
3.5 -Analyse du confort hiver/été.....	47
3.5.1 -Locaux suivis.....	47
3.5.2 -Présentation des résultats.....	47
3.5.3 -Confort d'hiver.....	47
3.5.4 -Confort d'été.....	51
3.6 -Analyse du fonctionnement des systèmes chauffage et eau chaude sanitaire.....	58
3.6.1 -Production de chauffage.....	58

3.6.2 -Distribution du chauffage.....	59
3.6.3 -Production d'eau chaude sanitaire.....	60
3.6.4 -Consommation globale d'éclairage.....	61
3.7 -Analyse des consommations des auxiliaires.....	63
3.7.1 -Auxiliaires de chauffage et ECS.....	63
3.7.2 -Auxiliaires de ventilation.....	63
3.8 -Consommations recalées.....	64
3.9 -Consommations corrigées.....	66
3.9.1 -Correction de la température de consigne.....	66
3.9.2 -Correction de l'indicateur de perméabilité à l'air du bâtiment.....	66
3.9.3 -Correction du coefficient de performance de la pompe à chaleur.....	67
3.9.4 -Correction avec le Ubât réel.....	67
3.9.5 -Correction avec le besoin en ECS réel.....	67
3.9.6 -Synthèse des corrections.....	68
4 -Analyse économique.....	70
4.1 -Objectifs.....	70
4.2 -Données et hypothèses considérées.....	70
4.3 -Résultats.....	72
5 -Bilan général et conclusion.....	73
Annexes.....	75
Annexe A - Cahier de suivi de l'opération.....	75

1 - Contexte et objectifs de l'étude

1.1 - Contexte

Le présent rapport présente l'analyse des données recueillies durant deux années (juin 2015 à juin 2017), issues de l'instrumentation réalisée dans le cadre du suivi PREBAT du gymnase de la commune de Saint-Léonard-de-Noblat, en Haute-Vienne. 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.

Les premières phases font l'objet du cahier de suivi de l'opération joint en annexe A, qui comprend notamment :

- les protocoles de suivi,
- l'analyse de l'étude thermique et du DCE,
- le suivi de chantier.

Le cahier de suivi est accompagné d'un dossier de photographies complété au fur et à mesure de la conduite de l'étude.

1.2 - Objectifs de l'étude

L'étude vise à :

- **situer les performances réelles** des bâtiments construits par rapport aux exigences de l'appel à projets, par rapport aux performances prévisionnelles en matière d'énergie et de confort (données du programme et données de conception) et par rapport à une solution strictement conforme à la réglementation en vigueur ;
- **analyser et expliciter les différences** entre ces performances, notamment en relevant les écarts constatés dans les marchés des entreprises, dans la mise en œuvre et à la livraison des bâtiments par rapport aux données du programme ;
- **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, par l'analyse des performances calculées et réelles ;
- **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 analyses de données présentées par la suite portent sur les données enregistrées entre le 8 juin 2015 et le 31 mai 2017. 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 - Période considérée pour l'analyse des données

Les travaux du gymnase ont été terminés au mois de juin 2014.

L'instrumentation nécessaire au suivi de performance énergétique du gymnase de Saint-Léonard-de-Noblat est constituée pour partie, par des compteurs utilisés pour la télégestion du bâtiment (GTB), installés par l'entreprise SECB, et dont le paramétrage a été assuré par la société Siemens. D'autre part, l'instrumentation est complétée par des capteurs autonomes (température, hygrométrie) et une station météo installés par le Cerema.

De nombreuses difficultés liés à la mise en service de la connexion internet et au paramétrage de la GTB ont différé le démarrage de l'acquisition de données de 12 mois. Le système d'acquisition est entré en fonction de manière effective le 5 juin 2015.

Les analyses de données présentées par la suite portent sur les données enregistrées entre le 8 juin 2015 et le 6 juin 2016.

Les analyses concernant les performances des systèmes de chauffage et de l'enveloppe portent sur la période la plus froide comprise entre le 30 novembre 2015 et le 20 mars 2016.

Problèmes rencontrés

Malgré les différentes interventions réalisées sur le système d'acquisition des données, plusieurs problèmes de mesure ont été rencontrés au cours de la première année de suivi :

- absence de données du 01/07/2015 à 2h au 06/07/2015 à 16h inclus ;
- absence de données du 22/03/2016 à 11h au 22/03/2016 à 16h inclus ;
- absence de données de température de l'automate de régulation et de télégestion du 01/02/2016 2h au 29/02/2016 à 23h ;
- absence de données du capteur autonome numéro 4 à partir du 28/04/2016 ;
- absence de données du compteur gaz ECS antérieurement au 21 juillet 2015.

Sur les périodes manquantes, la consommation a été répartie avec les valeurs des index précédents et suivants.

L'automate de régulation et de télégestion relève les températures tous les quarts d'heure. Une moyenne horaire est faite afin de pouvoir harmoniser les analyses au pas de temps horaire.

Plusieurs problèmes de paramétrage ou de poids d'impulsion des compteurs ont également été relevés. Les comptages des consommations ont dû corrigés selon les règles suivantes :

- pour le compteur gaz chaudière et ECS : Valeur réelle (m^3) = Valeur mesurée $\times 10^{-2}$
- pour le compteur d'eau : Valeur réelle (m^3) = Valeur mesurée $\times 10$
- pour le compteur électrique de la chaufferie : Valeur réelle (kWh) = Valeur mesurée $\times 10^{-1}$
- pour le compteur électrique aval de la pompe à chaleur : Valeur réelle (kWh) = Valeur mesurée $\times 10^5$
- pour le compteur d'énergie thermique départ aérotherme : Valeur réelle (kWh) = Valeur mesurée $\times 10$.

Après le 27/02/2016, les données concernant l'humidité relative sur le capteur n°4 sont anormalement basses.

Le capteur enregistre des valeurs en 10% et 20% alors les autres capteurs de l'aire de jeu affichent des valeurs de l'ordre de 40% à 50%.

2.1.2 - Analyse globale des données – bilan des consommations

Méthodologie

Les résultats présentés ci-après ont été obtenus avec l'outil d'interprétation « Analyse du Cep avec le moteur T-H-CEx ». Cet outil permet de comparer les mesures de consommation d'énergie poste par poste (chauffage, eau chaude sanitaire (ECS), éclairage, auxiliaires) aux consommations calculées réglementaires. Pour cela, les consommations réglementaires sont recalculées après correction des données d'entrées du bâtiment et de ses systèmes (étanchéité à l'air, $U_{\text{bât}}$, rendement, etc.) et après correction des conventions (météo, apports internes, température de consigne, etc.). On se base sur les sorties des outils « Bilan thermique de l'enveloppe », « Analyse des systèmes », « Analyse de l'occupation » et « Analyse du confort d'hiver » et sur les mesures climatiques et de consommation présentées dans les parties suivantes.

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

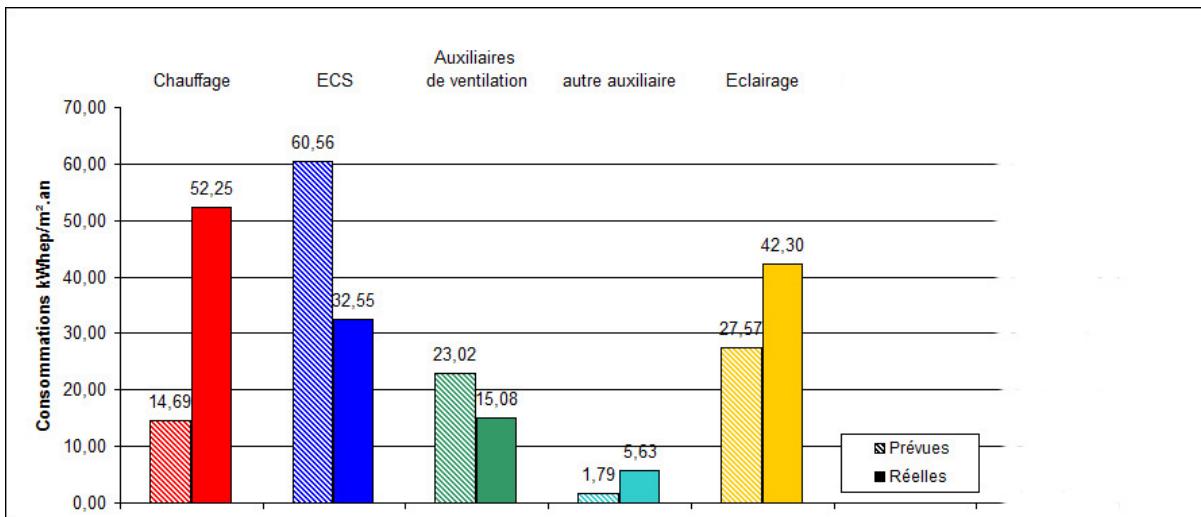


Tableau bilan	Consommations (kWep.h/m ² .an)		
	Prévues	Réelles	Référence
Chauffage	14,69	52,25	
ECS	60,56	32,55	
Auxiliaires de ventilation	23,02	15,08	

Auxiliaires de chauffage et ECS	1,79	5,63	
Éclairage	27,57	42,30	
TOTAL	127,63	147,80	221,27

Les consommations globales sont 15,81% plus élevées que les consommations calculées. Elles restent cependant très nettement inférieures au Cep de référence de la Réglementation Thermique (gain de 33,20%).

Les consommations de chauffage sont très supérieures aux consommations calculées (+256,63%). Plusieurs raisons peuvent l'expliquer :

- une isolation de l'enveloppe différente entre le calcul et la réalité (écart sur le coefficient $U_{bât}$) ;
- des rendements des équipements différents entre calcul et réalité ;
- une température de consigne différente de celle du calcul réglementaire ;
- l'usage du bâtiment ainsi que l'impact des occupants (ouverture des fenêtres par exemple) ;
- un hiver plus froid que celui utilisé par le moteur de calcul.

La consommation des auxiliaires de chauffage et d'ECS est également supérieure aux résultats des calculs réglementaires (+214,52 %). Plusieurs raisons peuvent l'expliquer :

- une consommation des auxiliaires qui augmente en fonction des consommations de chauffage et d'ECS ;
- un fonctionnement des auxiliaires en continu (exemple : circulateur de chauffage en dehors des périodes de chauffe).

Les consommations d'éclairage sont également plus importantes que prévu (+ 53,42%).

La consommation d'énergie nécessaire à la production d'eau chaude sanitaires est pour sa part très nettement inférieure aux données du calcul réglementaire (- 46,25 %). Plusieurs raisons peuvent l'expliquer :

- une meilleure performance des systèmes ;
- l'usage du bâtiment.

Enfin, les consommations réelles des auxiliaires de ventilation sont inférieures aux données du calcul réglementaire (-34,47%).

L'objectif du suivi et de l'analyse effectuée dans ce chapitre est d'expliquer les différents écarts constatés.

2.2 - Analyse de l'occupation

L'absence d'informations sur l'occupation du bâtiment (nombre d'occupants, horaires d'occupation, périodes de fermeture du bâtiment) ne permet pas de bâtir un scénario réel d'occupation. Aussi n'est-il pas possible, pour cette première année de suivi, d'analyser la performance du bâtiment au regard des éléments que sont l'occupation et les apports internes.

Cependant, et afin d'obtenir une première approche du niveau de performance de l'enveloppe, un scénario d'occupation est considéré à partir des hypothèses suivantes :

Population du bâtiment : 20 enfants, 20 adultes

Activité de la population	Repos, couché	Repos, assis	Activité sédentaire	Activité légère, debout	Activité moyenne, debout
Pourcentage de la population adultes	0%	0%	10%	40%	50%
Pourcentage de la population adultes	0%	0%	5%	15%	80%

Le scénario retenu considère, comme le scénario conventionnel, 10h d'occupation par jour (8h – 18h avec une pause méridienne d'une heure), 5 jours par semaine (du lundi au vendredi).

On considère que le gymnase est réservé :

- aux écoles de 8h à 16h, du lundi au vendredi avec 20 élèves et 2 enseignants ;
- aux activités sportives pour les enfants 2 soirs par semaine (2 heures/soir) avec 15 enfants et 2 adultes ;
- aux activités sportives pour les adultes 3 soirs par semaine (2 heures/soir) 20 adultes.

Profil d'occupation du bâtiment pour la population adulte (en %)

Heure	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Lundi	10%	10%	10%	10%	0%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	0%
Mardi	10%	10%	10%	10%	0%	10%	10%	10%	10%	100%	100%	0%
Mercredi	10%	10%	10%	10%	0%	10%	10%	10%	10%	100%	100%	0%
Jeudi	10%	10%	10%	10%	0%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	0%
Vendredi	10%	10%	10%	10%	0%	10%	10%	10%	10%	100%	100%	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 du bâtiment pour la population enfant (en%)

Heure	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Lundi	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	75%	75%	0%
Mardi	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%
Mercredi	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%
Jeudi	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	75%	75%	0%
Vendredi	100%	100%	100%	100%	0%	100%	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%

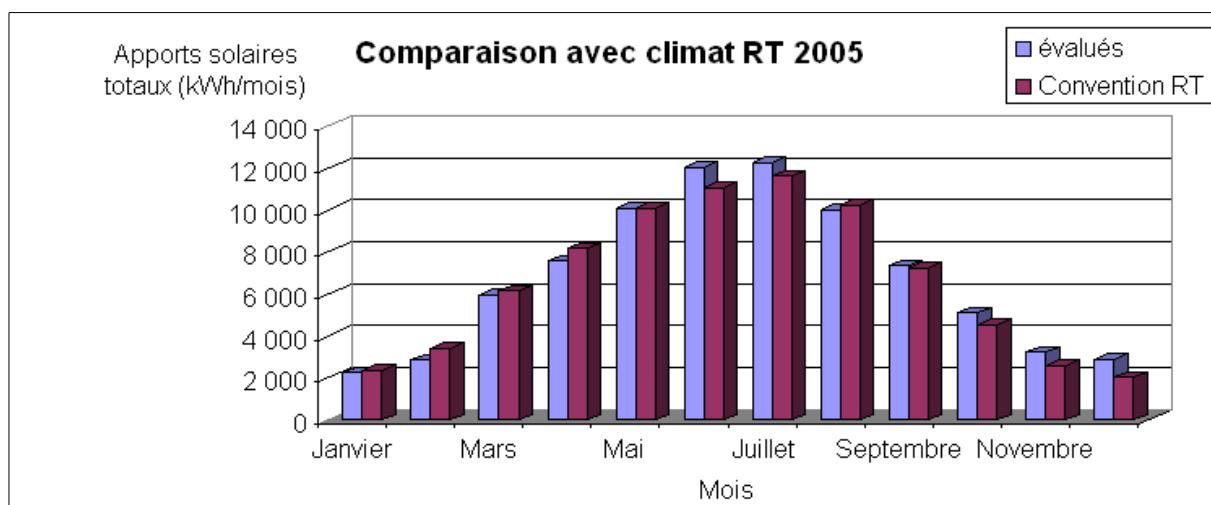
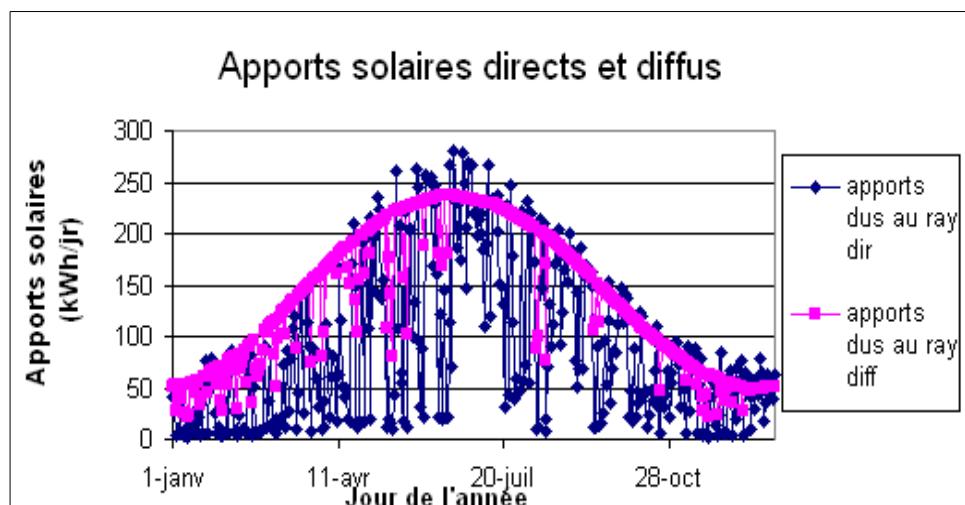
Ces différents éléments permettent d'évaluer les apports internes dus aux occupants à 114 kWh par semaine.

Des formulaires d'enquête d'occupation ont été communiqués aux services techniques de la mairie de Saint-Léonard-de-Noblat afin de préciser l'utilisation réelle du gymnase et disposer, lors de la seconde année de suivi, d'informations plus précises en vue d'une analyse plus fine.

2.3 - Apports solaires

Les données traitées couvrent une période allant du 8 juin 2015 au 6 juin 2016. Elles proviennent de la station météo installée sur le site du gymnase.

Les données sont aggrégées afin de pouvoir les comparer aux apports solaires du climat de référence (du 1^{er} janvier au 31 décembre).



Sur le graphique ci-dessus, nous constatons que les apports solaires de l'année sont très proches de ceux prévus par le climat de référence. Globalement, les apports solaires évalués sont supérieurs de seulement 2,5 % à ceux du climat de référence.

Nous pouvons cependant noter des répartitions mensuelles relativement différentes. Les mois de juin, juillet, octobre, novembre et décembre ont bénéficié d'importants apports solaires.

2.4 - Analyse de l'enveloppe

2.4.1 - 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, comme vu précédemment, nous considérons une occupation théorique. Celle-ci évalue les apports internes à 114 kWh par semaine sur l'ensemble de l'année. Les apports internes issus des équipements électriques ne sont pas comptabilisés.
- Énergie de chauffage délivrée au bâtiment : elle s'obtient à partir des compteurs de calories situés en sortie de la chaudière et de la pompe à chaleur. Ce comptage, associé à celui de la consommation de gaz pour la chaudière et d'électricité pour la PAC, permettent également d'évaluer le rendement des systèmes de production du chauffage.
- Pertes par ventilation : les débits n'ont pas été mesurés. Ils sont évalués à partir des mesures de consommation électrique des systèmes de ventilation.
- Pertes par défaut d'étanchéité : le Q4Pasurf du bâtiment n'a pas été mesuré. La valeur considérée est la valeur par défaut fixée par la méthode de calcul réglementaire T-H-CE-EX ($Q4Pasurf = 3 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$).

À partir de ces données, la seule inconnue du bilan thermique réside dans les 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 « Enveloppe » PREBAT développé par le Cerema.

2.4.2 - Résultats obtenus sur l'indicateur $U_{\text{bât}}$

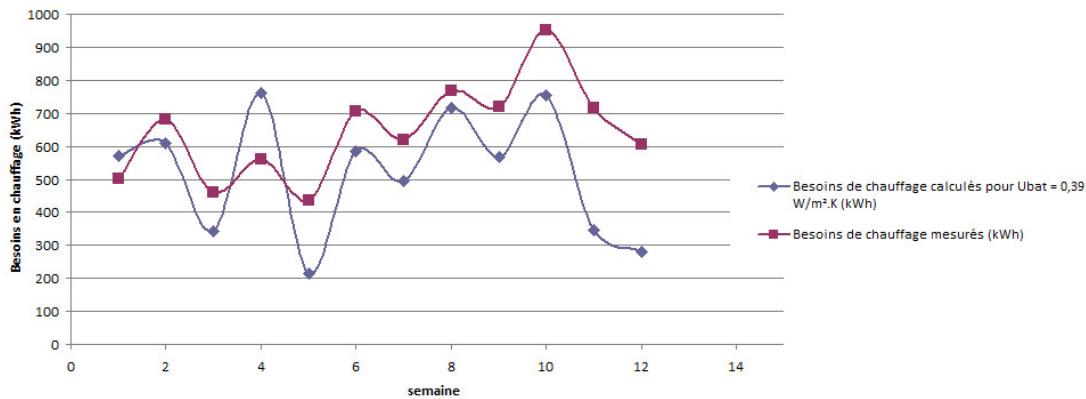
Le tableau ci-dessous donne le résultat obtenu, ainsi que le $U_{\text{bât}}$ théorique.

$U_{\text{bât}} \text{ théorique } [\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$	$U_{\text{bât}} \text{ mesuré } [\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$
0,390	0,446

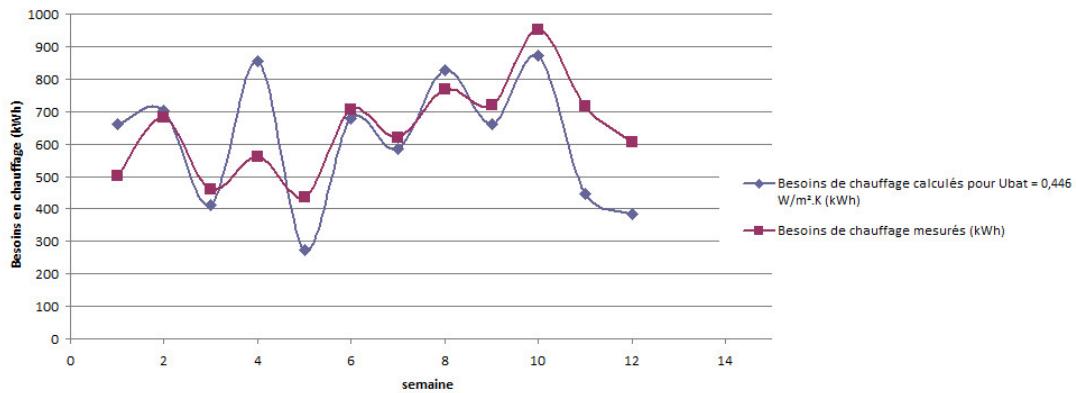
Les performances estimées de l'enveloppe sont légèrement inférieures aux performances théoriques (environ 14,36%). Elles se situent néanmoins très en dessous de la valeur du $U_{\text{bât}}$ avant travaux (0,837 W/m².K) et en dessous du $U_{\text{bâtmax}}$ (0,735 W/m².K).

Les courbes ci-après comparent, pour les semaines de début décembre 2015 à fin février 2016, 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 $U_{\text{bat}} = 0,39 \text{ W/m}^2\text{.K}$



Comparaison des besoins de chauffage mesurés et calculs pour $U_{\text{bat}} = 0,446 \text{ W/m}^2\text{.K}$



Sur ces deux graphes on voit que les deux courbes sont beaucoup plus proches avec un U_{bat} de $0,446 \text{ W/m}^2\text{.K}$ qu'avec un U_{bat} de $0,390 \text{ W/m}^2\text{.K}$.

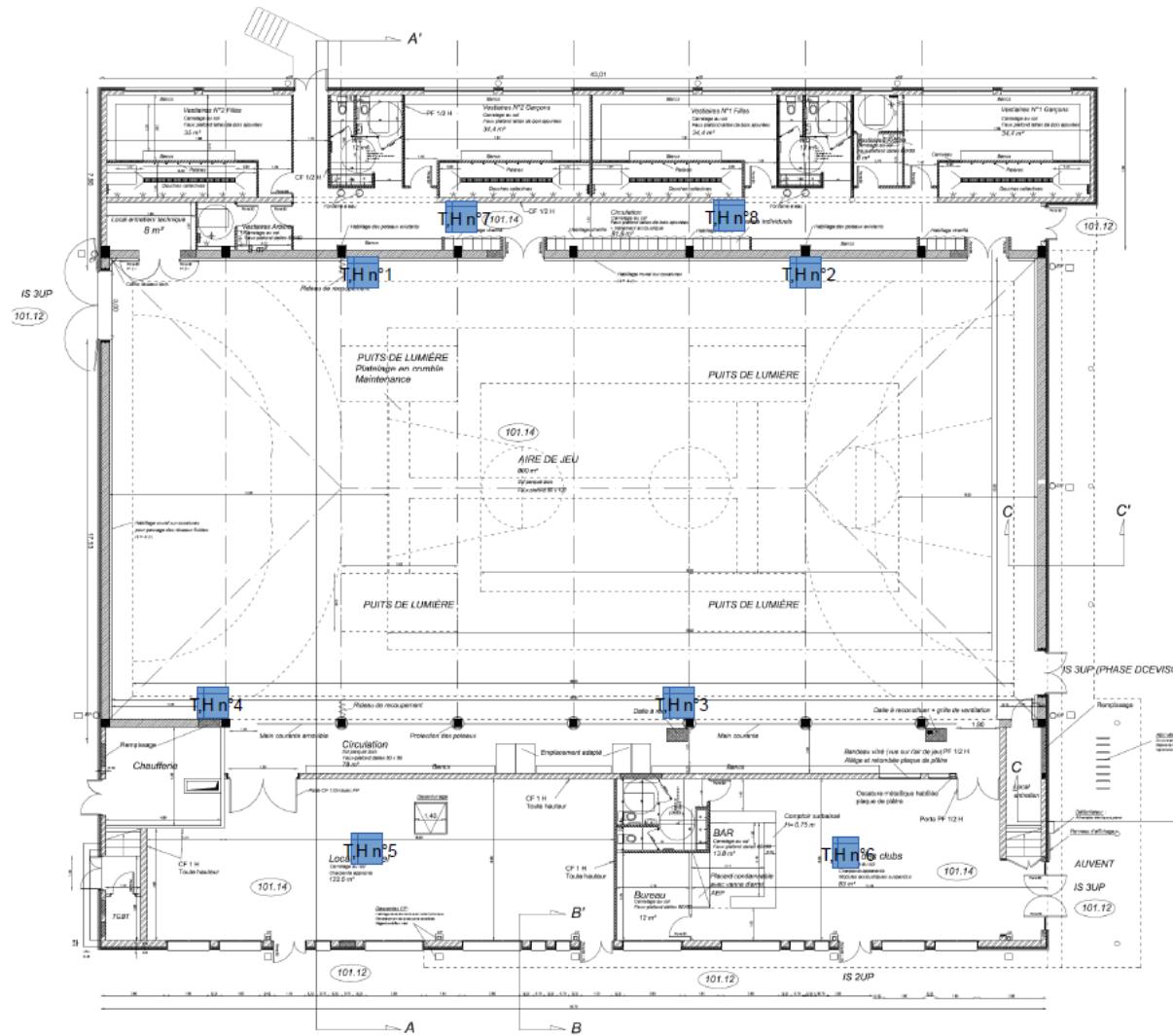
L'absence d'informations précises sur l'occupation du gymnase pendant la période de mesure introduit une part d'incertitude sur le calcul des apports internes et donc sur l'évaluation de la performance de l'enveloppe.

Pour cette première année de suivi, le U_{bat} retenu pour la poursuite de l'étude s'élève à $0,446 \text{ W/m}^2\text{.K}$ Ce dernier explique vraisemblablement une partie des surconsommations de chauffage sur l'année. **Son impact est évalué dans la suite de l'étude.**

2.5 - Analyse du confort hiver/été

2.5.1 - Locaux suivis

Plan de situation



Les locaux considérés sont les suivants :

- Aire de jeux : capteurs n°1, 2,3 et 4
- Local matériel : capteur n°5
- Salle des clubs : capteur n°6
- Vestiaires : capteurs n°7 et 8.

Lorsque les locaux suivis possèdent plusieurs capteurs, nous considérons dans les analyses ci-dessous les valeurs moyennes calculées à partir des relevés de températures et d'hygrométrie obtenus.

2.5.2 - 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 du « 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 : "Tic" estimée (non mesurée) dans des conditions de température extérieure "proches" de celles de la RT.

Les graphiques suivants sont issus des outils d'analyses et servent à illustrer les confort d'été et d'hiver.

Conditions extérieures	
Nom du graphique	Contenu du graphique
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 lesquels 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.

Conditions extérieures	
• Hiver	
Profil moyen journalier	Températures moyennes horaires de la période d'étude.
Diagramme de l'air humide (zones de confort)	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 lesquels 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 (en pourcentage) cumulées des températures mesurées au pas de temps horaire en dixième de degré.
Tint selon la température extérieure	Températures intérieures horaires de la période d'étude en fonction de la température extérieure

Conditions intérieures	
• 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 limites 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.

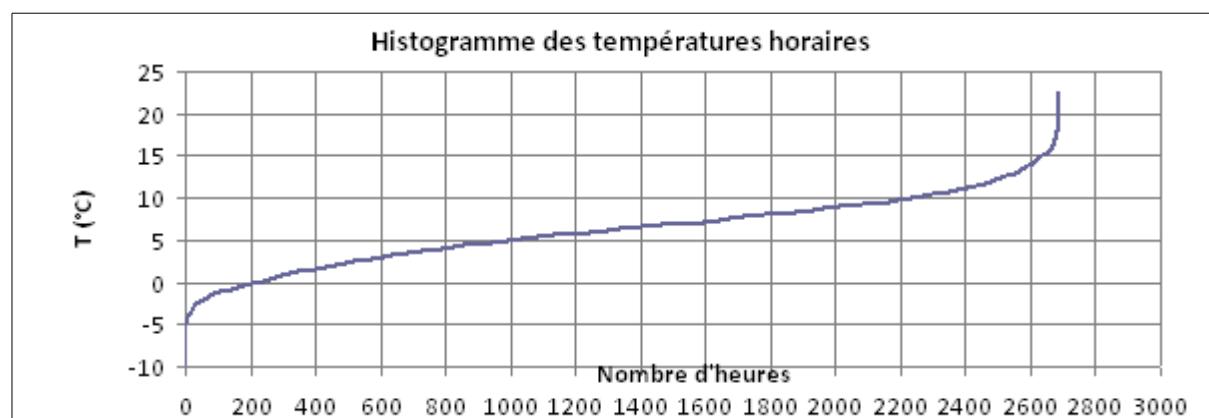
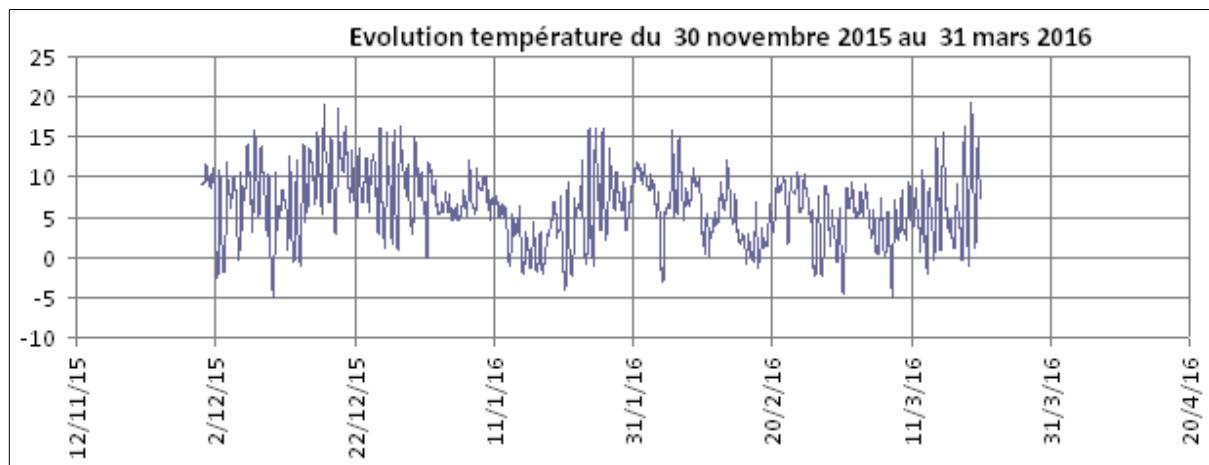
Niveaux de confort décrits par la norme NF EN 15 251

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, des 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.

2.5.3 - Confort d'hiver

Conditions extérieures

Les températures extérieures constatées du 30 novembre 2015 au 31 mars 2016 sont les suivantes :



Lors de cette première année de suivi, la période hivernale a été relativement clémence. Les températures sont négatives sur environ 200 heures et ne descendent jamais en dessous de -5°C.

Zones de confort

L'analyse du confort d'hiver est réalisée pour chaque zone à usage spécifique du gymnase. Lorsque que plusieurs capteurs de température et d'hygrométrie se trouvent dans une même zone, la moyenne des valeurs mesurées est prise en compte.

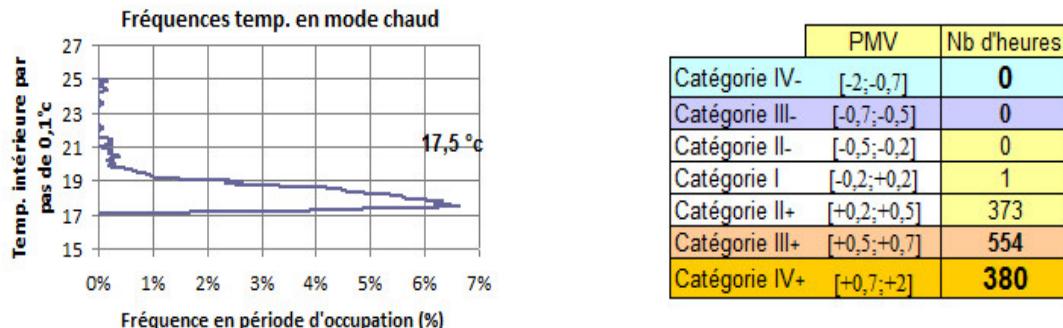
En dehors de l'aire de jeu, les valeurs pour l'activité la plus fréquente (équivalent métabolique « MET ») et pour l'habillement min/max ont été rentrées par défaut :

Habillement min (Clo min)	0,5
Habillement max (Clo min)	1,3
Activité la plus fréquente (MET)	1,2 par défaut

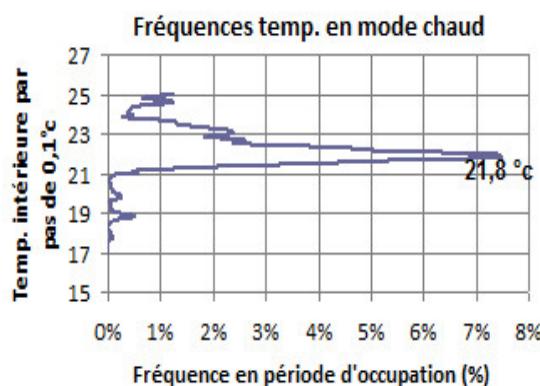
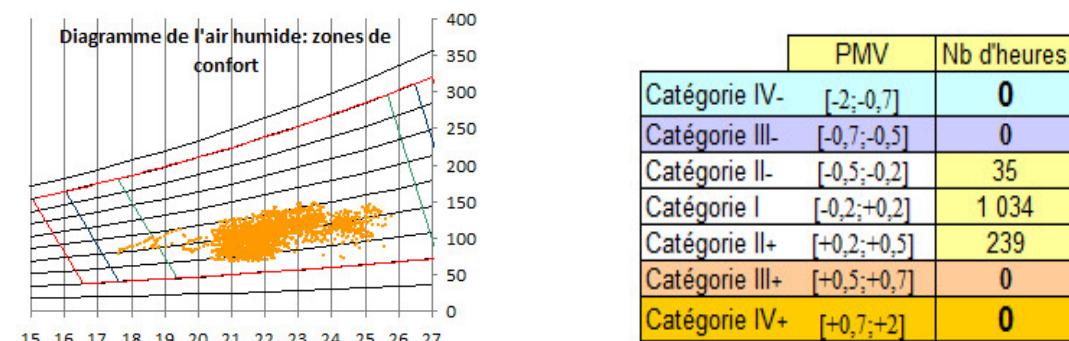
Ci-dessous figurent les résultats obtenus pour chacune des zones, au cours de la période du 30 novembre 2015 au 31 mars 2016.

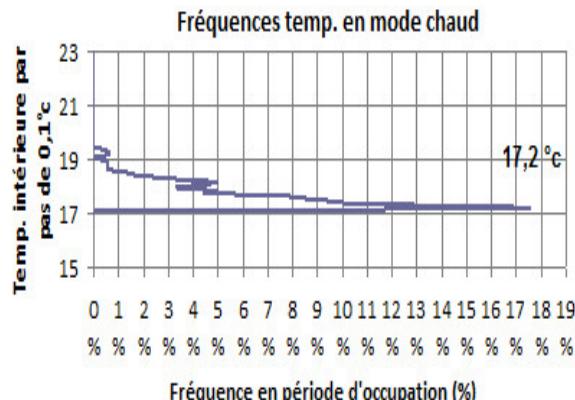
Aire de jeu (moyenne des capteurs 1, 2, 3 et 4)

L'activité considérée pour l'aire de jeu correspond à une activité marche à plat à 4 km/h. L'équivalent métabolique (MET) permettant de mesurer l'intensité d'une activité physique et la dépense énergétique est en conséquence fixé à 2,8.

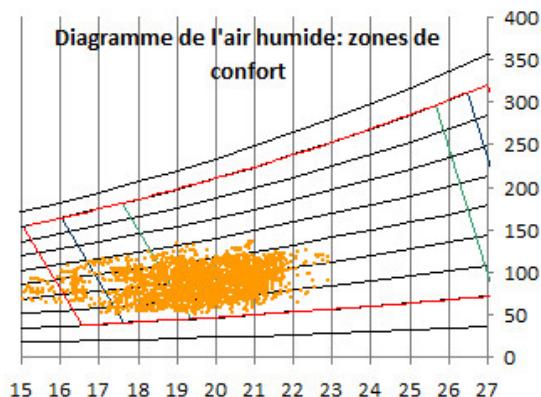
**Vestiaires (moyenne des capteurs 7 et 8)**

Sur ces graphiques 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.

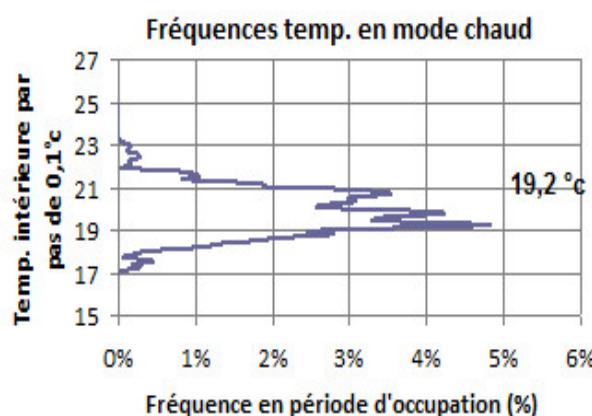


Zone de stockage

	PMV	Nb d'heures
Catégorie IV-	[-2;-0,7]	532
Catégorie III-	[-0,7;-0,5]	432
Catégorie II-	[-0,5;-0,2]	341
Catégorie I	[-0,2;+0,2]	0
Catégorie II+	[+0,2;+0,5]	1
Catégorie III+	[+0,5;+0,7]	0
Catégorie IV+	[+0,7;+2]	0

Salle des clubs

	PMV	Nb d'heures
Catégorie IV-	[-2;-0,7]	43
Catégorie III-	[-0,7;-0,5]	63
Catégorie II-	[-0,5;-0,2]	739
Catégorie I	[-0,2;+0,2]	463
Catégorie II+	[+0,2;+0,5]	0
Catégorie III+	[+0,5;+0,7]	0
Catégorie IV+	[+0,7;+2]	0



Nous relevons des conditions hygrothermiques relativement différentes d'un espace à l'autre. Globalement, les conditions mesurées semblent conformes aux usages des différents espaces (par exemple, il est tout à fait normal de retrouver une température de consigne plus élevée dans l'espace vestiaires que dans les autres espaces).

Le diagramme de confort ainsi que les PMV des vestiaires montrent que cet espace est très confortable.

Les températures enregistrées au niveau de l'aire de jeu peuvent apparaître comme légèrement élevées. Les

PMV associés à ces relevés laissent apparaître quelques heures d'inconfort. Ceci étant, ces « prévisions » ne peuvent être dissociées de l'activité pratiquée. En effet, les conditions observées semblent correspondre parfaitement à des activités sportives modérées mais semblent moins adaptées à une activité sportive intensive (MET important).

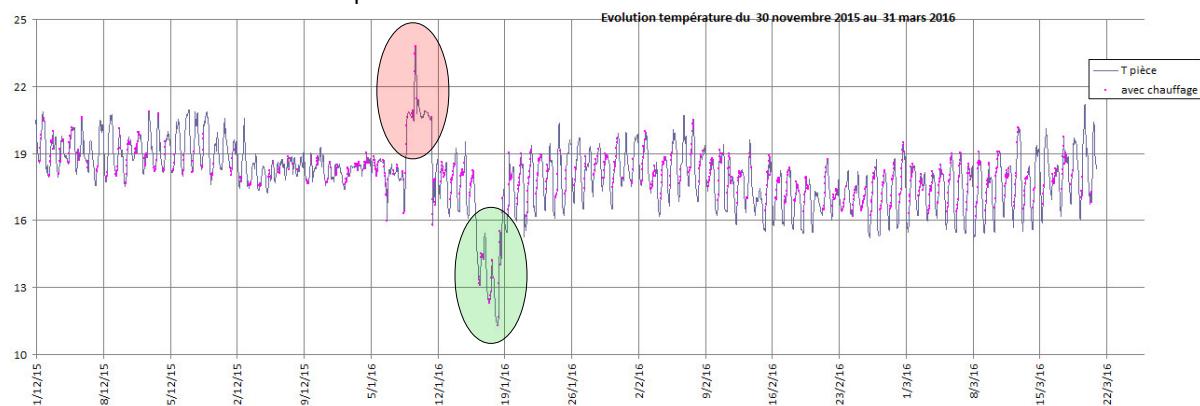
Les conditions légèrement fraîches observées dans le local de stockage ne sont pas préjudiciables.

En ce qui concerne la salle des clubs, bien que les résultats laissent apparaître un nombre non négligeable de points en dehors du polygone de confort (températures basses relevées), ces points correspondent à des périodes d'inoccupation.

Nous pouvons conclure que le confort est globalement bon dans l'ensemble du bâtiment. **Les systèmes de chauffage et la ventilation du bâtiment permettent d'assurer un bon confort hygrothermique des occupants.**

Comportement général du bâtiment

Si nous effectuons une moyenne pondérée en fonction de du volume des différentes zones analysées ci-avant nous obtenons la courbe de température suivante :



Nous visualisons parfaitement la présence d'un réduit de nuit. Des modifications de réglages ont vraisemblablement été réalisées puisque, à partir du 20 janvier, les températures de nuit sont légèrement plus basses qu'en début de période de suivi. Il est probable que les zones en rouge et vert correspondent respectivement à une modification de la température de consigne et un arrêt du chauffage.

Température de consigne mesurée au niveau du bâtiment

La température de consigne mesurée pour l'ensemble du bâtiment (pondération surfacique) s'élève à 18,4°C.

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 :

- $T^{\circ} \text{ consigne conventionnelle} = 15^{\circ}\text{C}$
- VS : Variation spatiale = 1,2°C (Classe B, locaux de 6 à 8 m de hauteur sous plafond)
- VT : Variation temporelle = 1,2°C (robinets thermostatiques certifiés)

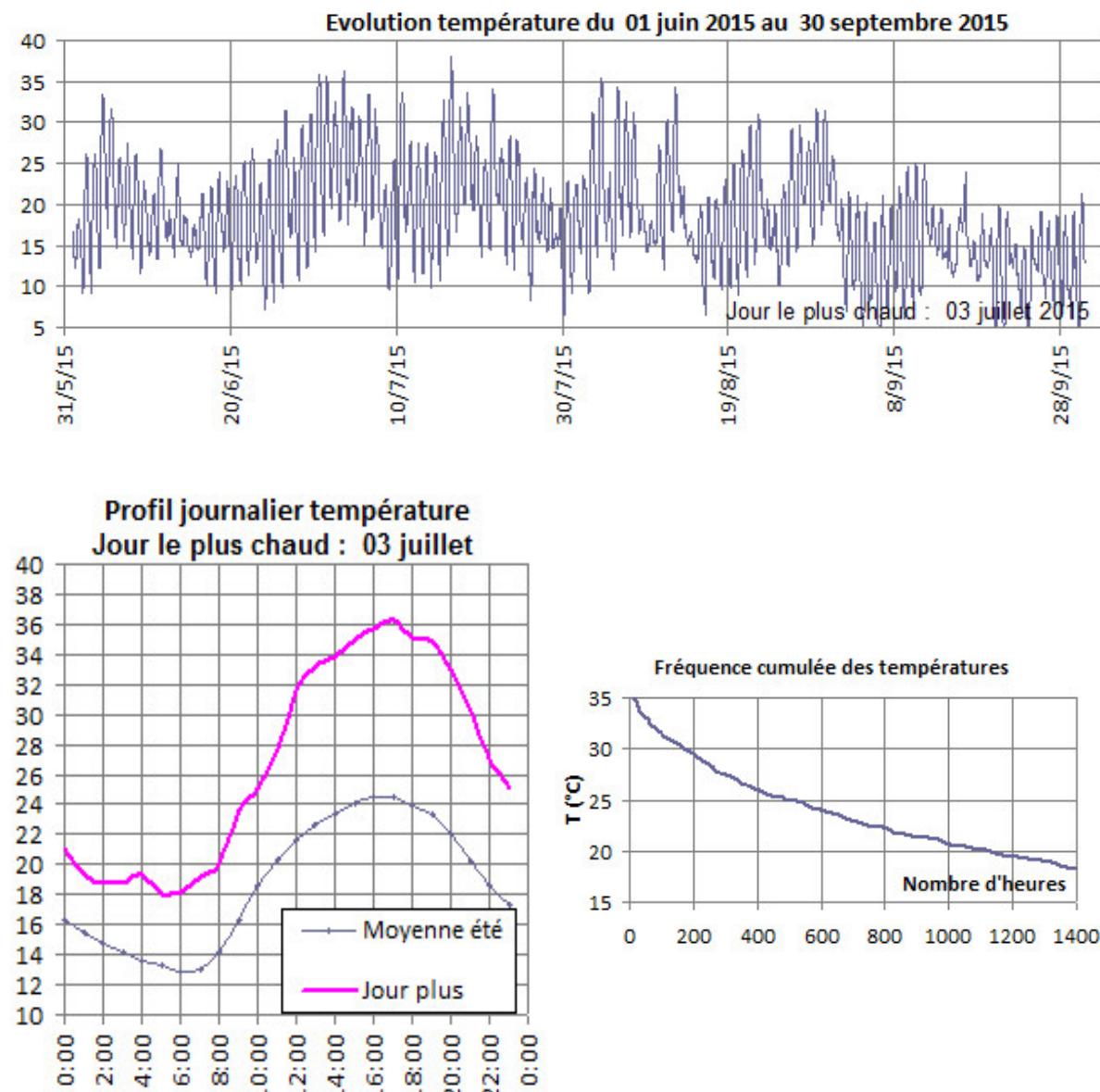
D'où une température de consigne théorique de 17,4°C.

La température de consigne mesurée est légèrement supérieure à la température de consigne théorique. Elle devrait être à l'origine d'une surconsommation de chauffage sur l'année. **Son impact est évalué par la suite.**

2.5.4 - Confort d'été

Dans un premier temps, on analyse les confort d'été mesurés dans chaque zone du bâtiment. Dans un second temps, l'approche est faite de manière globale au niveau du bâtiment. Pour la première année de suivi, la période considérée est comprise entre le 1^{er} juin 2015 et le 30 septembre 2015.

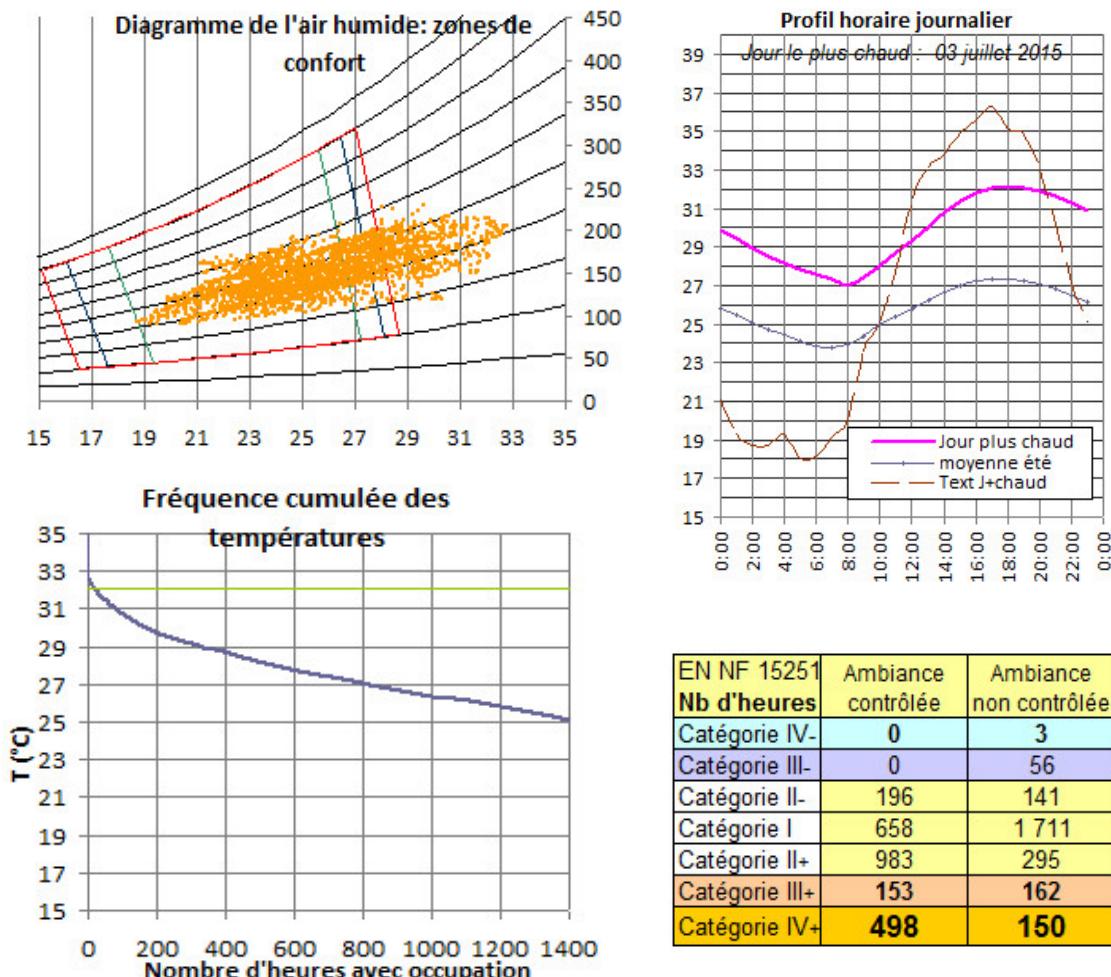
Conditions extérieures



Les températures extérieures ont dépassé les 25°C sur environ 500 heures. Le jour le plus chaud de la période est le 3 juillet 2015. La température moyenne extérieure du jour le plus chaud s'élève à 26,7°C. Les conditions estivales extérieures ont donc été relativement chaudes au cours de cette première année.

Pour chaque zone du bâtiment, le calcul de la Tic expérimentale est réalisé sur la journée la plus chaude de la période considérée. Il s'agit du troisième jour des trois jours consécutifs les plus chauds constatés au niveau des températures intérieures. Les graphes ci-dessous présentent les résultats obtenus pour chaque zone.

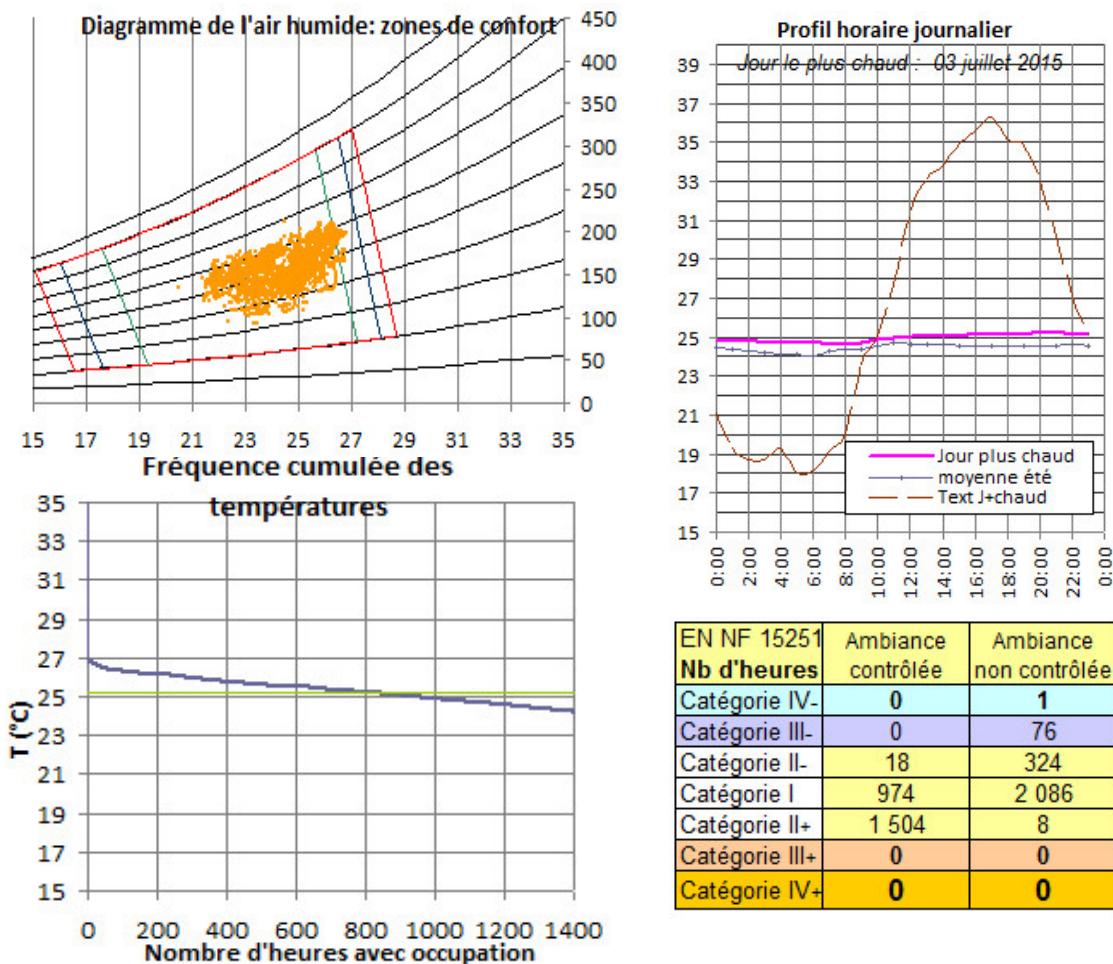
Aire de jeu (moyenne des capteurs 1, 2, 3 et 4)



Text Moy J+chaud = 26,7°C

Tic expérimentale = 32,1°C

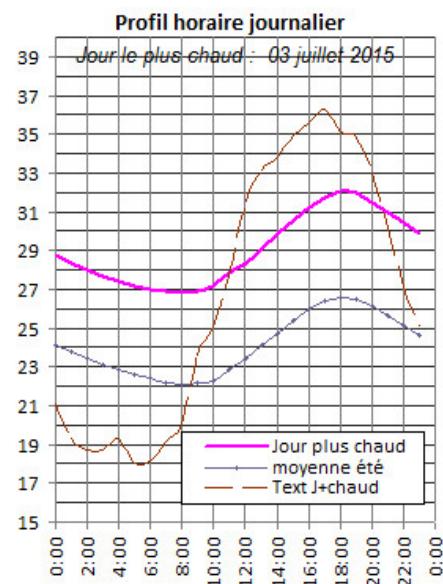
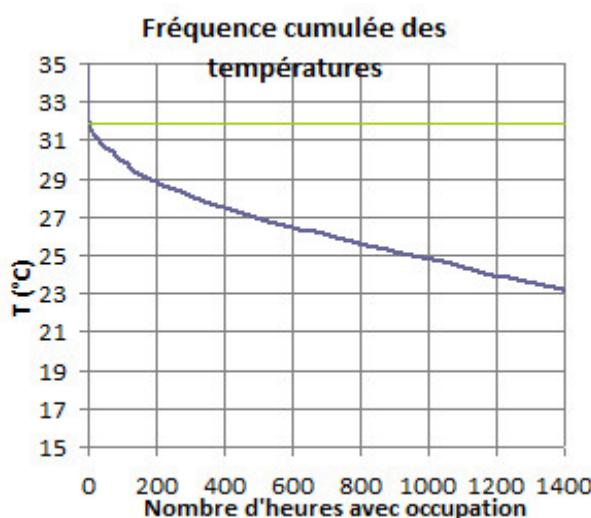
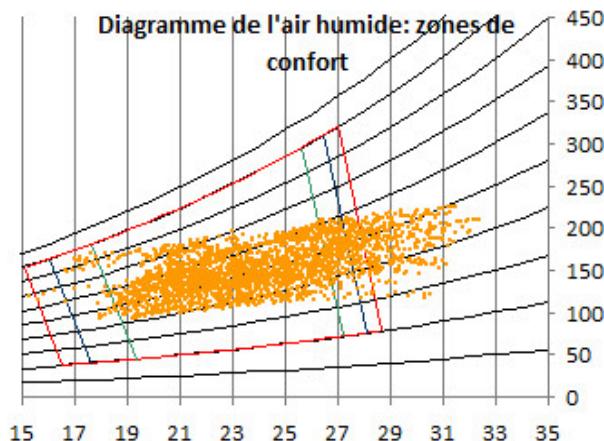
Tic équivalent RT = 30,0°C

Vestiaires (moyenne des capteurs 7 et 8)

Text Moy J+chaud = 26,7°C

Tic expérimentale = 25,2°C

Tic équivalent RT = 23,1°C

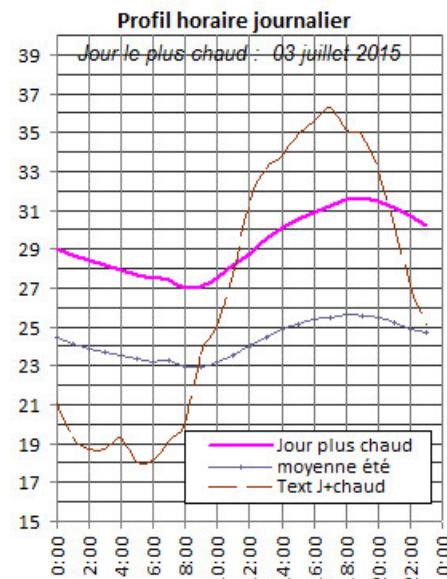
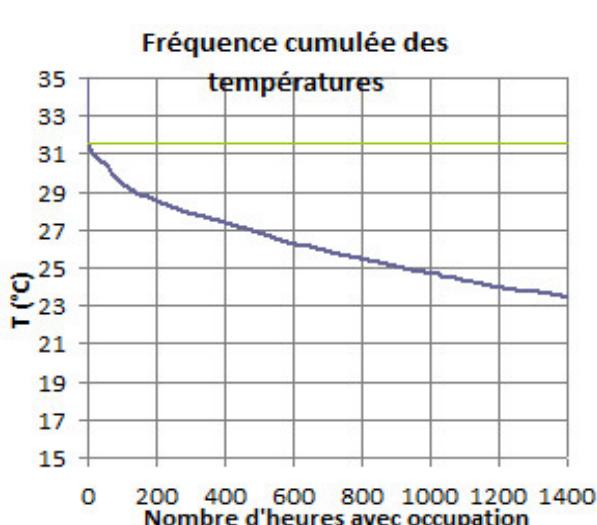
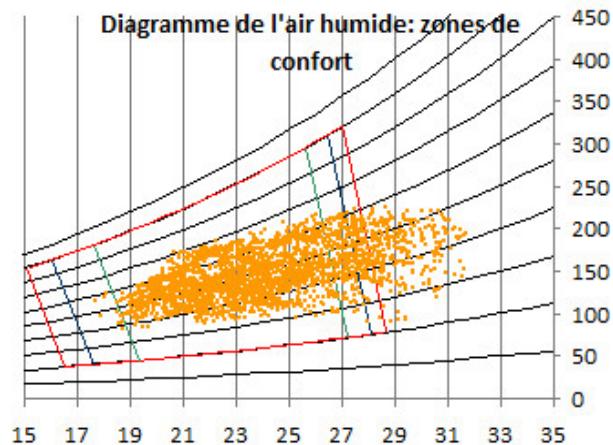
Zone de stockage

EN NF 15251 Nb d'heures	Ambiance contrôlée	Ambiance non contrôlée
Catégorie IV-	12	234
Catégorie III-	31	262
Catégorie II-	629	335
Catégorie I	665	1 361
Catégorie II+	740	134
Catégorie III+	109	107
Catégorie IV+	302	63

Text Moy J+chaud = 26,7°C

Tic expérimentale = 31,9°C

Tic équivalent RT = 29,8°C

Salle des clubs

EN NF 15251 Nb d'heures	Ambiance contrôlée	Ambiance non contrôlée
Catégorie IV-	0	62
Catégorie III-	8	208
Catégorie II-	548	458
Catégorie I	794	1 535
Catégorie II+	750	123
Catégorie III+	127	84
Catégorie IV+	269	25

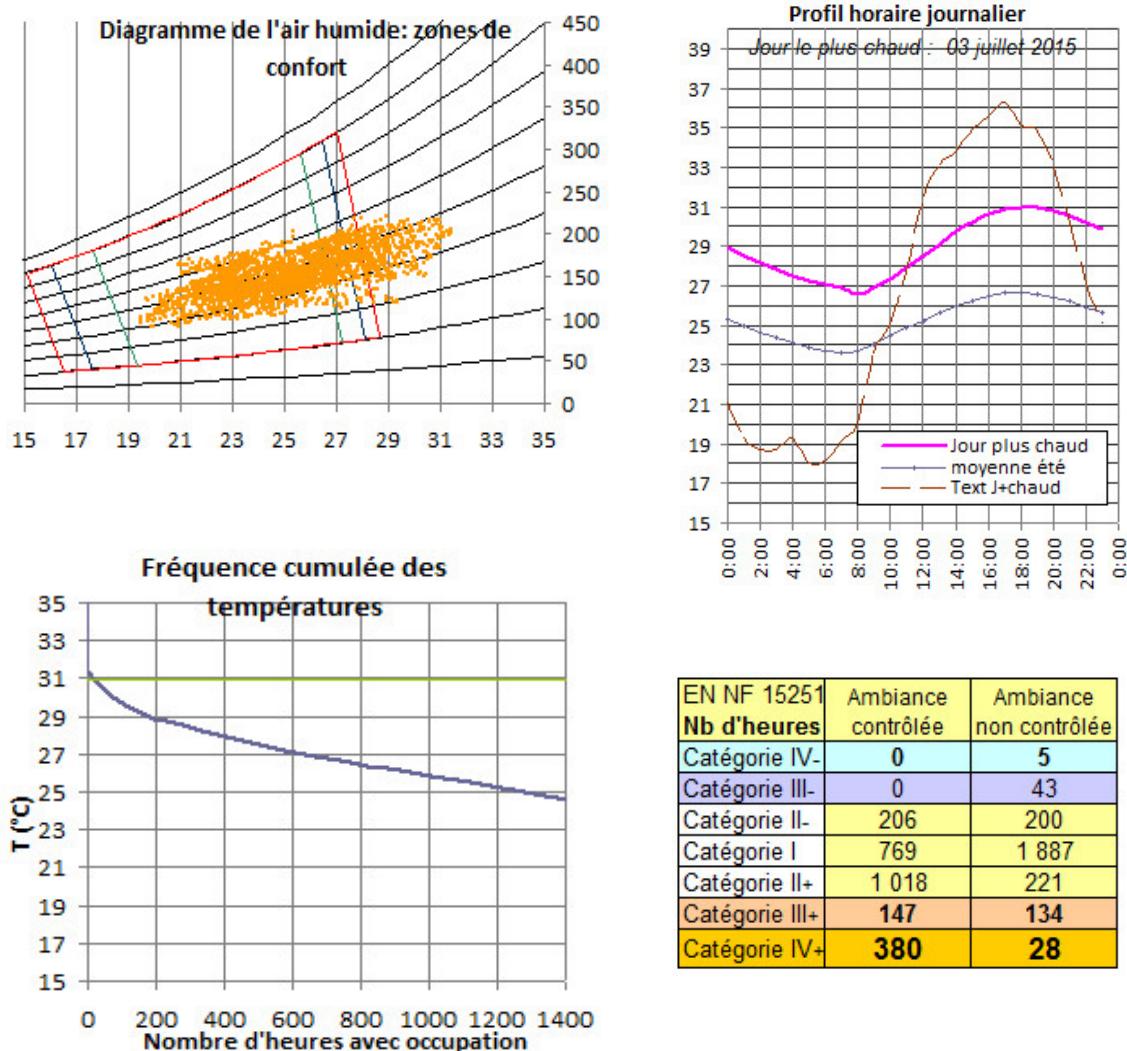
Text Moy J+chaud = 26,7°C

Tic expérimentale = 31,6°C

Tic équivalent RT = 29,5°C

Nous effectuons les mêmes types d'analyse au niveau du bâtiment en considérant les moyennes pondérées surfaciques des températures et taux d'hygrométrie relevés. Nous obtenons les résultats suivants.

Ensemble du bâtiment



Sur les graphiques de confort nous observons une nombre important de mesures en dehors du polygone de confort. Seule la zone vestiaire présente un bon diagramme de confort. Les températures mesurées dans cet espace au cours de l'été 2015 ne dépassent pas les 27°C. Les températures relevées dans les autres zones du bâtiment dépassent les 27°C sur plus de 800 heures pour l'aire de jeu et plus de 500 heures pour la zone de stockage et la salle des clubs.

Les bons résultats obtenus pour la zone vestiaire s'expliquent par le fait que cet espace bénéficie d'une orientation nord-est. La zone vestiaire dispose également de très peu d'espaces vitrés directement impactés par les apports solaires. En outre, cette partie du bâtiment reste relativement bien séparée des autres espaces du bâtiment. Le profil horaire des températures est relativement stable sur la journée la plus chaude.

La Tic expérimentale obtenue pour l'ensemble du bâtiment s'élève à 30,9°C. Celle-ci est supérieure à la Tic théorique qui s'élève à 27,89°C. Elle reste cependant légèrement inférieure à la Tic de référence qui s'établit à 31,04°C. Une partie de ce dépassement s'explique par des conditions climatiques relativement chaudes et ensoleillées. En effet, la Tic équivalent RT est également supérieure à la Tic théorique.

L'absence ou la mauvaise gestion de dispositifs de protection solaire peut également expliquer une partie de ce dépassement.

Ces observations seront à confronter à celles de la seconde année de suivi.

2.6 - Analyse du fonctionnement des systèmes chauffage et eau chaude sanitaire

2.6.1 - Production de chauffage

Le compteur du circuit primaire de chauffage (CPT PRIM CHAUD) et le compteur Gaz chauffage (CPT GAZ CHAUDIERE) affichent une valeur nulle sur toute l'année.

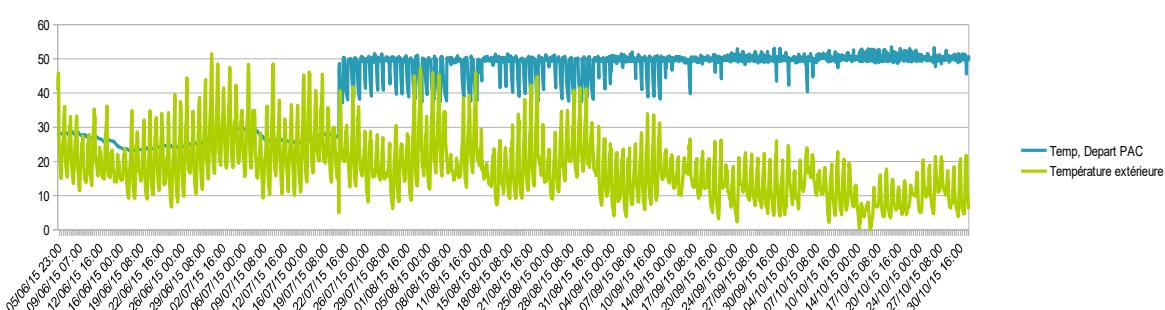
L'absence de données de consommation gaz de la chaudière ne nous permet pas d'étudier la performance de cet équipement. Il conviendra de vérifier si cette absence de données est liée à un dysfonctionnement du comptage ou bien si elle résulte d'une absence de fonctionnement de la chaudière gaz, destinée à intervenir en appoint de la pompe à chaleur.

Seul le fonctionnement de la pompe à chaleur, chauffage principal, est étudié sur cette première année de suivi.

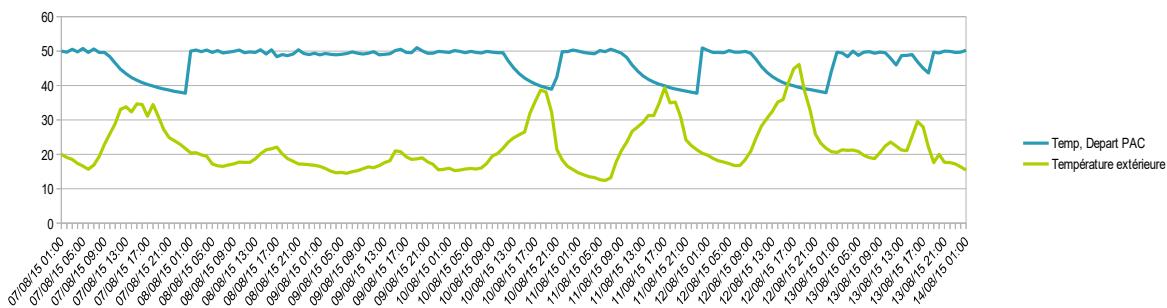
De plus, en l'absence de données sur les températures d'air soufflé, air repris et air rejeté, les systèmes double-flux ne sont pas étudiés.

Démarrage de la production de chauffage

Le graphique ci-dessous compare la température de départ de la pompe à chaleur (PAC) et la température extérieure. Il montre que le chauffage par la PAC a débuté dès le 22 juillet. La température de départ est stable à 50°C lorsque le chauffage fonctionne.



Le graphique ci-dessous montre que le chauffage par la PAC fonctionne dès que la température extérieure descend en dessous de 20°C. Ainsi, le chauffage des vestiaires fonctionne dès le mois d'août.

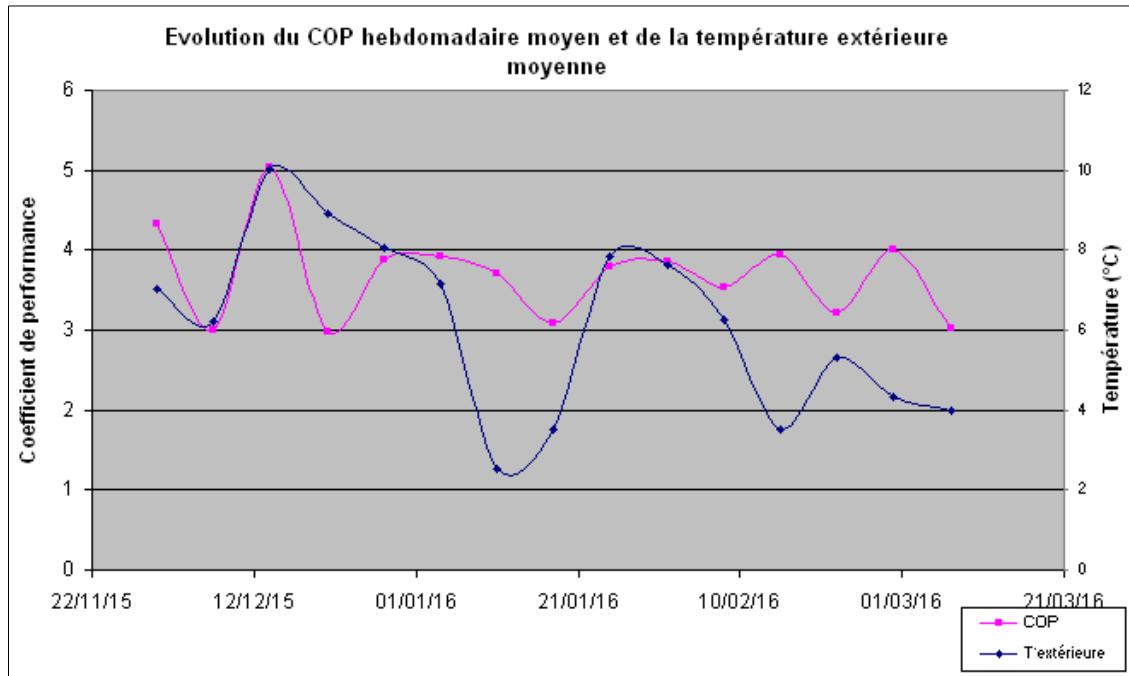


Coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur

Le calcul du coefficient de performance de la PAC est réalisé sur la période comprise entre le 30 novembre 2015 et le 20 mars 2016.

Celui-ci est évalué à partir des comptages suivants :

- électricité consommée ;
- compteur calories chauffage aval PAC.



Le COP est relativement stable sur la période observée. Il ne descend jamais en dessous de 3 y compris lorsque les températures chutent. Ce résultat confirme l'intérêt de disposer d'une PAC géothermique. Cette performance permet vraisemblablement de ne pas recourir au chauffage d'appoint assuré par la chaudière gaz.

Le coefficient de performance moyen ainsi obtenu s'élève à 3,71.

Le COP évalué, moins performant que celui considéré dans l'étude thermique (5,65), est également à l'origine de surconsommations de chauffage sur l'année. **Son impact est évalué par la suite.**

2.6.2 - Distribution du chauffage

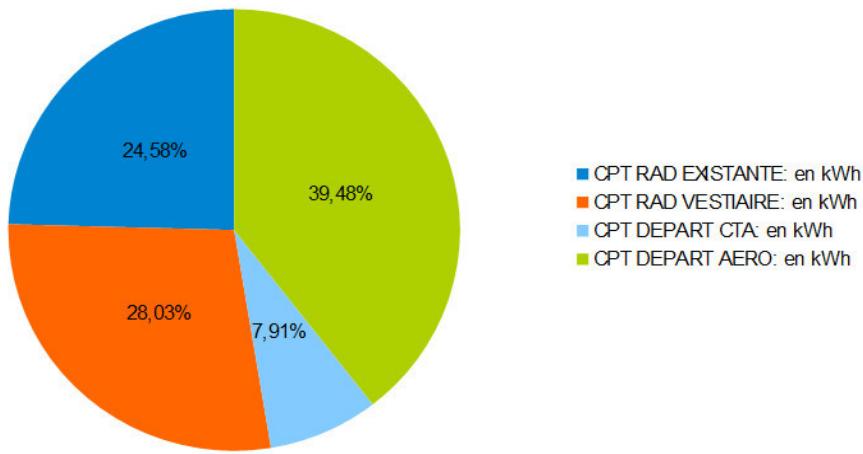
Pertes du réseau primaire de distribution

L'instrumentation mise en place permet d'évaluer les pertes de distribution du réseau de chauffage. Pour ce faire, il suffit de comparer l'énergie produite par le système de production (ici limité à la PAC puis qu'aucune production de chauffage par la chaudière gaz d'appoint n'est relevée) et les quatre compteurs d'énergie thermique sur les circuits de chauffage.

Total énergie produite CPT AVAL PAC (kWh)	Total énergie circuits de chauffage (kWh)	Perte kWh	Perte %
95 000	88 118	6 882	7,24%

Les pertes d'énergies au niveau du réseau primaire sont estimées à 6 882 kWh soit 7,24% de l'énergie produite.

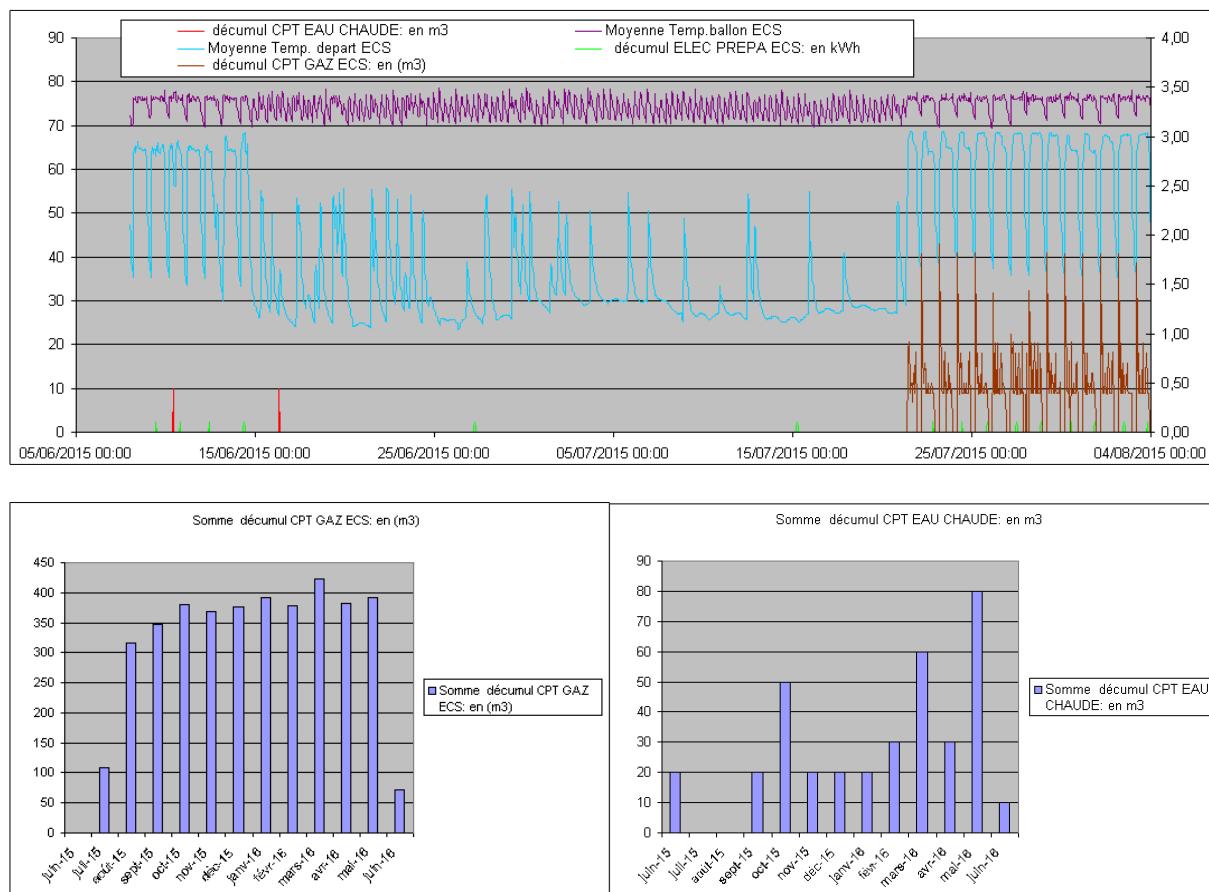
Répartition des consommations de chauffage



Près de 40% des besoins de chauffage servent à chauffer l'aire de jeu avec les aérothermes. Les deux circuits de radiateurs (zone existante et vestiaires) représentent 52% des consommations globales.

2.6.3 - Production d'eau chaude sanitaire

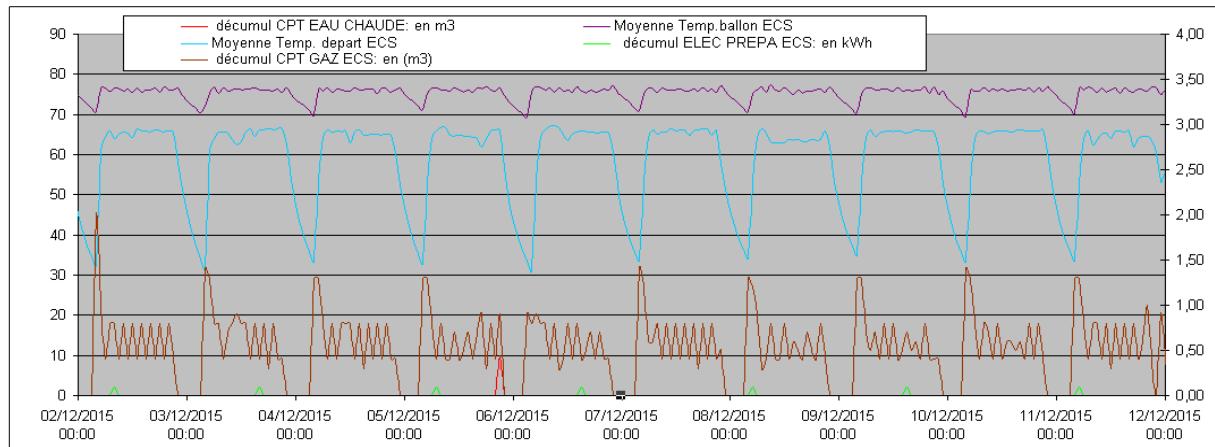
Les consommations de gaz relevées en début de période de suivi sont nulles. Les premières consommations de gaz sont relevées à partir du 21 juillet. Le graphe ci-dessous fait cependant état de consommations d'eau et d'électricité au niveau du préparateur d'eau chaude. Il semble donc que le compteur gaz n'a pas fonctionné entre le 6 juin et le 21 juillet 2015.



En dehors de la période estivale, la consommation de gaz mensuelle est relativement stable au fil de l'année, environ 350 m³ par mois.

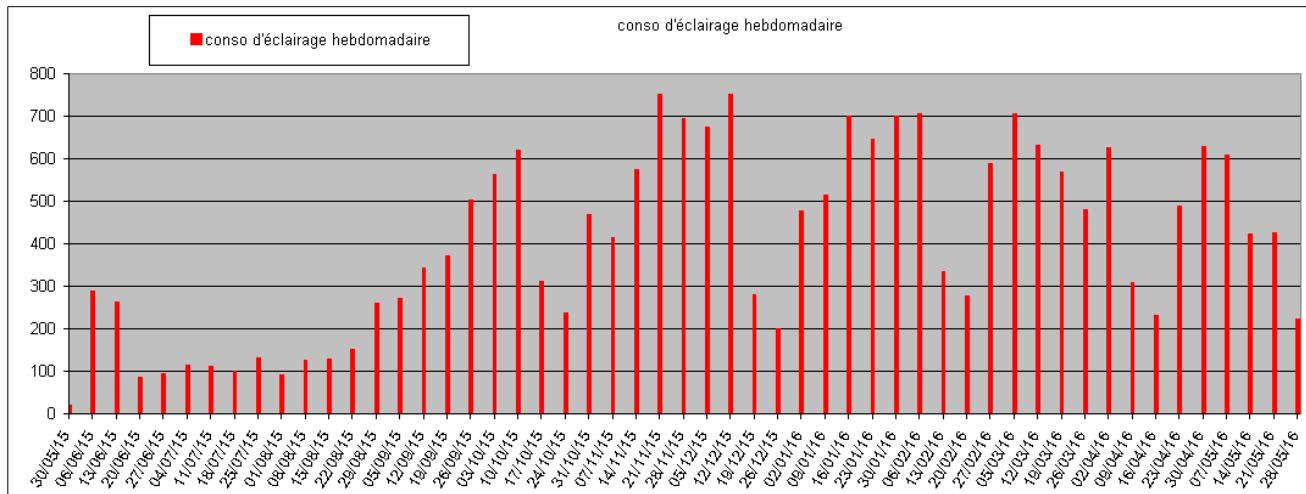
La consommation d'eau ne peut pas être analysée finement à cause du poids d'impulsion du compteur (10 m³). Si la consommation d'eau mensuelle apparaît assez variable, les volumes réellement consommés chaque mois sont estimés à plus ou moins 10 m³. Globalement, près de 350 m³ d'eau chaude sont consommés lors de la première année de suivi.

Le graphique suivant montre que le préparateur ECS est maintenu en température à 75°C la journée. Une coupure nocturne de 6 heures est également observée.



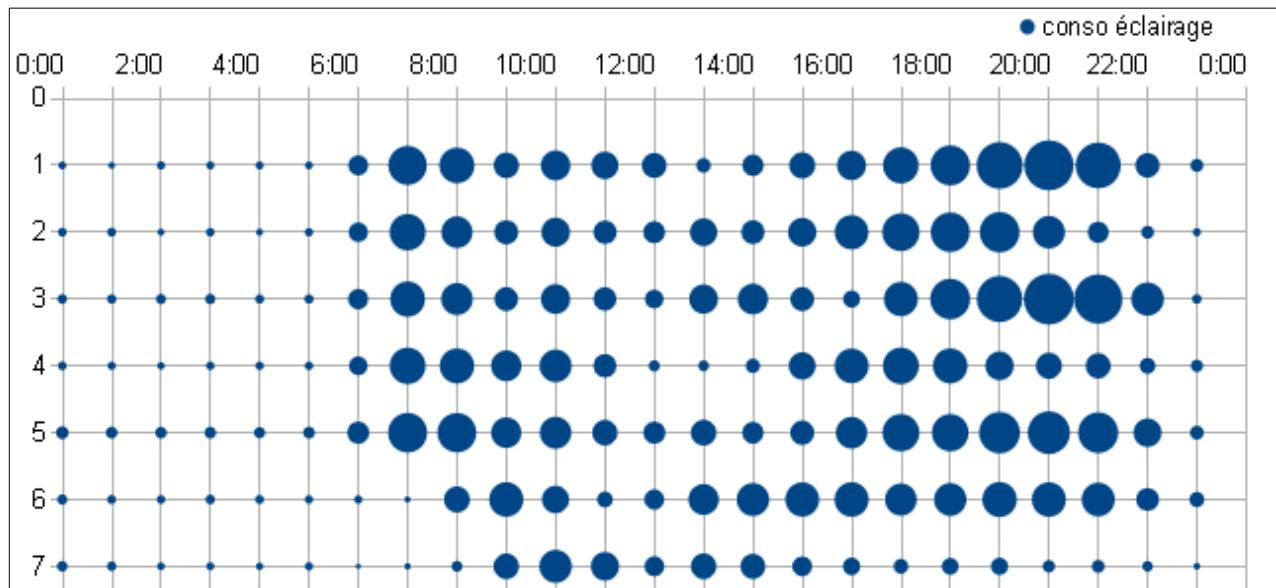
2.6.4 - Consommation globale d'éclairage

Les consommations d'éclairage hebdomadaires observées sur une année glissante (juin 2015 à mai 2016) montrent qu'elles sont directement liées au calendrier scolaire. Les périodes de congés scolaires enregistrent des consommations inférieures de 50 % à 65% par rapport aux périodes de travaillées.

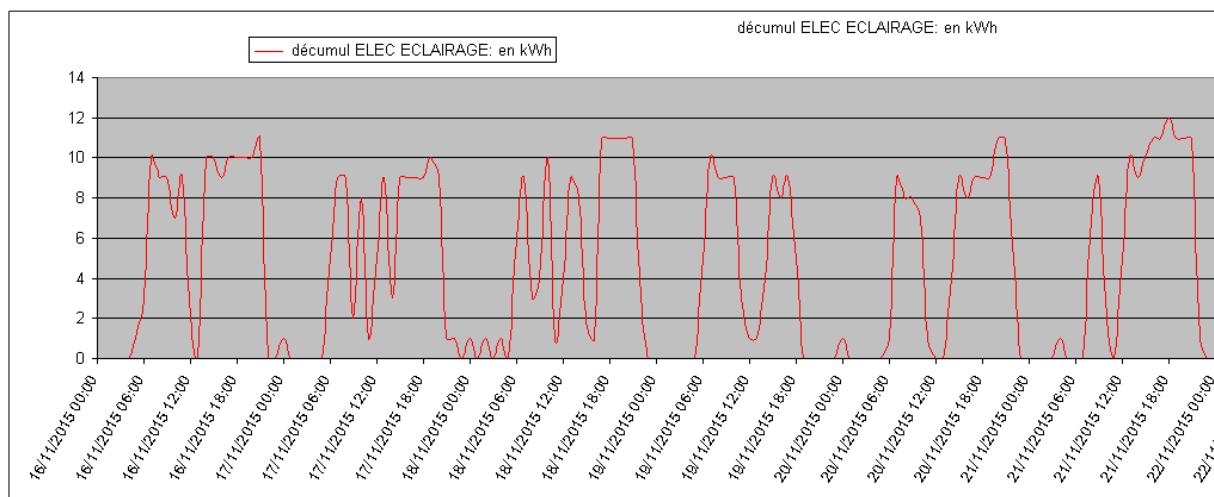


Le graphique ci-dessous montre que les consommations d'éclairage débutent en semaine ouvrée (jour 1 à 5) dès 6 heures du matin. Les éclairages peuvent être utilisés jusqu'à minuit. Nous observons également une diminution plus ou moins marquée des consommations d'éclairage autour de la pause méridienne.

Consommation d'éclairage annuelle moyen en fonction de l'heure et du jour de la semaine



Si nous observons les consommations sur une semaine (par exemple du 16 au 22 novembre 2015), nous visualisons parfaitement les plages d'utilisation des éclairages. Les activités scolaires sont réparties le matin et l'après-midi. Les consommations baissent systématiquement vers 12h et de manière plus légère vers 17h. Elles reprennent ensuite pour des activités en soirée qui peuvent se terminer vers minuit.



La consommation minimale horaire est comprise entre 0 et 1 kWh la nuit. Elle peut atteindre les 12 kWh en journée.

Les analyses ci-dessus expliquent le fait que les consommations d'éclairage soient plus importantes que prévu (+53,42%). En effet, le calcul conventionnel de la méthode RT existant considère, pour les établissements sportifs, un fonctionnement des éclairages sur un volume horaire limité à 10 heures par jour, 5 jours par semaine. Le gymnase est pour sa part utilisé tous les jours de la semaine sur des périodes de fonctionnement quotidien pouvant dépasser 10 heures.

2.7 - Analyse des consommations des Auxiliaires

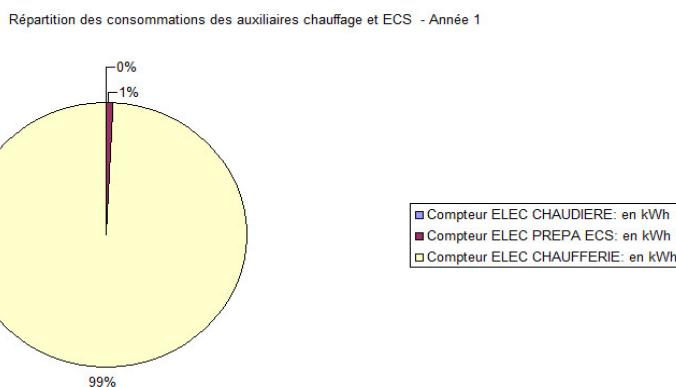
2.7.1 - Auxiliaires de chauffage et ECS

Pour cette première année de suivi, la consommation des auxiliaires de chauffage et d'ECS est très importante par rapport au calcul théorique (+214,52 %).

Trois compteurs ont été installés afin de mesurer ces consommations. Il s'agit des compteurs suivants :

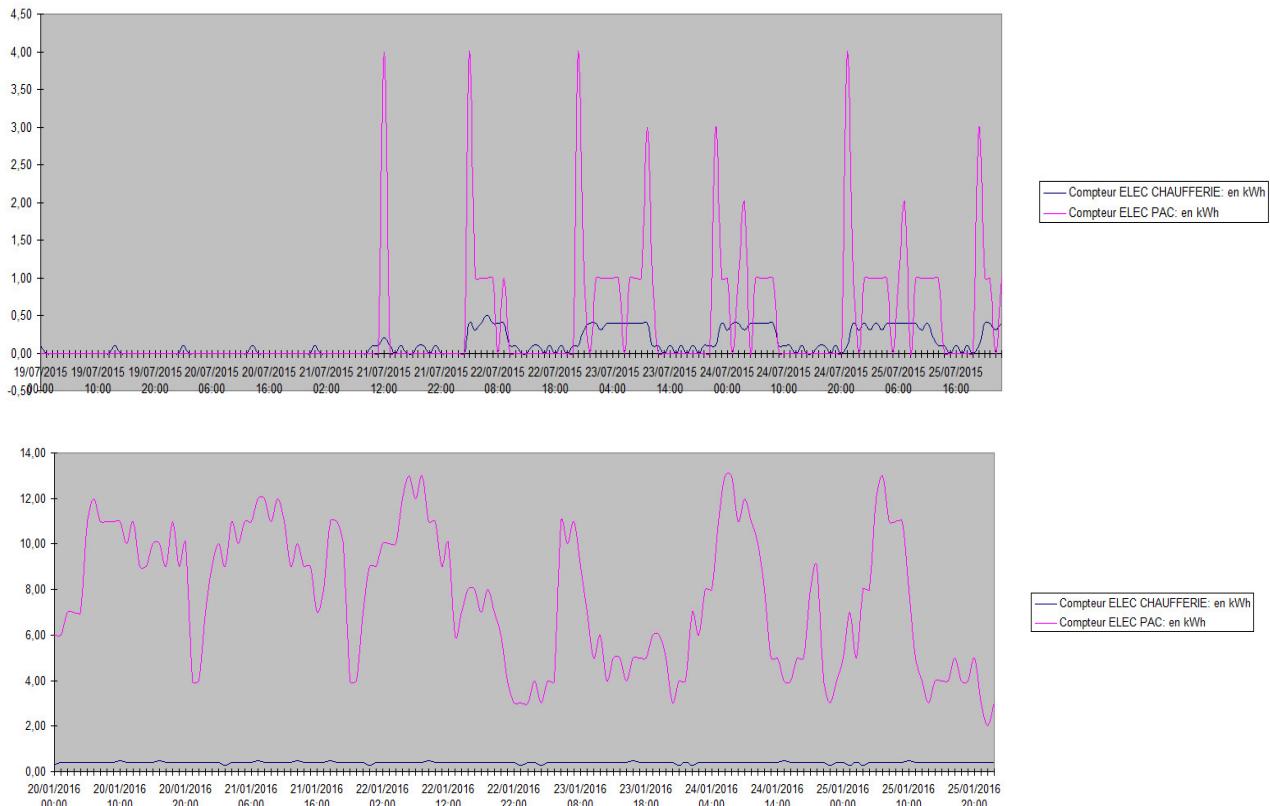
- compteur électrique des consommations du préparateur d'eau chaude sanitaire ;
- compteur électrique de la chaudière ;
- compteur électrique de la chaufferie (auxiliaires et pompes).

Les consommations électriques de ces auxiliaires se répartissent de la manière suivante :



Comme vu précédemment, la chaudière ne semble pas avoir fonctionné au cours de l'année. Les consommations électriques du préparateur électrique paraissent très faibles. L'essentiel des consommations des auxiliaires est issu de la régulation et des pompes de circulation des réseaux de chauffage.

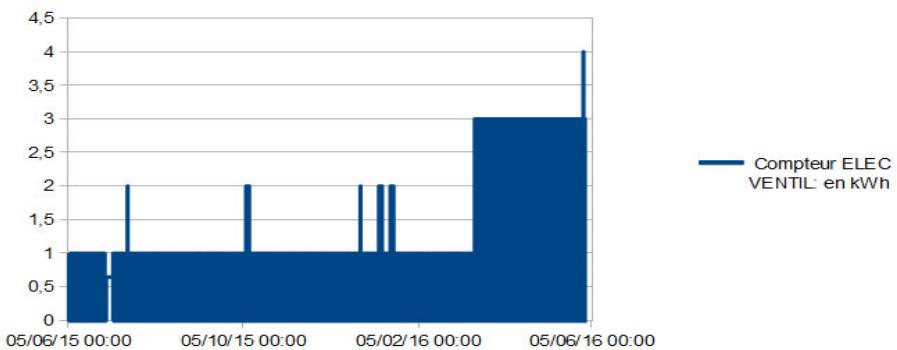
Les graphes ci-dessous montrent clairement le lien existant entre le fonctionnement de la PAC et les consommations des auxiliaires. La PAC a fonctionné dès le 21 juillet lorsque les températures extérieures sont descendues en dessous de 20°C. Les auxiliaires de chauffage ont aussitôt été sollicités et ont consommé autant qu'en pleine période de chauffe (second graphique).



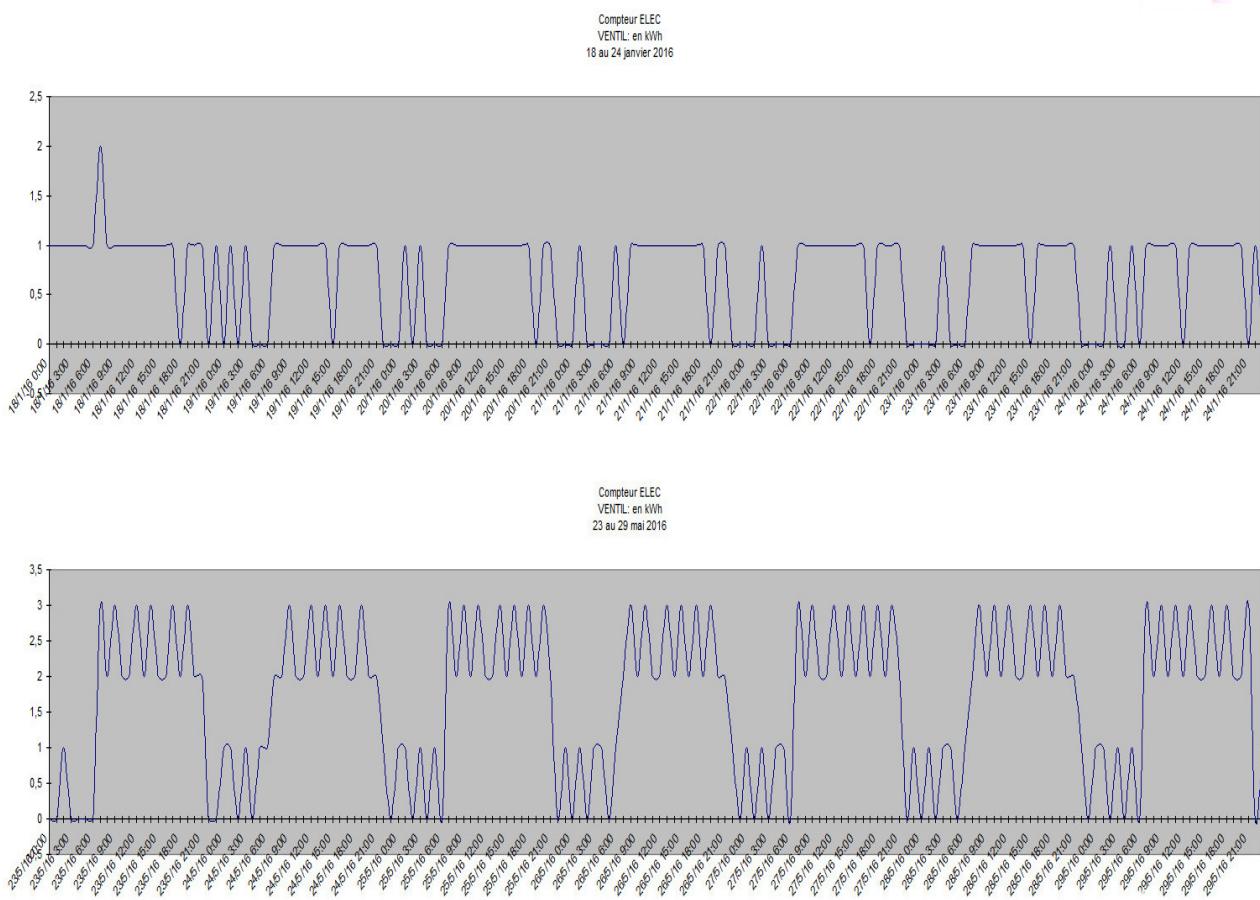
Il paraît nécessaire de limiter le fonctionnement des équipements de chauffage à une période de chauffe beaucoup plus réduite. Cette adaptation engendrerait des économies sur les postes chauffage et auxiliaires de chauffage.

2.7.2 - Auxiliaires de ventilation

Les consommations réelles des auxiliaires de ventilation sont inférieures à celles du calcul réglementaire (-34,47%). L'observation des consommations électriques de ventilation sur l'ensemble de l'année de suivi met en évidence deux régimes relativement différents : un réglage du système a vraisemblablement eu lieu le 15 mars 2016 ; il s'est traduit par des consommations électriques du système triplées.



Les deux régimes observés présentent par ailleurs des caractéristiques relativement différentes à l'échelle de la semaine et de la journée. Le premier graphe (avant modification de réglage) laisse apparaître un fonctionnement jour et un réduit de nuit relativement proches. Le nouveau réglage, qui répond sans doute à un besoin identifié par le gestionnaire, différencie de manière plus significative les deux modes de fonctionnement. Les pics qui apparaissent sur les deux graphes ci-dessous correspondent uniquement au poids d'impulsion du compteur (1 kWh).



Le réglage initial de la ventilation explique plausiblement le fait que les consommations relevées au cours de la première année de suivi soient inférieures à celles données par le calcul théorique.

2.8 - Consommations recalées

Les consommations théoriques, issues du calcul réglementaire, doivent être recalées avant d'être comparées aux consommations réelles. Les paramètres relevant de la différence « conventionnel/prévisionnel » sont modifiés dans le calcul réglementaire. Les paramètres liés aux usages du bâtiment sont corrigés dans la partie suivante.

Les modifications portent ainsi sur :

- le climat : le fichier météo est remplacé par le climat réel de l'année de suivi (données obtenues via la station météo) ;
- les apports internes.

L'absence de données sur l'occupation réelle du gymnase nous conduit à conserver les données du scénario conventionnel (les consommations théoriques ne sont donc pas recalées sur ce paramètre).

Impact du climat

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

Impact du climat			
	Consommation corrigée	Delta	Perte
Consommation totale	129,40	1,77	1,39%
Consommation chauffage	13,48	-1,21	-8,27%
Consommation ECS	60,56	0,00	0,00%
Auxiliaire de ventilation	23,18	0,16	0,70%
Auxiliaires de chauffage et ECS	2,00	0,22	12,21%
Éclairage	30,18	2,61	9,47%

Les conditions météorologiques de l'année de suivi ont été plus douces que celles du climat conventionnel de la zone H1c. Les consommations de chauffage auraient donc dû être inférieures aux consommations conventionnelles.

Théoriquement, les conditions météorologiques devraient être à l'origine d'une augmentation significative des consommations d'éclairage (+2,61 kWhep/m².an).

Au global, les consommations réelles devraient légèrement supérieures (+1,39%) à celles du calcul théorique. Ce n'est pas le cas dans les faits : d'autres paramètres liés au bâtiment diffèrent. Des corrections complémentaires 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 (+3,4°C hors variation spatiale et temporelle) ;
- coefficient de performance de la pompe à chaleur (3,71) ;
- $U_{\text{bât}}$ réel mesuré égal à 0,446 W/m².K ;
- besoin en ECS égal à 42 820 kWh/an.

En complément de ces corrections, et en l'absence de test d'étanchéité à l'air justifiant les hypothèses de l'étude

thermique ($Q4\text{Pasurf} = 1,2 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$), les consommations sont également corrigées en prenant en compte la valeur par défaut de la réglementation ($Q4\text{Pasurf} = 3 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$).

Des études de sensibilité sur la température de consigne et le coefficient U_{bat} sont également réalisées.

Enfin, nous évaluons l'impact d'une correction simultanée de l'ensemble des paramètres sur le calcul théorique recalé précédemment. Ce dernier calcul est le mieux à même d'expliquer l'origine des surconsommations constatées.

2.9.1 - Correction de la température de consigne

Sur la saison de chauffe 2015/2016, le gymnase a en moyenne été chauffé à $18,4^\circ\text{C}$. Cette valeur est retenue comme température de consigne mesurée. Un écart de $3,4^\circ\text{C}$ est ainsi relevé par rapport à la valeur conventionnelle hors variations spatiales et temporelles.

Impact de la température de consigne			+ 3,4°C
	Consommation corrigée	Delta	Perte
Consommation totale	132,15	4,52	3,54%
Consommation chauffage	18,32	3,63	24,71%
Consommation ECS	60,56	0,00	0,00%
Auxiliaire de ventilation	23,45	0,44	1,89%
Auxiliaires de chauffage et ECS	2,24	0,46	25,57%
Éclairage	27,57	0,00	0,00%

Les consommations recalées sont corrigées en fonction de la température de consigne mesurée. Cette température est responsable d'une surconsommation de $4,52 \text{ kWhep/m}^2\text{.an}$ par rapport au calcul théorique.

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

Impact de la perméabilité à l'air			
Perméabilité initiale	1,2	Perméabilité corrigée	3
	Consommation corrigée	Delta	Perte
Consommation totale	132,47	4,84	3,79%
Consommation chauffage	18,99	4,30	29,29%
Consommation auxiliaire de chauffage	1,99	0,20	11,45%

L'application de la valeur par défaut de la réglementation au niveau de la perméabilité à l'air du bâtiment génère une surconsommation par rapport au calcul de l'étude thermique évaluée à $4,84 \text{ kWhep/m}^2\text{.an}$.

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

Comme vu précédemment, le COP moyen calculé de la pompe à chaleur est évalué à 3,71.

Impact du coefficient de performance de la PAC			
COP nominal initial	5,65	COP modifié corrigé	3,71
	Consommation corrigée	Delta	Perte
Consommation totale	135,58	7,95	6,23%
Consommation chauffage	22,36	7,67	52,21%
Consommation ECS	60,56	0,00	0,00%
Auxiliaire de ventilation	23,02	0,00	0,00%
Auxiliaires de chauffage et ECS	2,07	0,28	15,68%
Éclairage	27,57	0,00	0,00%

L'écart est responsable d'une surconsommation de 7,95 kWhep/m².an par rapport au calcul théorique. Cette surconsommation est répartie entre les postes chauffage et auxiliaires de chauffage et ECS.

2.9.4 - Correction avec le U_{bât} réel

Impact du U _{bât}			
U _{bât} initial	0,390	U _{bât} corrigé	0,446
	Consommation corrigée	Delta	Perte
Consommation totale	129,98	2,35	1,84 %
Consommation chauffage	16,65	1,96	13,32 %
Auxiliaires de ventilation	23,23	0,21	0,91 %
Auxiliaires de chauffage et ECS	1,97	0,18	10,21 %

Cet écart est responsable d'une surconsommation de 2,35 kWhep/m².an par rapport au calcul théorique.

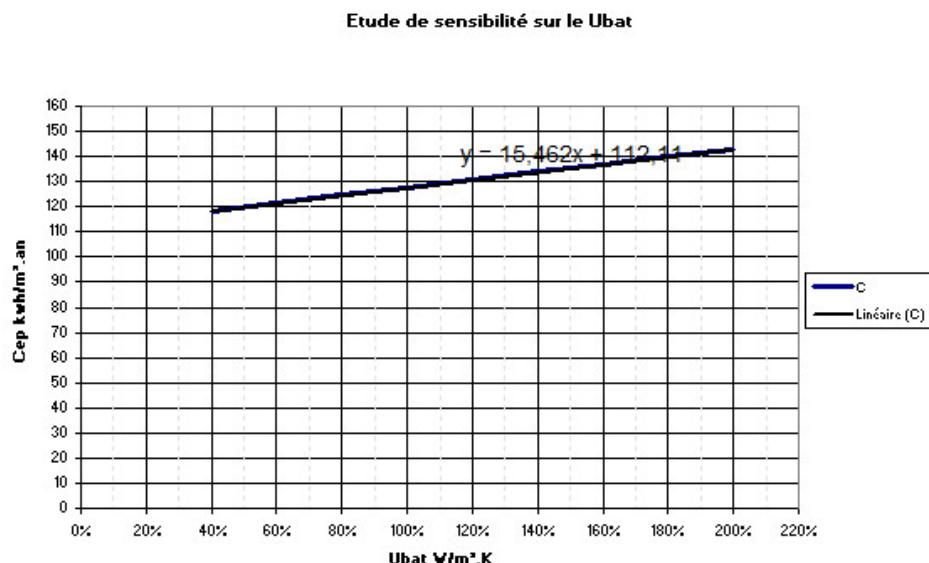
2.9.5 - Correction avec le besoin en ECS réel

L'absence de données des consommations de gaz destinées à la production d'ECS entre le 8 juin et le 21 juillet 2015 ne nous permet pas de connaître le besoin annuel réel. La correction réalisée s'applique à une période de 10 mois. Le besoin en ECS est calculé à partir du volume de gaz consommé et d'un PCI gaz de 10,88 kWh/m³.

Impact du besoin réel d'ECS			
Besoin estimé (kWh/an)	66 044,84	Besoin corrigé (kWh/an)	42 820,42
	Consommation corrigée	Delta	Perte
Consommation totale	108,45	-19,18	-15,02 %
Consommation ECS	41,37	-19,18	-31,68 %
Auxiliaires de chauffage et ECS	1,79	0,00	0,00 %

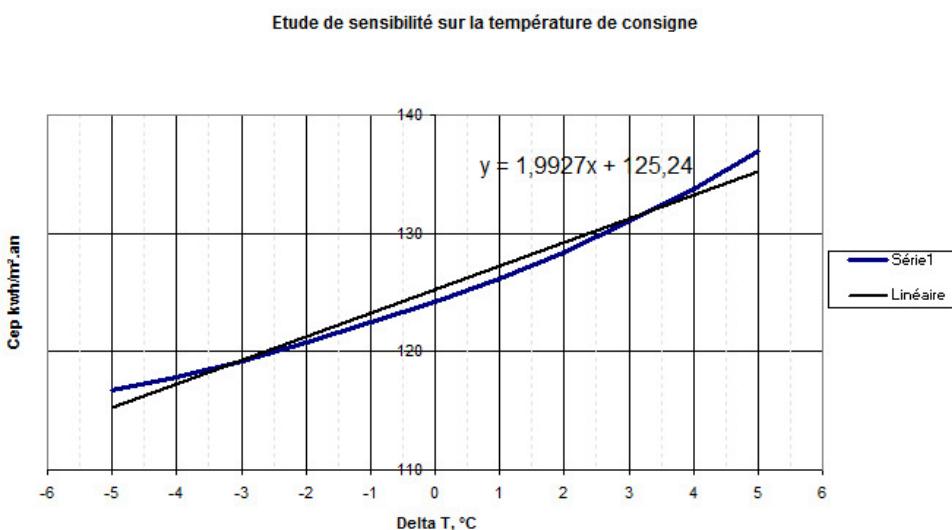
L'écart est responsable d'une économie d'énergie de 19,18 kWhep/m².an par rapport au calcul théorique.

2.9.6 - Étude de sensibilité du $U_{bât}$ sur le Cep



La consommation d'énergie primaire est très sensible à la variation du facteur $U_{bât}$. Une augmentation de 10% de la valeur du $U_{bât}$ se traduit par une majoration des consommations d'énergie primaire de 1,54 kWhep/m²/an.

2.9.7 - Étude de sensibilité sur la température de consigne

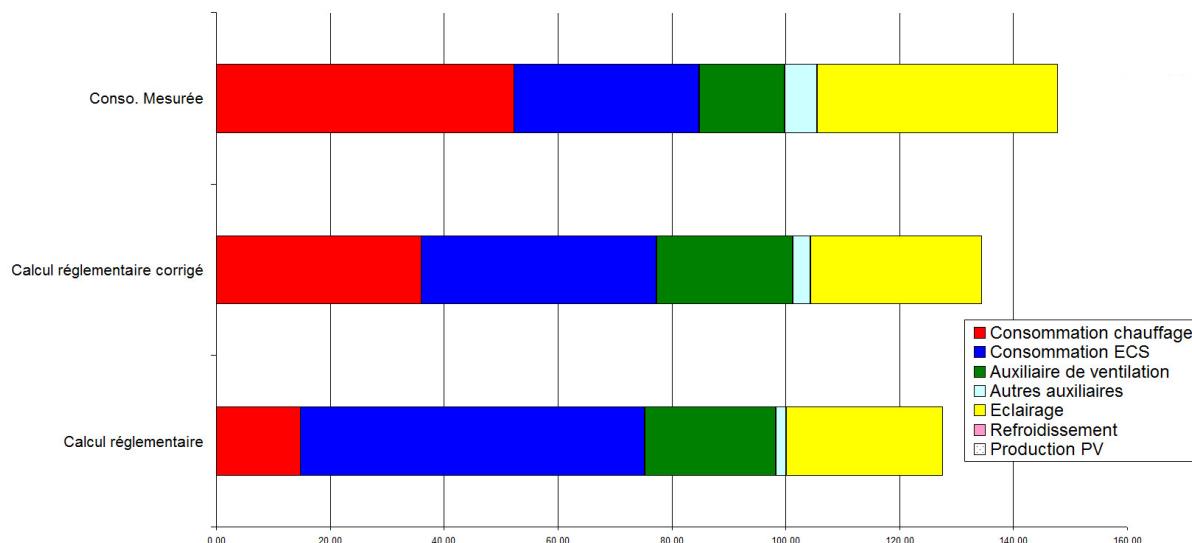


La consommation d'énergie primaire est assez sensible à la variation du facteur température de consigne. Un écart de 1°C en plus se traduit par une majoration des consommations d'énergie primaire de 2 kWhep/m²/an.

2.9.8 - Synthèse des corrections

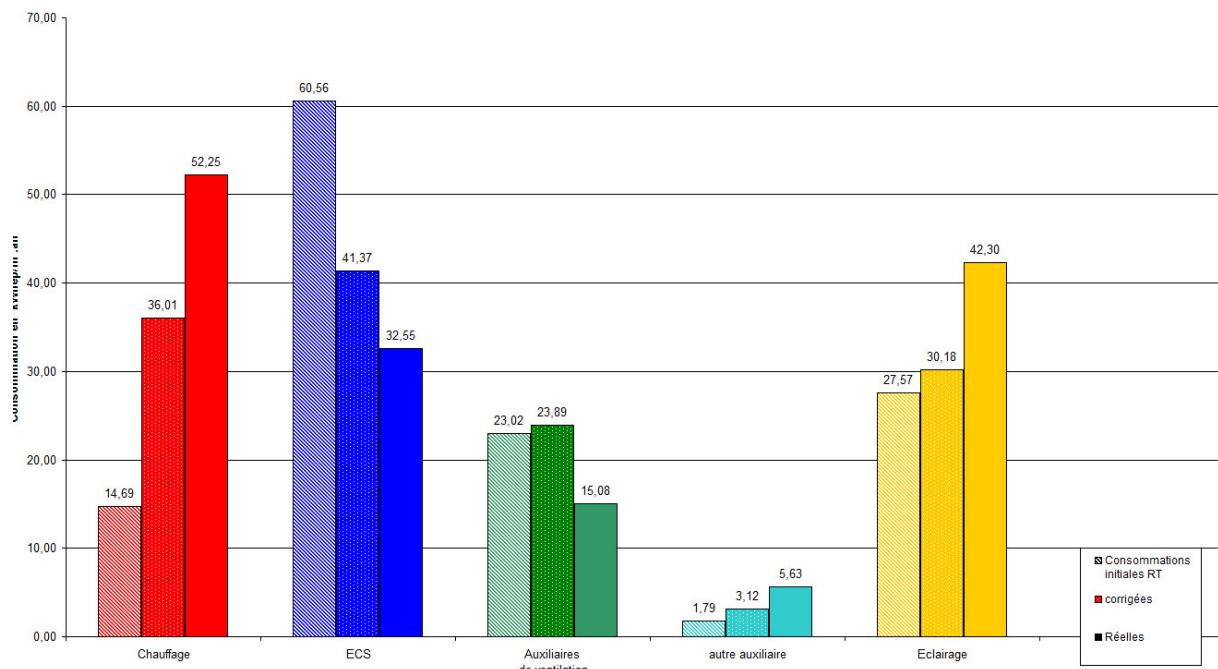
Les corrections annoncées ci-avant permettent, pour chaque paramètre, d'évaluer l'impact sur le calcul réglementaire, c'est-à-dire sur les résultats de l'étude thermique. Bien évidemment ces différents paramètres sont en interaction permanente et ne peuvent être abordés de manière isolée. La prise en 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]	127,63
Consommation corrigée [kW _{ep} .h/m ² /an], dont :	134,57
Consommation chauffage	36,01
Consommation ECS	41,37
Consommation auxiliaire de ventilation	23,89
Consommation autres auxiliaires	3,12
Consommation d'éclairage	30,18
Consommation mesurée	147,80



La consommation corrigée est inférieure à la consommation globale mesurée au cours de cette première année de suivi (-13,6%). Elle reste relativement proche du calcul théorique.

Analyse des différents postes de consommation :



Nous constatons que les consommations réelles de chauffage, des auxiliaires (chauffage et ECS) et d'éclairage sont nettement supérieures aux résultats du calcul théorique. Les corrections apportées permettent de comprendre une partie de ces écarts. Le coefficient de performance de la PAC, la performance de l'enveloppe mais également la température de consigne mesurée expliquent ces augmentations, malgré des conditions météorologiques plutôt favorables aux économies.

Ceci étant, les corrections apportées ne suffisent pas à justifier le niveau de consommation enregistré. L'analyse du fonctionnement des équipements de chauffage a démontré que la PAC et les auxiliaires associés fonctionnaient dès que la température extérieure tombait en dessous de 20°C (y compris en période estivale). Ce réglage est à l'origine d'une surconsommation conséquente. L'impact sur la consommation des auxiliaires et plus particulièrement des circulateurs est d'autant plus important que ces équipements ont une consommation fixe quels que soient les besoins de chauffage.

L'éclairage constitue le second poste de consommation énergétique. Les conditions météorologiques expliquent une petite partie de cette surconsommation, mais un delta important subsiste. Comme évoqué précédemment, cet écart est directement lié au temps de fonctionnement de l'éclairage. Faute d'éléments précis sur l'utilisation réelle du gymnase, nous ne pouvons pas affirmer que ces consommations soient exclusivement liées à l'occupation, mais cette hypothèse semble vraisemblable. L'analyse du fonctionnement des systèmes d'éclairage laisse supposer une occupation sept jours par semaine sur des périodes de fonctionnement quotidien pouvant dépasser 10 heures.

Les consommations de ventilation sur cette première année sont relativement faibles. Comme indiqué précédemment, il s'agit vraisemblablement d'un mauvais paramétrage des systèmes associés. Les corrections apportées en cours d'années laissent présager une augmentation significative de ces consommations au cours de la seconde année de suivi.

Les consommations d'ECS apparaissent plus faibles que prévu. Ce résultat est en partie lié au dysfonctionnement du compteur gaz au début de la période de suivi. Ce dysfonctionnement ne nous permet pas d'avoir un approche réelle des consommations sur l'ensemble de l'année.

3 - Seconde année de suivi

3.1 - Relevés et analyses des consommations brutes

3.1.1 - Période considérée pour l'analyse des données

Les analyses de données présentées par la suite portent sur les données enregistrées entre le 1^{er} juin 2016 et le 30 mai 2017. Les analyses concernant les performances des systèmes de chauffage et de l'enveloppe portent sur la période comprise entre le 1 décembre 2016 au 31 mars 2017. Les données des mois de juin, juillet, août et septembre 2016 sont également considérées pour l'analyse de la température de confort d'été. Enfin, les analyses comparatives d'interprétation des écarts avec le moteur de calcul de la RT-2005 sont effectuées sur l'année complète examinée (1^{er} juin 2016 – 31 mai 2017).

Problèmes rencontrés

D'une manière générale, le recueil de données a connu moins de difficultés lors de cette seconde année de suivi. Au-delà des problèmes de paramétrage de l'automate (relève les températures tous les quarts d'heure) et des poids d'impulsion des compteurs identifiés lors de la première phase d'analyse, la seule absence de données (hors compteur autonome et station météo) porte sur le mois de juillet 2016, en raison de la probable fermeture du gymnase et de la mise à l'arrêt des systèmes.

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	Consommations (kWep.h/m ² .an)		
	Prévues	Réelles	Référence
Chauffage	14,69	77,43	
ECS	60,56	37,87	
Auxiliaires de ventilation	23,02	29,05	
Auxiliaires de chauffage et ECS	1,79	5,67	
Éclairage	27,57	40,04	
TOTAL	127,63	190,05	221,27

Les consommations réelles de cette seconde année de suivi sont très nettement supérieures à celles enregistrées la première année (+28,6%). Elles sont 49,8 % plus élevées que les consommations calculées.

Malgré cette importante augmentation des consommations, celles-ci restent inférieures au Cep de référence de la Réglementation Thermique (gain de 14,1%).

Mis à part le cas de l'éclairage, les consommations des différents postes sont globalement supérieures à celles relevées la première année. L'accroissement est important pour les consommations de chauffage (+48,2%) et de ventilation (+92,6%).

Bien que les consommations d'énergie nécessaires à la production d'eau chaude sanitaires augmentent par rapport à la première année de suivi (+16,3%), elles restent très inférieures au calcul théorique (-37,5 %).

L'objectif du suivi et de l'analyse effectuée dans ce chapitre est d'expliquer les différents écarts constatés.

3.2 - Analyse de l'occupation

Comme évoqué lors de l'analyse de l'occupation de la première année de suivi, l'absence d'informations sur l'occupation du bâtiment (nombre d'occupants, horaires d'occupation, périodes de fermeture du bâtiment) ne permet pas de définir un scénario réel d'occupation. Les formulaires d'enquêtes d'occupation communiqués aux services techniques de la mairie de Saint-Léonard-de-Noblat afin de préciser l'utilisation réelle du gymnase n'ont pas été remis au Cerema malgré plusieurs relances. **Par conséquent, il n'est pas possible d'analyser la performance du bâtiment au regard de l'occupation et des apports internes.**

Comme pour la première année de suivi, un scénario d'occupation est considéré afin d'obtenir une première approche du niveau de performance de l'enveloppe. Les hypothèses sont les suivantes.

Population du bâtiment : 20 enfants, 20 adultes

Activité de la population	Repos couché	Repos assis	Activité sédentaire	Activité légère, debout	Activité moyenne, debout
Pourcentage de la population adultes	0%	0%	10%	40%	50%
Pourcentage de la population adultes	0%	0%	5%	15%	80%

Le scénario retenu diffère de celui de la première année de suivi. Il prend en compte les informations obtenues lors des entretiens réalisés avec les services techniques de la ville à l'occasion des relèves de capteurs. Ce scénario considère une occupation plus importante du gymnase : 12h d'occupation par jour (8h – 22h avec une pause méridienne d'une heure) en semaine mais également les week-ends.

En période scolaire (36 semaines par an), on considère que le gymnase est réservé :

- aux écoles de 8h à 16h, du lundi au vendredi, avec 20 élèves et 2 enseignants ;
- aux activités sportives pour les enfants, 2 soirs par semaine, 3 heures par soir, avec 15 enfants et 2 adultes ;
- aux activités sportives pour les adultes 3 soirs par semaine (3 heures/soir) avec 20 adultes ;
- aux activités sportives partagées entre les enfants et les adultes les week-ends (10 heures par jour).

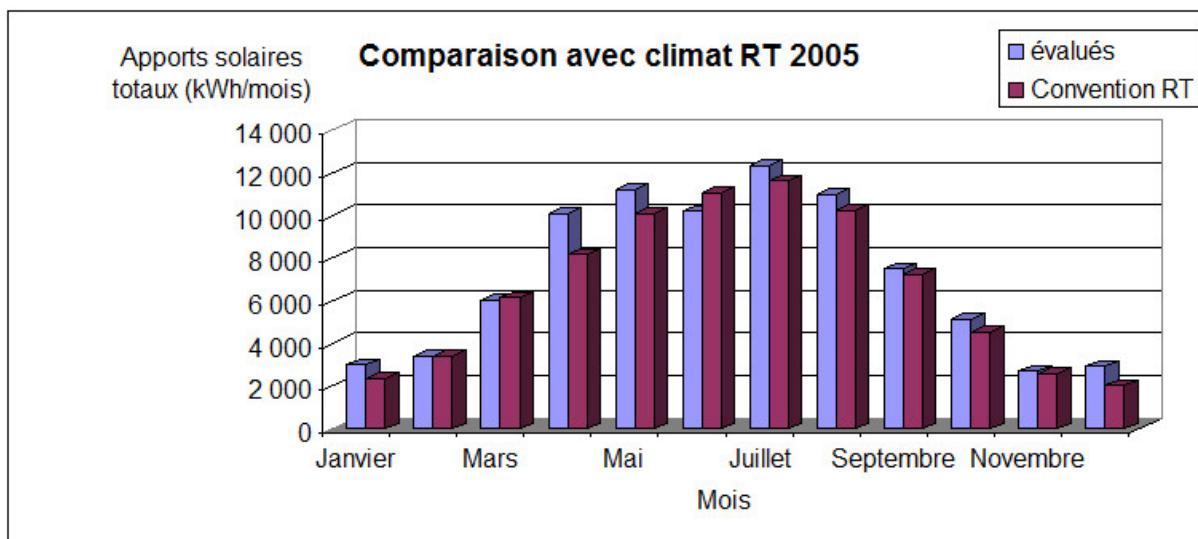
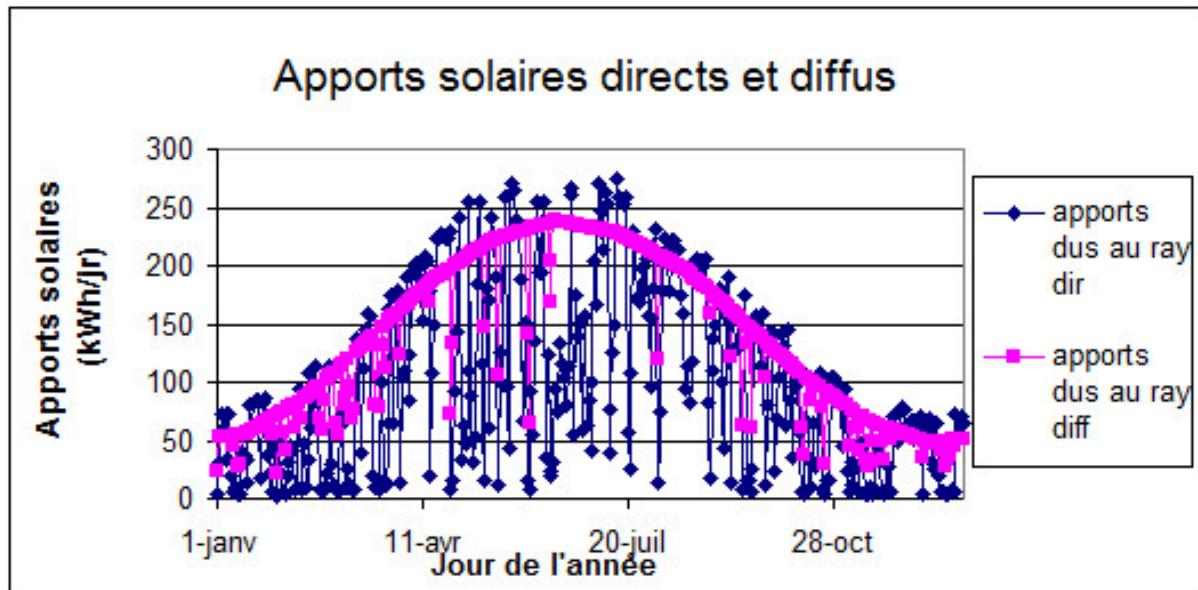
Hors période scolaire, on considère un scénario identique au précédent, déduction faite de l'occupation réservée aux écoles (8h-16h du lundi au vendredi).

Ces différents éléments, qui traduisent une plus forte occupation du gymnase que durant la première année de suivi, permettent d'évaluer les apports internes dus aux occupants à 165 kWh par semaine.

3.3 - Apports solaires

Les données traitées couvrent une période allant du 1^{er} juin 2016 au 31 mai 2017. Elles proviennent de la station

météo installée sur le site du gymnase. Les données sont aggrégées afin de pouvoir les comparer aux apports solaires du climat de référence (du 1^{er} janvier au 31 décembre).



Sur le second graphique, nous constatons que les apports solaires de l'année sont supérieurs à ceux prévus par le climat de référence. Les apports solaires évalués sont supérieurs de 7,5% à ceux du climat de référence (contre seulement 2,5% pour la première année de suivi).

Ce supplément d'apports solaires est assez bien réparti entre les mois d'hiver (période de chauffage) et le reste de l'année. Cela devrait logiquement avoir un impact positif sur les consommations de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire et d'éclairage. Par ailleurs, cela pourrait avoir un impact négatif sur la Tic puisque nous observons d'importants apports solaires aux mois de juillet et août.

3.4 - Analyse de l'enveloppe

3.4.1 - Méthodologie et hypothèses

La méthodologie est identique à celle utilisée la première année de suivi (cf. paragraphe 2.4.1). Les apports internes sont corrigés par rapport à la première année de suivi conformément au paragraphe 3.2. Ils sont évalués à 165 kWh par semaine sur l'ensemble de l'année.

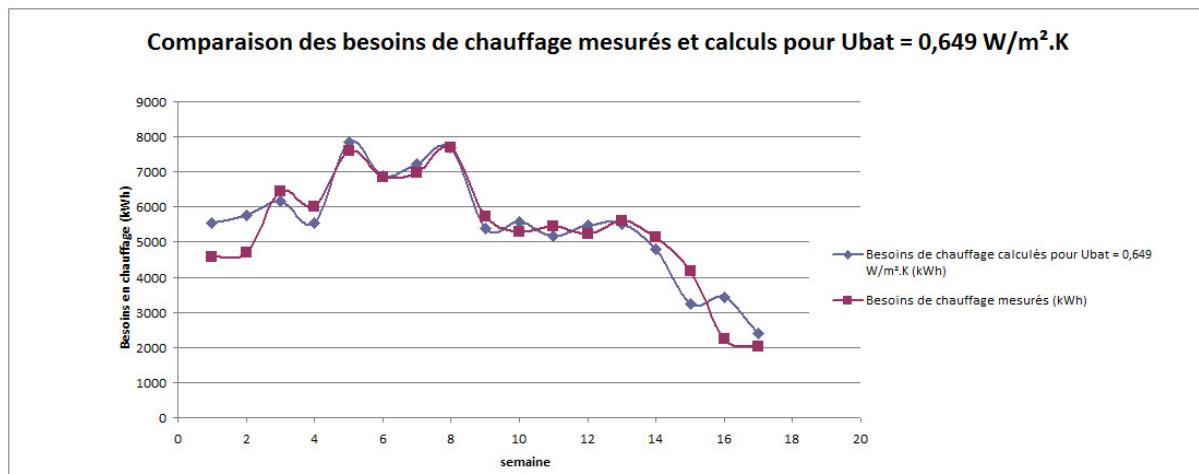
3.4.2 - Résultats obtenus sur le coefficient $U_{bât}$

Le tableau ci-dessous donne le résultat obtenu, ainsi que le $U_{bât}$ théorique.

$U_{bât}$ théorique [W/m ² .K]	$U_{bât}$ mesuré [W/m ² .K]
0,390	0,648

Pour cette seconde année de suivi, les performances estimées de l'enveloppe sont nettement inférieures aux performances théoriques (environ 66,15%). Elles restent néanmoins en dessous de la valeur de $U_{bât}$ avant travaux (0,837 W/m².K) et du $U_{bât\max}$ (0,735 W/m².K).

Le graphe ci-dessous compare, pour les semaines de début décembre 2016 à fin mars 2017, les besoins réels mesurés sur le bâtiment et les besoins recalculés avec un $U_{bât}$ mesuré.



L'absence d'informations complémentaires précises sur l'occupation du gymnase ne permet pas de lever la part d'incertitude sur le calcul des apports internes et donc sur l'évaluation de la performance de l'enveloppe.

Pour cette seconde année de suivi, le $U_{bât}$ retenu s'élève à 0,648 W/m².K.

Celui-ci explique une partie des surconsommations de chauffage sur l'année. Son impact est évalué par la suite.

3.5 - Analyse du confort hiver/été

3.5.1 - Locaux suivis

Les locaux considérés sont les mêmes que lors de la première année - cf. paragraphe 2.5.1.

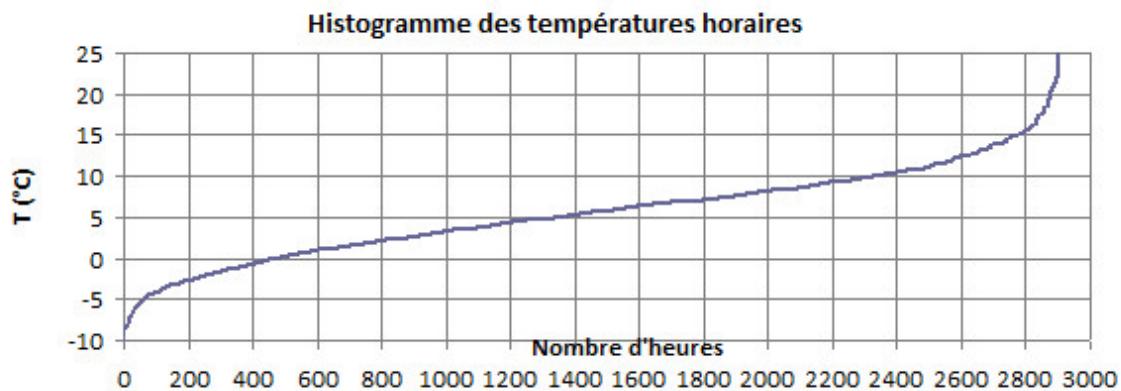
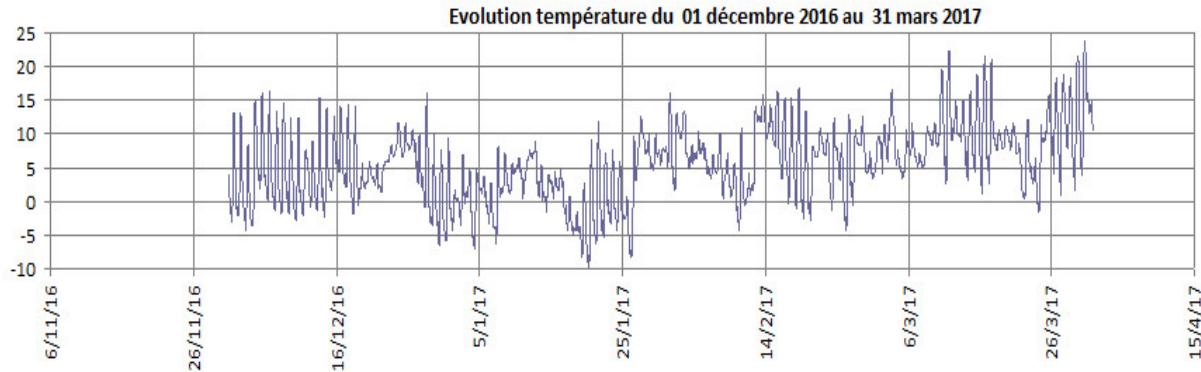
3.5.2 - Présentation des résultats

Idem première année – cf.paragraphe 2.5.2.

3.5.3 - Confort d'hiver

Conditions extérieures

Températures extérieures constatées du 1^{er} décembre 2016 au 31 mars 2017 :



La seconde année de suivi permet d'observer le fonctionnement du bâtiment sous des conditions météorologiques plus froides que celles de la première année. La température extérieure a été négative sur plus de 400 heures soit deux fois plus que lors de la première année de suivi.

Zones de confort

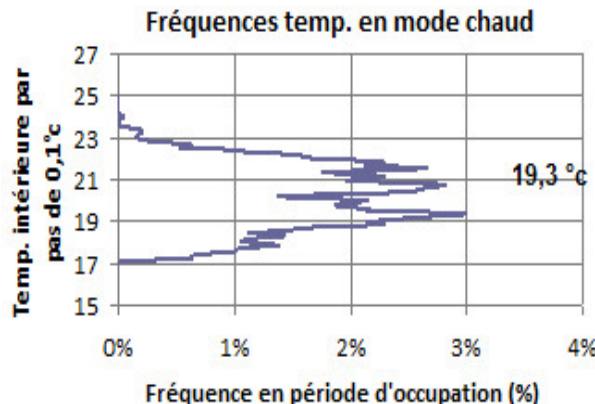
Comme lors de la première année, l'analyse du confort d'hiver est réalisée pour chaque zone à usage spécifique du gymnase. Lorsque que plusieurs capteurs de température et d'hygrométrie se trouvent dans une même zone, la moyenne des valeurs mesurées est prise en compte.

Les valeurs pour l'activité la plus fréquente (équivalent métabolique : MET) et l'habillement min/max sont conservées à l'identique (cf. paragraphe 2.5.3).

Ci-dessous figurent les résultats obtenus pour la période du 1^{er} décembre 2016 au 31 mars 2017.

Aire de jeu (Moyenne des capteurs 1, 2, 3 et 4)

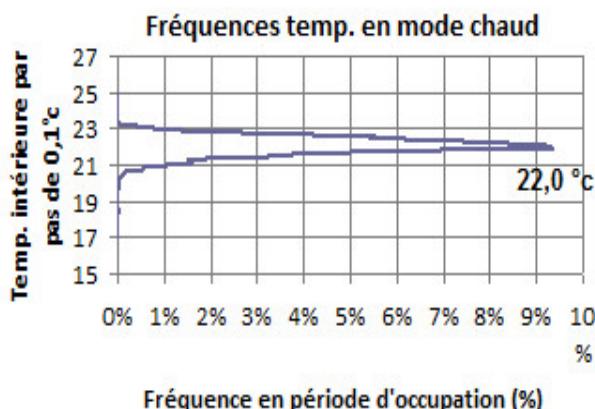
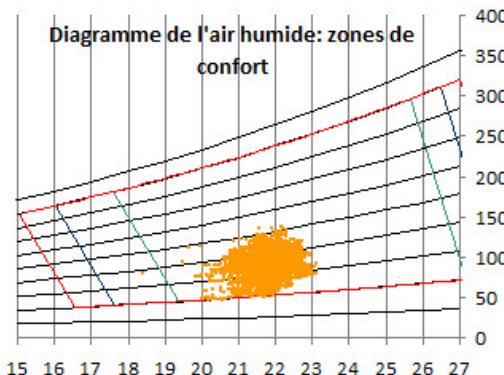
L'activité considérée pour l'aire de jeu correspond à une activité marche à plat à 4 km/h. L'équivalent métabolique (MET) permettant de mesurer l'intensité d'une activité physique et la dépense énergétique associée est fixé à 2,8.



	PMV	Nb d'heures
Catégorie IV- [-2;-0,7]		0
Catégorie III- [-0,7;-0,5]		0
Catégorie II- [-0,5;-0,2]		0
Catégorie I [-0,2;+0,2]		0
Catégorie II+ [+0,2;+0,5]		87
Catégorie III+ [+0,5;+0,7]		148
Catégorie IV+ [+0,7;+2]		1181

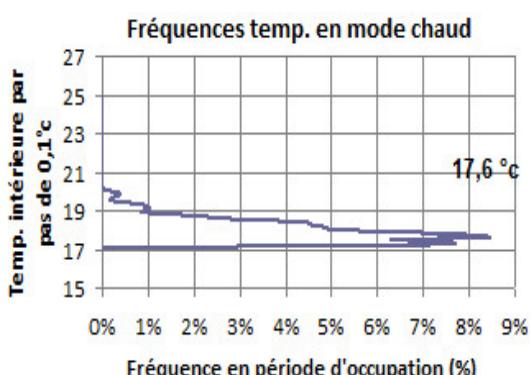
Vestiaires (moyenne des capteurs 7 et 8)

Sur ces graphiques 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.

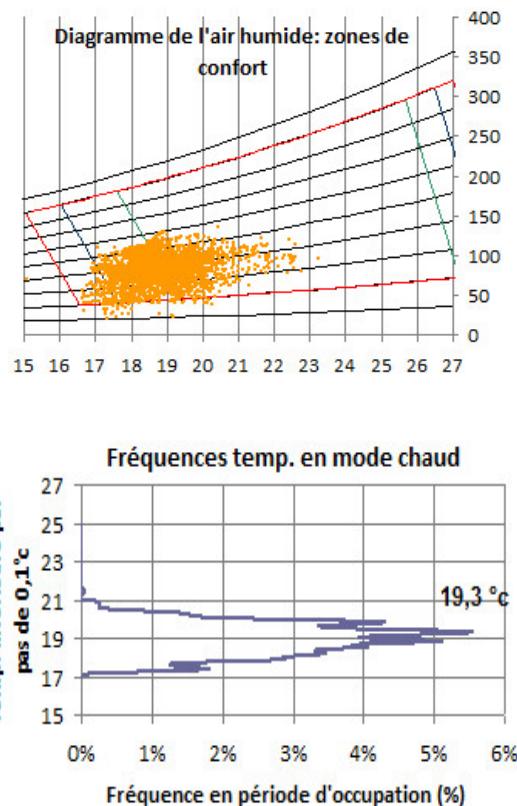


	PMV	Nb d'heures
Catégorie IV-	[-2;-0,7]	0
Catégorie III-	[-0,7;-0,5]	0
Catégorie II-	[-0,5;-0,2]	15
Catégorie I	[-0,2;+0,2]	1 401
Catégorie II+	[+0,2;+0,5]	0
Catégorie III+	[+0,5;+0,7]	0
Catégorie IV+	[+0,7;+2]	0

Zone de stockage



	PMV	Nb d'heures
Catégorie IV-	[-2;-0,7]	124
Catégorie III-	[-0,7;-0,5]	288
Catégorie II-	[-0,5;-0,2]	908
Catégorie I	[-0,2;+0,2]	82
Catégorie II+	[+0,2;+0,5]	14
Catégorie III+	[+0,5;+0,7]	0
Catégorie IV+	[+0,7;+2]	0

Salle des clubs

PMV	Nb d'heures
Catégorie IV- [-2;-0,7]	1
Catégorie III- [-0,7;-0,5]	47
Catégorie II- [-0,5;-0,2]	1 275
Catégorie I [-0,2;+0,2]	93
Catégorie II+ [+0,2;+0,5]	0
Catégorie III+ [+0,5;+0,7]	0
Catégorie IV+ [+0,7;+2]	0

Les relevés de cette seconde année confirment que les conditions hygrothermiques sont relativement différentes d'un espace à l'autre. C'est dans l'espace vestiaires que la température de consigne est la plus élevée, ce qui est tout à fait en adéquation avec l'usage de cet espace.

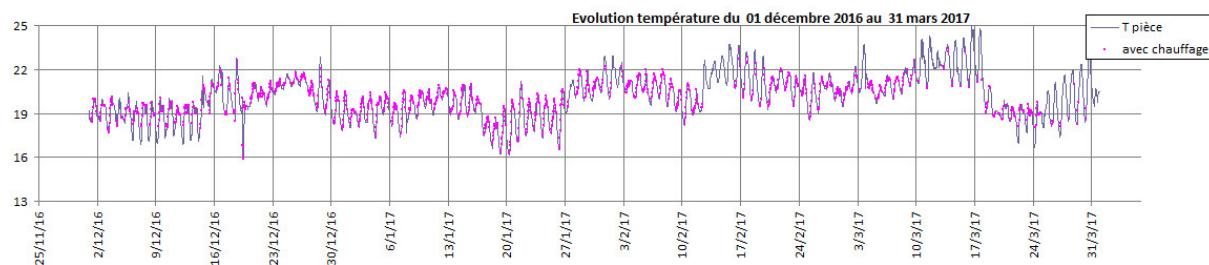
De manière plus flagrante que lors de la première année, on note que les températures enregistrées au niveau de l'aire de jeu sont élevées. Les PMV associés à ces relevés montrent un nombre important d'heures d'inconfort pour une activité sportive intensive (MET important). La fréquence des températures enregistrées dans la salle de jeu montre que plusieurs régimes de températures semblent exister, le plus fréquent se situant autour de 19,3°C et les deux autres autour de 21°C.

Les conditions légèrement fraîches observées dans le local de stockage ne sont pas préjudiciables.

Pour la salle des clubs, les résultats observés sont assez proches de ceux de la première année de suivi.

Comportement général du bâtiment

Si nous effectuons une moyenne pondérée en fonction du volume des différentes zones analysées ci-avant, nous obtenons la courbe de température suivante :



La présence d'un réduit de nuit est toujours visualisée. Néanmoins, nous ne voyons pas apparaître de gestion différenciée les week-ends ou en période de congés scolaires. Ceci traduit vraisemblablement une forte utilisation du gymnase.

Des modifications de réglages ont vraisemblablement été réalisées à partir du 27 janvier. En effet, sur la période comprise entre le 27 janvier et le 17 mars 2017, les températures enregistrées sont en moyenne supérieures de plus de trois degrés au reste de la période d'observation.

Température de consigne mesurée au niveau du bâtiment

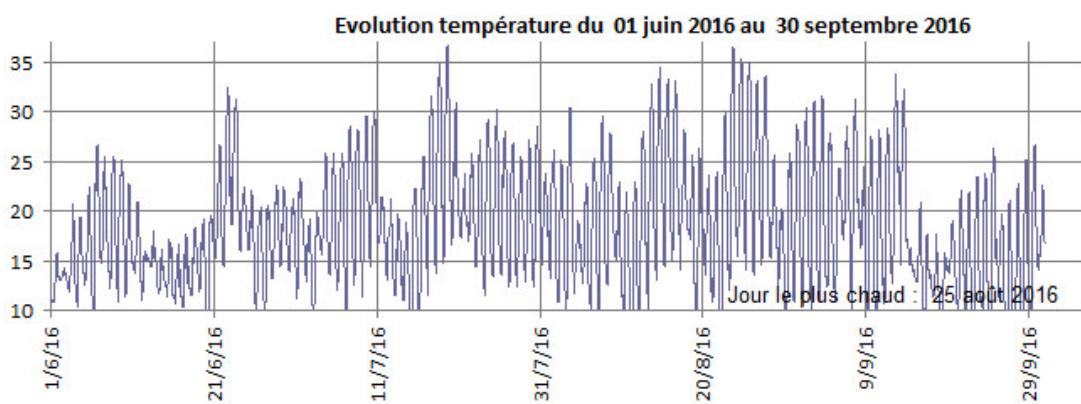
La température de consigne mesurée pour l'ensemble du bâtiment (pondération surfacique) s'élève à **20,8°C soit 2,4°C de plus que pour la première année de suivi**. Ceci est vraisemblablement la conséquence du réglage de température observé entre le 27 janvier et le 17 mars 2017.

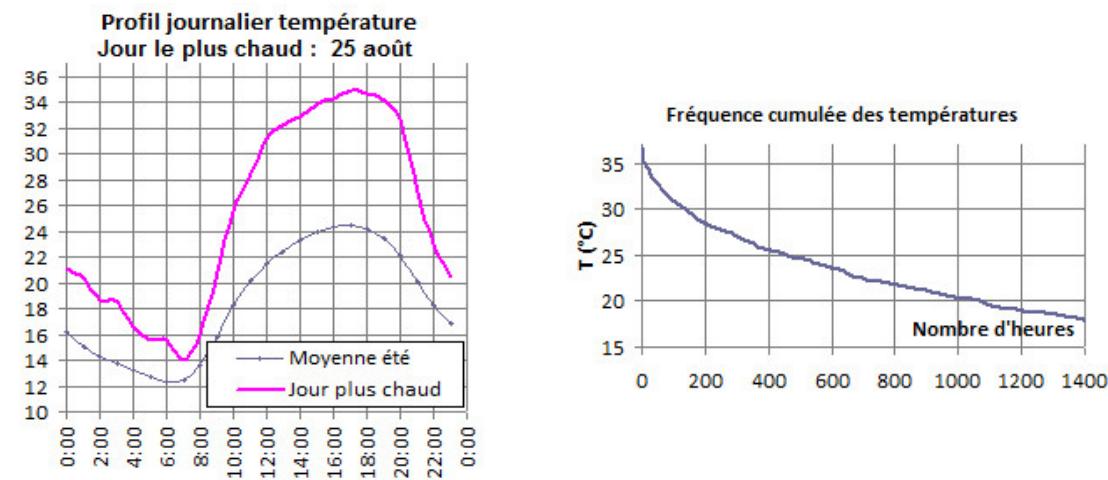
Cette température de consigne mesurée est par conséquent très supérieure à la température de consigne théorique de 17,4°C (cf. paragraphe 2.5.4). Elle devrait être à l'origine d'une surconsommation de chauffage importante sur l'année. **Son impact est évalué par la suite.**

3.5.4 - Confort d'été

La période considérée pour la seconde année de suivi s'étend du 1^{er} juin au 30 septembre 2016.

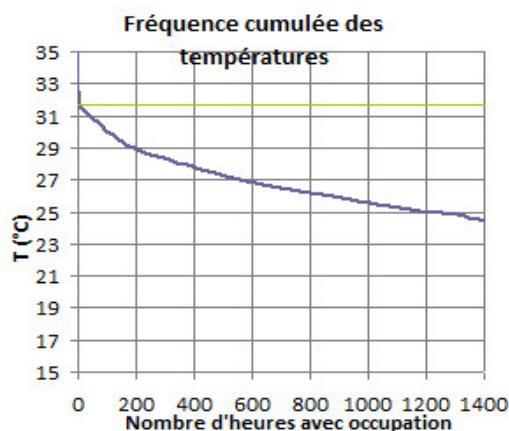
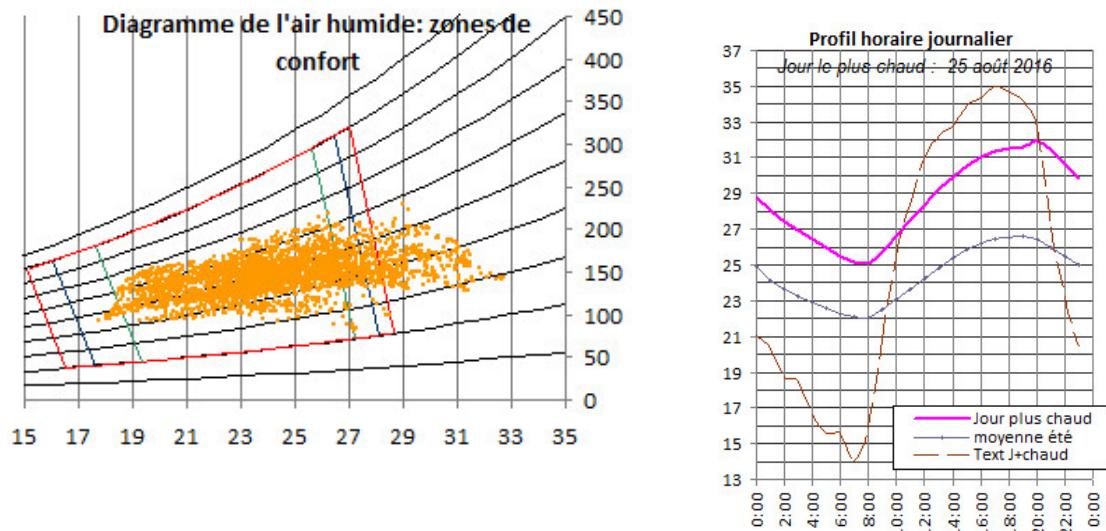
Conditions extérieures





Les conditions météorologiques enregistrées sur cette période montrent que les températures extérieures ont dépassé les 25°C pendant environ 450 heures. Le jour le plus chaud de la période est le 25 août 2016. La température moyenne extérieure du jour le plus chaud s'élève à 25,1°C seulement. Les conditions estivales extérieures ont été légèrement moins chaudes que celles observées lors de la première année de suivi.

Pour chaque zone du bâtiment, le calcul de la Tic expérimentale est réalisé sur la journée la plus chaude de la période considérée. Il s'agit du troisième jour des trois jours consécutifs les plus chauds constatés au niveau des températures intérieures. Les graphes ci-dessous présentent les résultats obtenus pour chaque zone.

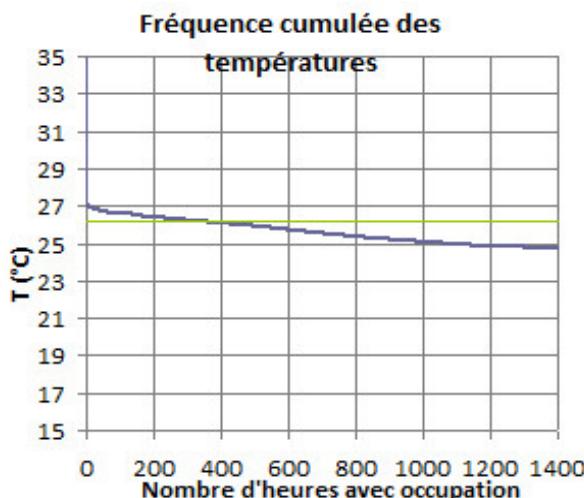
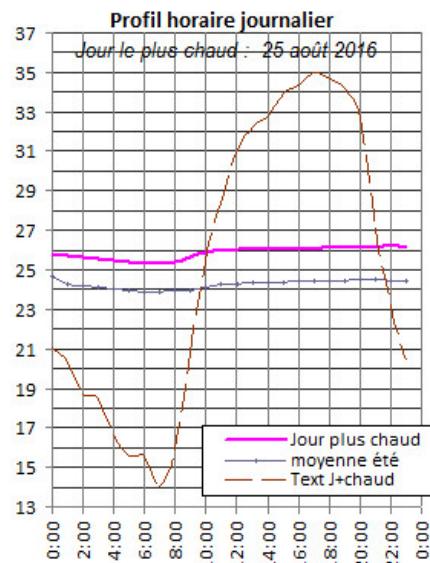
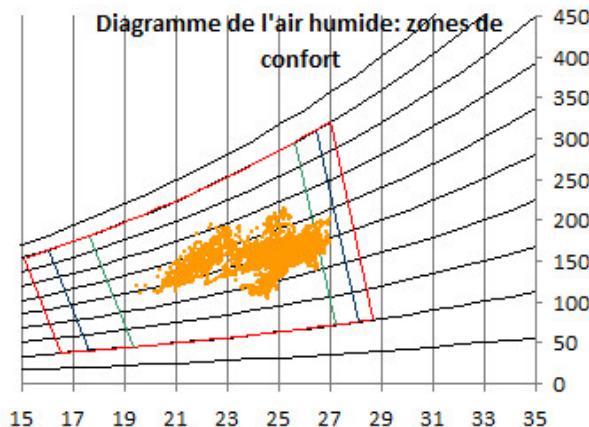
Aire de jeu (Moyenne des capteurs 1, 2, 3 et 4)

EN NF 15251 Nb d'heures	Ambiance contrôlée	Ambiance non contrôlée
Catégorie IV-	0	129
Catégorie III-	17	273
Catégorie II-	509	377
Catégorie I	1 360	1 686
Catégorie II+	1 051	197
Catégorie III+	113	146
Catégorie IV+	329	120

Text Moy J+chaud = 25,1°C

Tic expérimentale = 31,7°C

Tic équivalent RT = 30,4°C

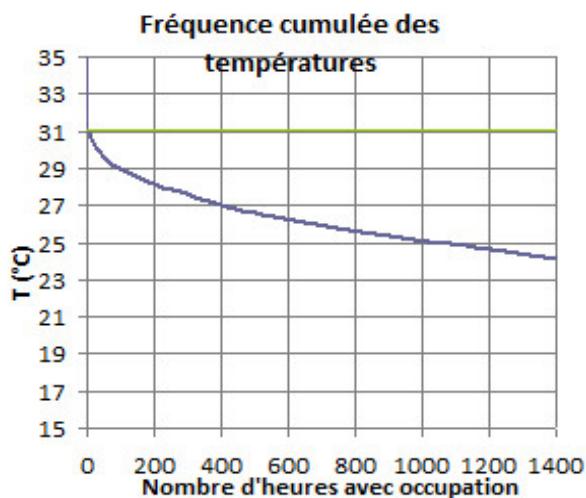
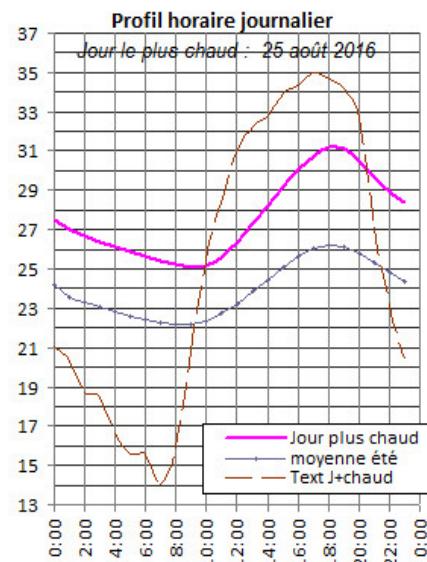
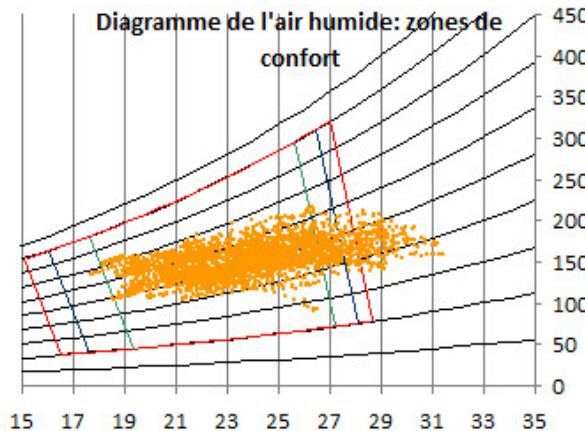
Vestiaires (moyenne des capteurs 7 et 8)

EN NF 15251 Nb d'heures	Ambiance contrôlée	Ambiance non contrôlée
Catégorie IV-	0	1
Catégorie III-	0	27
Catégorie II-	223	338
Catégorie I	1 389	2 560
Catégorie II+	1 772	0
Catégorie III+	0	0
Catégorie IV+	0	0

Text Moy J+chaud = 25,1°C

Tic expérimentale = 26,2°C

Tic équivalent RT = 24,9°C

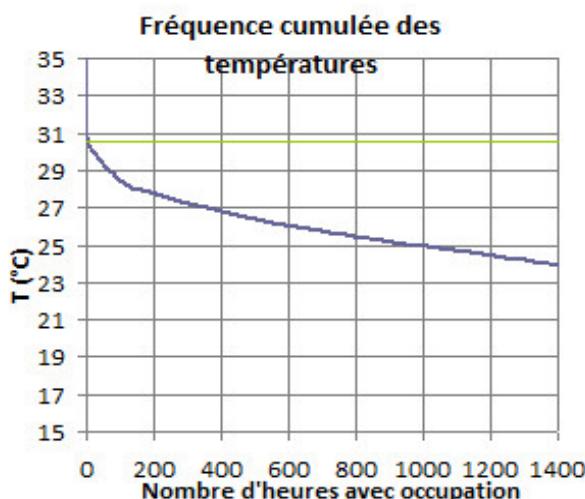
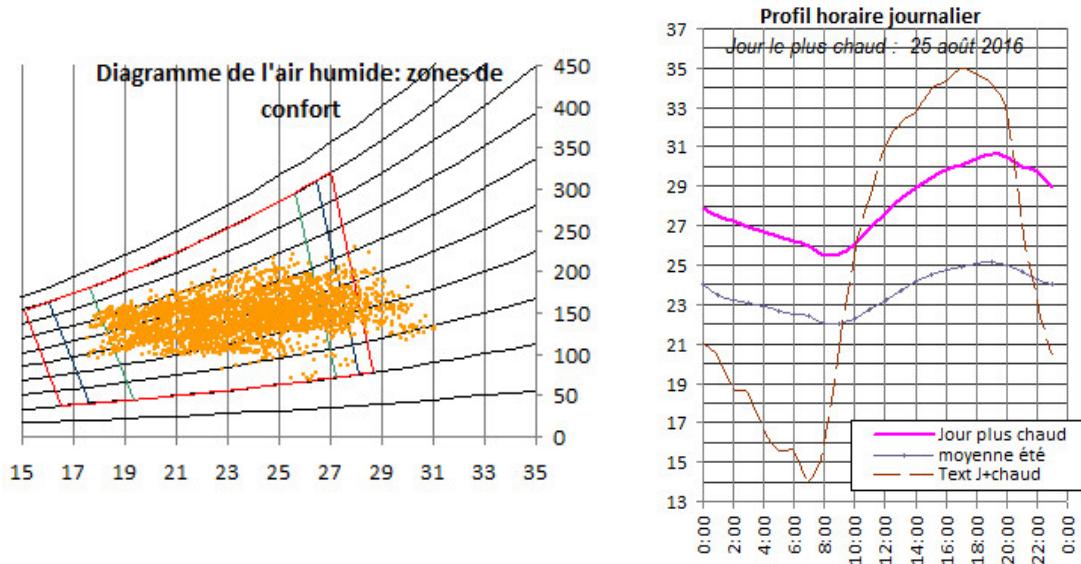
Zone de stockage

EN NF 15251 Nb d'heures	Ambiance contrôlée	Ambiance non contrôlée
Catégorie IV-	0	163
Catégorie III-	10	299
Catégorie II-	632	499
Catégorie I	1 339	1 650
Catégorie II+	1 087	180
Catégorie III+	100	117
Catégorie IV+	216	20

Text Moy J+chaud = 25,1°C

Tic expérimentale = 31,0°C

Tic équivalent RT = 29,7°C

Salle des clubs

EN NF 15251 Nb d'heures	Ambiance contrôlée	Ambiance non contrôlée
Catégorie IV-	0	284
Catégorie III-	26	323
Catégorie II-	735	481
Catégorie I	1 319	1 636
Catégorie II+	1 065	149
Catégorie III+	94	50
Catégorie IV+	145	5

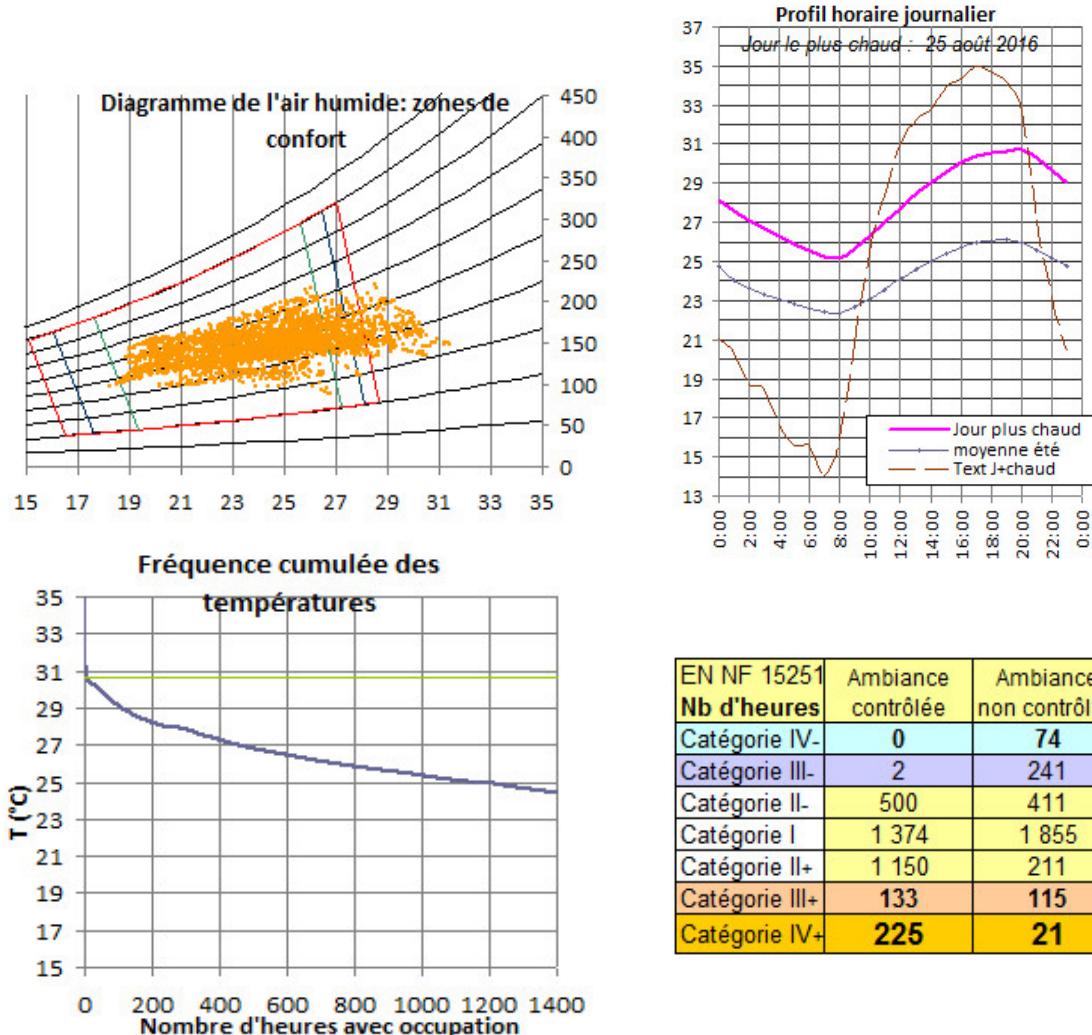
Text Moy J+chaud = 25,1°C

Tic expérimentale = 30,5°C

Tic équivalent RT = 29,2°C

Nous effectuons les mêmes types d'analyses au niveau du bâtiment en considérant les moyennes pondérées surfaciques des températures et taux d'hygrométrie relevés. Nous obtenons les résultats suivants.

Ensemble du bâtiment



Les conditions météo estivales enregistrées lors de cette seconde année de suivi sont légèrement moins chaudes que celle de la première année. Cependant, les graphiques de confort laissent apparaître un nombre important de mesures en dehors du polygone de confort. Comme la première année, seule la zone vestiaires présente un bon diagramme de confort. Les températures mesurées dans cet espace au cours de l'été 2016 ne dépassent pas 27°C.

Les températures relevées dans les autres zones du bâtiment dépassent 27°C sur environ 600 heures pour l'aire de jeu et 400 heures pour la zone de stockage et la salle des clubs.

Les Tic expérimentales obtenues pour chaque zone sont légèrement plus faibles que celles de la première année. Ce résultat correspond bien aux observations météorologiques.

Les bons résultats obtenus pour la zone vestiaire sont confirmés.

La Tic expérimentale obtenue pour l'ensemble du bâtiment s'élève à 30,7°C. Celle-ci est supérieure à la Tic théorique qui s'élevait à 27,89°C. L'absence ou la mauvaise gestion de dispositifs de protection au niveau des puits de lumière expliquent vraisemblablement ce dépassement.

3.6 - Analyse du fonctionnement des systèmes chauffage et eau chaude sanitaire

3.6.1 - Production de chauffage

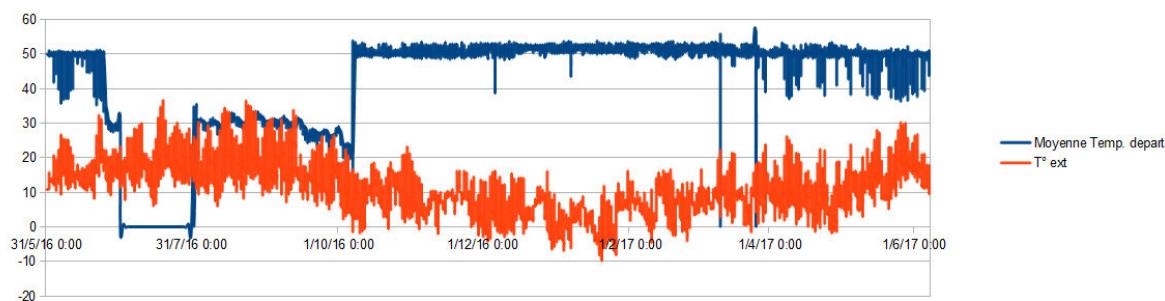
Comme lors de la première année de suivi, la consommation annuelle de gaz est nulle. Seul 1 m³ de gaz a été consommé le 6 décembre 2016. L'hypothèse d'une mise en fonctionnement de la chaudière lors d'une opération de maintenance est probablement à l'origine de cette consommation.

Le compteur gaz semble fonctionner. Aussi pouvons-nous penser que les consommations de gaz sont nulles car la chaudière gaz n'est jamais appelée en appont du chauffage principal (PAC).

À l'instar de la première année, seule la pompe à chaleur est étudiée sur cette seconde année de suivi.

Démarrage de la production de chauffage

Le graphe ci-dessous présente la température moyenne de départ en sortie de PAC et la température extérieure sur l'ensemble de la seconde année de suivi.

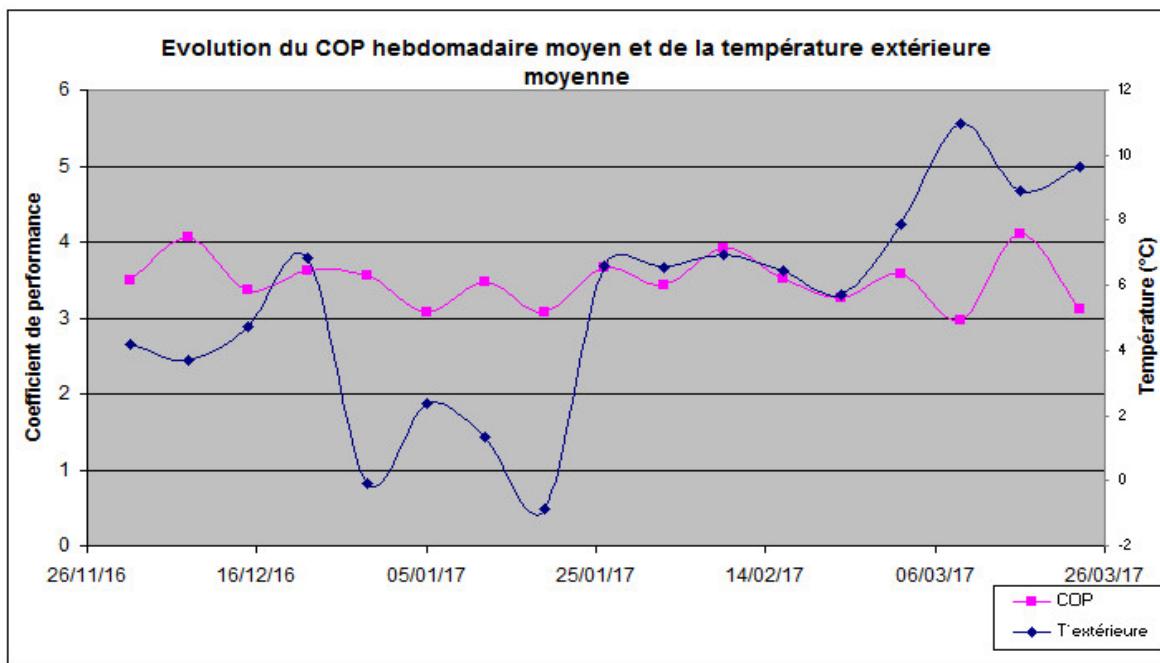


Contrairement à ce que nous observions l'année précédente, nous ne constatons pas de fonctionnement de la PAC en période estivale. Le chauffage assuré par la PAC a débuté le 8 octobre 2016, ce qui est correct pour le début d'une période de chauffe (apparition des premières températures négatives la nuit). La température de départ est stable à 50°C lorsque le chauffage fonctionne.

Coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur

Le calcul du COP de la pompe à chaleur est réalisé sur la période comprise entre le 1^{er} décembre 2016 et le 31 mars 2017. Il est évalué à partir des comptages suivants :

- électricité consommée ;
- compteur calories chauffage aval PAC.



À l'image des observations réalisées lors de la première année de suivi, le COP mesuré sur la saison de chauffe 2016-2017 est relativement stable. Le COP moyen obtenu la seconde année s'élève à 3,48. Il ne descend presque jamais en dessous de 3 y compris lorsque les températures chutent, confirmant ainsi l'intérêt de disposer d'une PAC géothermique.

Le COP évalué est moins performant que celui considéré dans l'étude thermique (5,65) ; il est également à l'origine de surconsommations de chauffage sur l'année. Son impact est évalué par la suite.

3.6.2 - Distribution du chauffage

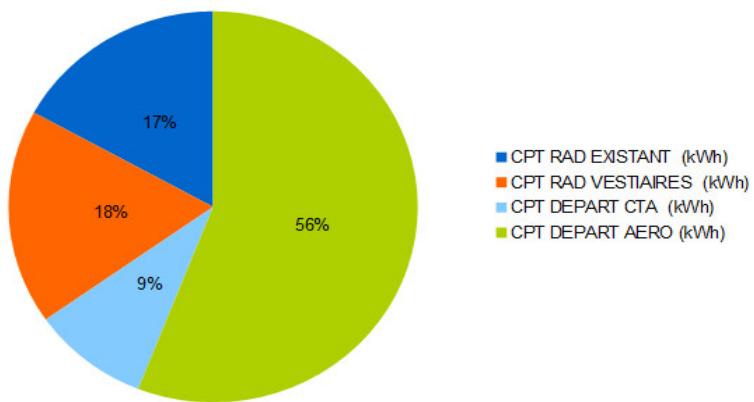
Pertes du réseau primaire de distribution

Comme lors de la première année (cf. paragraphe 2.6.2), nous évaluons les pertes de distribution du réseau de chauffage.

Total énergie produite CPT AVAL PAC (kWh)	Total énergie circuits de chauffage (kWh)	Perte (kWh)	Perte (%)
138 000	125 183	12 817	9,29%

Les pertes d'énergies au niveau du réseau primaire sont estimées pour cette seconde période de chauffe à 12 817 kWh, soit 9,29% de l'énergie produite.

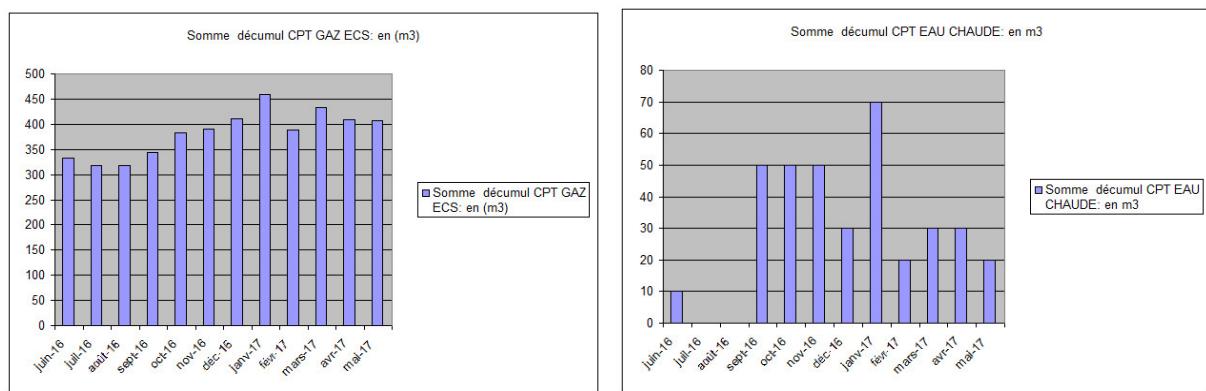
Répartition des consommations de chauffage



Lors de cette seconde année de suivi, nous observons que la part de chauffage destinée à chauffer les espaces de jeu via les aérothermes est en augmentation. Les besoins de chauffage de l'aire de jeu représentent 56% des besoins du bâtiment contre seulement 40% la première année de suivi. Ceci est la conséquence directe de l'augmentation de la température de consigne de cet espace (+1,8°C minimum – cf. paragraphe 3.5.3).

3.6.3 - Production d'eau chaude sanitaire

Pour cette seconde année de suivi, les consommations mensuelles d'eau chaude sanitaire et de gaz destinées à sa production sont les suivantes.

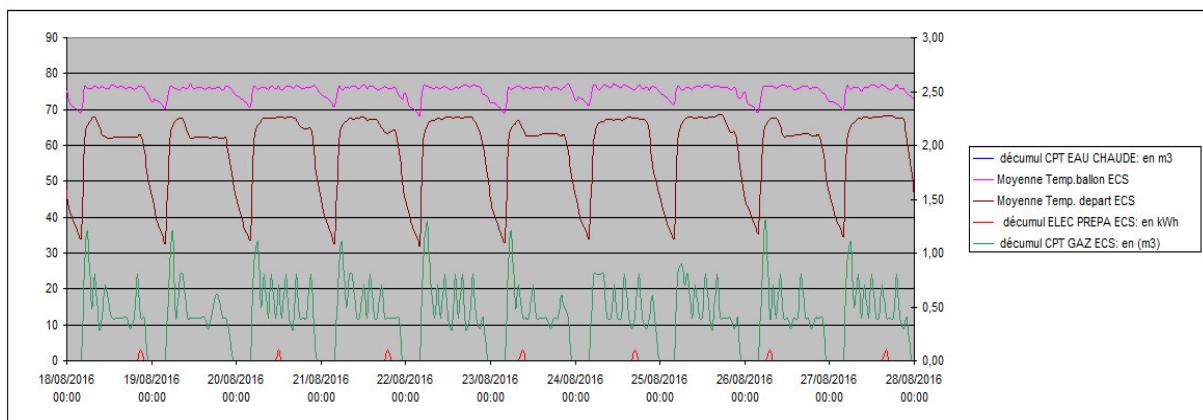


Comme lors de la première année de suivi, la consommation de gaz mensuelle est relativement stable au fil de l'année. Elle s'élève à environ 350 m³ par mois.

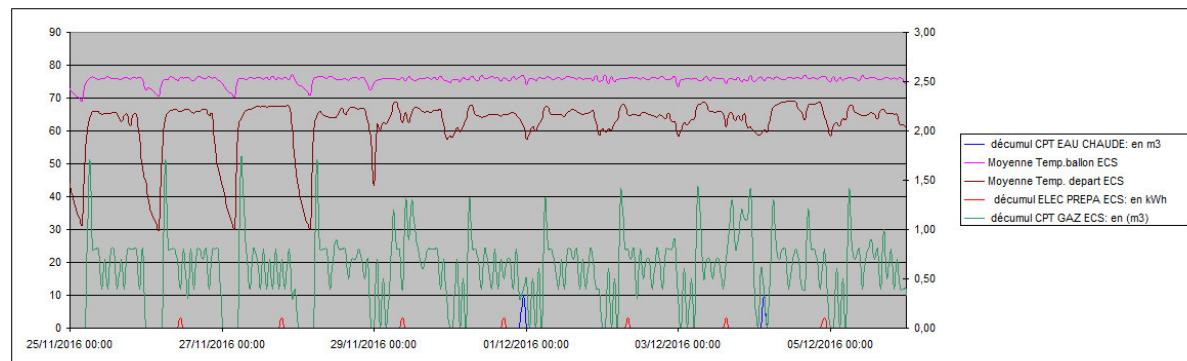
Au global, près de 360 m³ d'eau chaude sont consommés lors de la seconde année de suivi. Cela représente un accroissement de la consommation d'eau chaude de 2,86% entre les deux années de suivi pour un accroissement des consommations de gaz de 16,34%.

Les graphiques ci-après montrent que des réglages de températures du ballon ont été opérés au cours de l'année. Ces modifications expliquent les surconsommations de gaz évoquées précédemment.

Le graphique ci-dessous montre que le préparateur ECS est maintenu en température à 75°C la journée. Une coupure nocturne de 6 heures est également observée. Ce fonctionnement correspond à celui observé la première année de suivi.



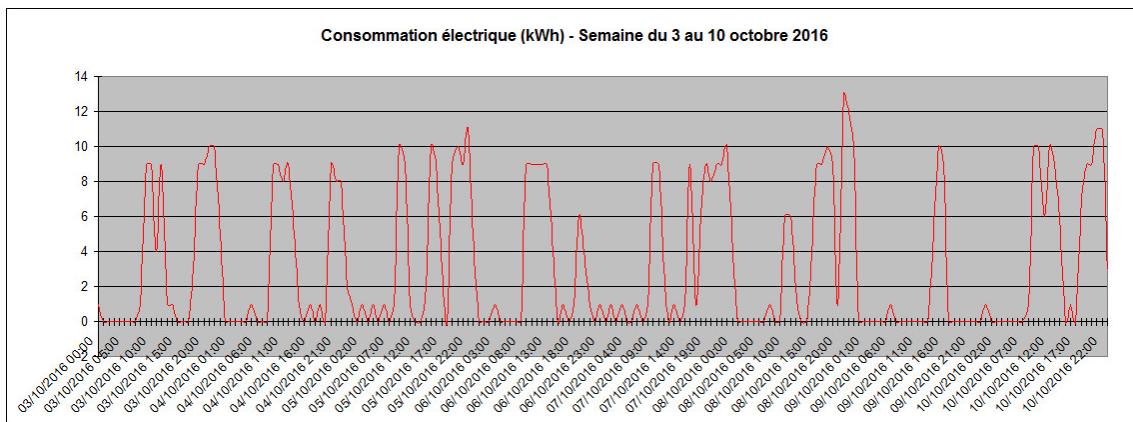
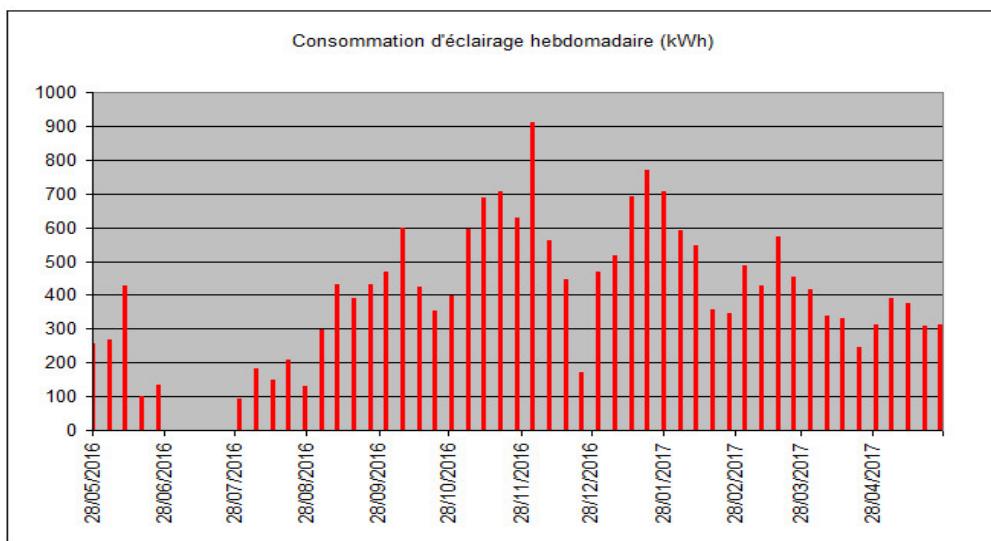
Sur le graphique ci-dessous, nous observons clairement qu'à compter du 29 novembre 2016 la température du ballon est maintenue à 75°C en permanence. Ceci entraîne automatiquement une augmentation de la consommation de gaz. Ce mode de fonctionnement est observé jusqu'au 17 mai 2017, soit durant la moitié de la période considérée.



3.6.4 - Consommation globale d'éclairage

Les consommations d'éclairage hebdomadaires observées au cours de cette seconde année de suivi sont très légèrement inférieures à celles de la première année de suivi (-3,55%). Les apports solaires plus importants peuvent expliquer ce résultat.

Comme lors de la première année, nous constatons que la consommation d'éclairage est directement liée au calendrier scolaire.



Si nous observons les consommations sur une semaine (en l'occurrence du 3 au 10 octobre 2016), nous visualisons parfaitement les plages d'utilisation des éclairages. Elles correspondent aux observations réalisées la première année de suivi (cf. paragraphe 2.6.4). La consommation horaire est comprise entre 0 et 2 kWh la nuit. Elle peut atteindre 13 kWh en journée y compris les week-ends (par exemple, samedi 8 et dimanche 9 octobre 2016).

Globalement, l'utilisation plus importante du gymnase - tant en nombre de jours par semaine et qu'en amplitude horaire - que celle prévue par le calcul conventionnel de la méthode RT existant explique que les consommations d'éclairage soient plus importantes que prévu (+ 45,23%).

3.7 - Analyse des consommations des auxiliaires

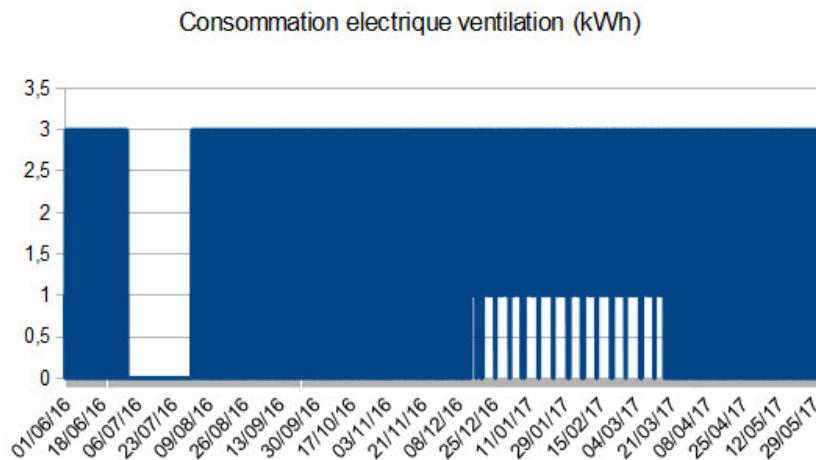
3.7.1 - Auxiliaires de chauffage et ECS

Comme lors de la première année, la consommation des auxiliaires de chauffage et d'ECS est très importante par rapport au calcul théorique (+216,76%). Celle-ci est quasiment intégralement (plus de 99%) issue de la régulation et des pompes de circulation des réseaux de chauffage.

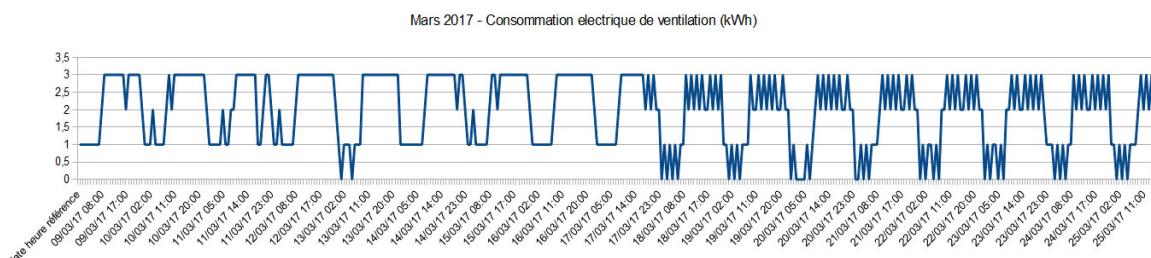
3.7.2 - Auxiliaires de ventilation

Les consommations réelles des auxiliaires de ventilation sont pour cette seconde année de suivi supérieures au calcul théorique (+26,19%). Elles sont nettement supérieures à celle de la première année de suivi (+92,64%).

Le régime principal utilisé cette seconde année de suivi correspond à celui mis en service mi-mars 2016 (cf. paragraphe 2.7.2). La prise en compte de ce réglage explique à elle seule l'augmentation significative des consommations entre les deux années de suivi.



Les consommations électriques de ventilation sont nulles au mois de juillet (coupure générale des installations). Un régime différent apparaît entre le 14 décembre 2016 et le 18 mars 2017.



Ce régime de ventilation possède des plages importantes de fonctionnement en continu et à pleine puissance. Il génère une consommation plus importante que le régime principal observé. Sur une durée identique, ce régime génère une surconsommation évaluée à 25%. Ceci explique au moins pour partie que les consommations relevées cette seconde année de suivi soient supérieures à celles du calcul théorique.

3.8 - Consommations recalées

Les consommations théoriques, issues du calcul réglementaire, doivent être recalées avant d'être comparées aux consommations réelles. Les paramètres relevant de la différence « conventionnel/prévisionnel » sont modifiés dans le calcul réglementaire. Les paramètres liés aux usages du bâtiment sont corrigés dans la partie suivante.

Les modifications portent ainsi sur :

- le climat : le fichier météo est remplacé par le climat réel de l'année de suivi (données obtenues via la station météo) ;
- les apports internes (cf. paragraphe 3.2).

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	Delta	Perte
Consommation totale	129,94	2,31	1,81%
Consommation chauffage	14,51	-0,18	-1,24%
Consommation ECS	60,56	0,00	0,00%
Auxiliaire de ventilation	23,02	0,00	0,02%
Auxiliaires de chauffage et ECS	1,85	0,06	3,58%
Éclairage	30,00	2,43	8,80%

Les conditions météorologiques de cette seconde année de suivi ont été relativement proches de celles enregistrées lors de la première année. Les températures enregistrées semblent assez proches de celles du climat conventionnel de la zone H1c.

Comme lors de la première année de suivi mais dans un degré moindre, les consommations d'éclairage sont impactées par la modification du fichier météo. Cela corrobore les observations relatives à l'ensoleillement formulées au paragraphe 3.3.

Globalement, les conditions météorologiques devraient être à l'origine d'une augmentation significative des consommations pour ce poste (+2,31 kWhep/m².an).

Impact des apports internes

Le tableau ci-dessous présente, les consommations théoriques recalées en fonction de l'occupation du bâtiment et des apports internes. Pour cette seconde année de suivi, les hypothèses retenues sont présentées au paragraphe 3.2.

Impact des apports internes			
	Consommation corrigée	Delta	Perte
Consommation totale	129,24	1,62	1,27%
Consommation chauffage	14,45	-0,24	-1,65%
Consommation ECS	60,56	0,00	0,00%
Auxiliaire de ventilation	24,89	1,87	8,14%
Auxiliaires de chauffage et ECS	1,77	-0,02	-0,91%
Éclairage	27,57	0,00	0,00%

L'impact lié aux apports internes devrait se traduire par une légère augmentation des consommations énergétiques (+1,27%).

Synthèse

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

SYNTHESE (climat, occupation)			
	Consommation corrigée	Delta	Perte
Consommation totale	131,63	4,00	3,13%
Consommation chauffage	14,27	-0,42	-2,88%
Consommation ECS	60,56	0,00	0,00%
Auxiliaire de ventilation	24,95	1,93	8,39%
Auxiliaires de chauffage et ECS	1,85	0,06	3,61%
Éclairage	30,00	2,43	8,80%

Au global, les consommations réelles devraient être supérieures de 3,13% cette année par rapport au calcul théorique. Les consommations réelles sont beaucoup plus importantes. D'autres paramètres liés au bâtiment diffèrent. Des corrections complémentaires doivent être apportées à ce calcul recalé.

3.9 - Consommations corrigées

Tous les autres écarts constatés entre le calcul théorique et la réalité sont pris en compte ici. Les consommations théoriques recalées ci-avant seront corrigées de la façon suivante :

- température de consigne dans les locaux : +5,8°C hors variation spatiale et temporelle ;
- perméabilité à l'air considérée à 3 m³/(h.m²) ;
- Coefficient de performance mesuré de la pompe à chaleur : 3,48 ;
- U_{bât} réel mesuré égal à 0,649 W/m².K ;
- besoin en ECS égal à 49 817 kWh/an.

Enfin, nous évaluons l'impact d'une correction simultanée de l'ensemble des paramètres sur le calcul théorique recalé précédemment. Ce dernier calcul est le mieux à même d'expliquer l'origine des surconsommations constatées.

3.9.1 - Correction de la température de consigne

Sur la saison de chauffe 2016/2017, le gymnase a en moyenne été chauffé à 20,8°C. Cette valeur est retenue comme température de consigne mesurée. Un écart de 5,8°C est ainsi relevé par rapport à la valeur conventionnelle hors variations spatiales et temporelles.

Impact de la température de consigne			+ 5,8°C
	Consommation corrigée	Delta	Perte
Consommation totale	139,62	11,99	9,39%
Consommation chauffage	24,40	9,70	66,06%
Consommation ECS	60,56	0,00	0,00%
Auxiliaire de ventilation	24,12	1,11	4,81%
Auxiliaires de chauffage et ECS	2,96	1,18	65,88%
Éclairage	27,57	0,00	0,00%

Cette température de consigne est responsable d'une surconsommation importante (+9,39%). Les dépenses de chauffage sont supérieures de plus de 66% au résultat du calcul théorique.

L'accroissement de la température de consigne observé entre la première et la seconde année de suivi (+2,4°C) se traduit par une augmentation des consommations de 4,87 kWhep/m².an, confirmant de la sorte l'étude de sensibilité présentée au paragraphe 2.9.7.

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

Comme lors de la première année (cf. paragraphe 2.9.2), l'application de la valeur par défaut de la réglementation au niveau de la perméabilité à l'air du bâtiment génère une surconsommation évaluée à 4,84 kWhep/m²/an par rapport au calcul de l'étude thermique.

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

Comme vu précédemment, le coefficient de performance moyen calculé de la pompe à chaleur pour cette seconde année de suivi est évalué à 3,48.

Impact du coefficient de performance de la PAC			
COP nominal initial	5,65	COP modifié corrigé	3,48
	Consommation corrigée	Delta	Perte
Consommation totale	137,11	9,48	7,43%
Consommation chauffage	23,84	9,15	62,26%
Consommation ECS	60,56	0,00	0,00%
Auxiliaire de ventilation	23,02	0,00	0,00%
Auxiliaires de chauffage et ECS	2,12	0,33	18,70%
Éclairage	27,57	0,00	0,00%

Cet écart est responsable d'une surconsommation de 9,48 kWhep/m².an. par rapport au calcul théorique répartie entre les postes chauffage et auxiliaires de chauffage et ECS.

3.9.4 - Correction avec le U_{bât} réel

Impact du U _{bât}			
U _{bât} initial	0,390	U _{bât} corrigé	0,649
	Consommation corrigée	Delta	Perte
Consommation totale	137,82	10,19	7,99%
Consommation chauffage	23,42	8,73	59,42%
Auxiliaires de ventilation	23,76	0,74	3,22%
Auxiliaires de chauffage et ECS	2,51	0,72	40,47%

Cet écart est responsable d'une surconsommation de 10,19 kWhep/m².an par rapport au calcul théorique.

3.9.5 - Correction avec le besoin en ECS réel

Pour cette seconde année, nous disposons de la consommation annuelle de gaz destinée à la production d'ECS. Le besoin annuel réel est calculé à partir du volume de gaz consommé et d'un PCI gaz de 10,88 kWh/m³.

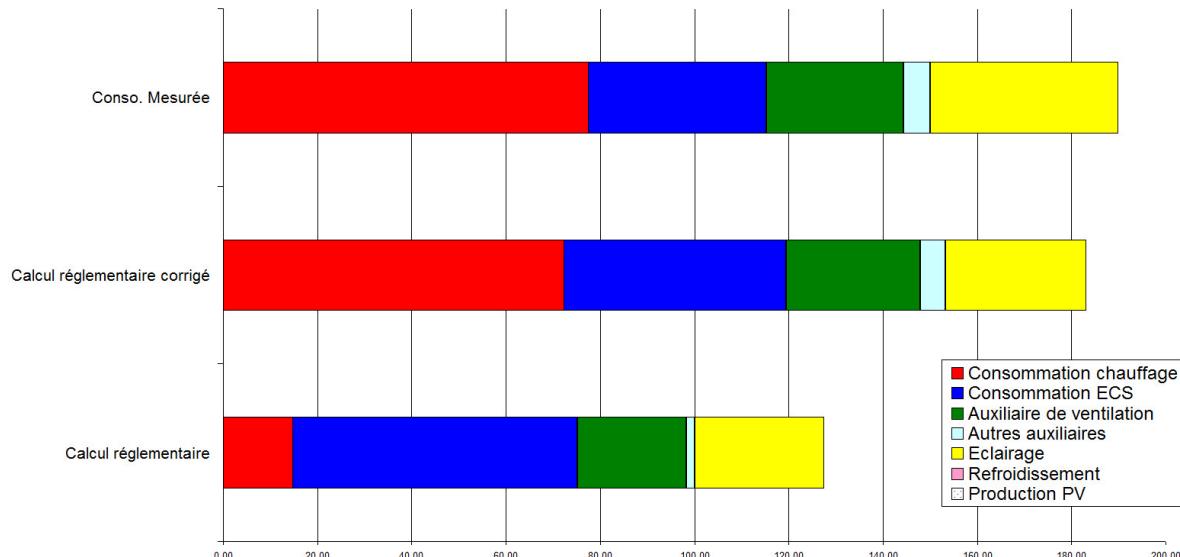
Impact du besoin réel d'ECS			
Besoin estimé (kWh/an)	66 044,84	Besoin corrigé (kWh/an)	49 817,00
	Consommation corrigée	Delta	Perte
Consommation totale	114,23	-13,40	-10,50 %
Consommation ECS	47,15	-13,41	-22,14 %
Auxiliaires de chauffage et ECS	1,79	0,00	0,00 %

L'écart considéré est responsable d'une économie d'énergie de 13,40 kWhep/m².an par rapport au calcul théorique.

3.9.6 - Synthèse des corrections

Les corrections annoncées ci-avant 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. Au global, la prise en compte de l'ensemble des éléments permet d'apporter au calcul théorique les corrections suivantes :

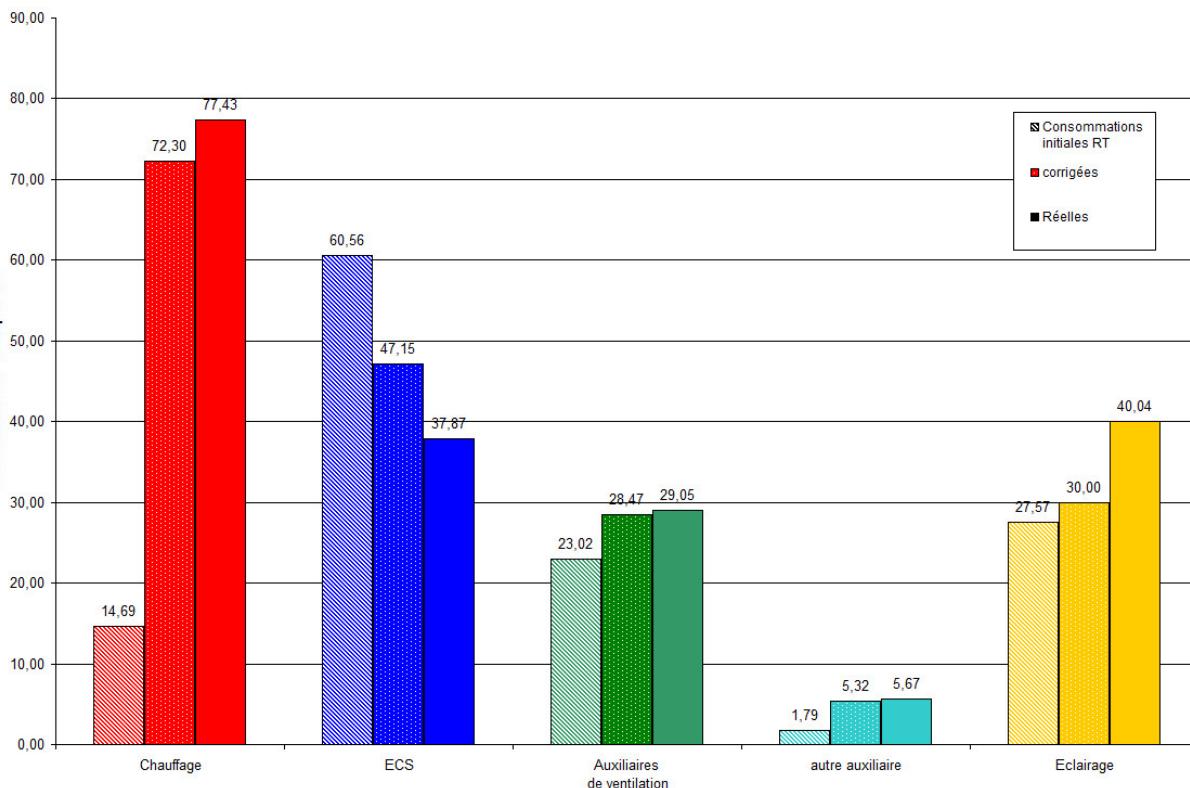
Synthèse des corrections	
Consommation conventionnelle [kW_{ep}.h/m²/an]	127,63
Consommation corrigée [kW_{ep}.h/m²/an], dont :	183,24
Consommation chauffage	72,30
Consommation ECS	47,15
Auxiliaire de ventilation	28,47
Autres auxiliaires	5,32
Éclairage	30,00
Consommation mesurée	190,05



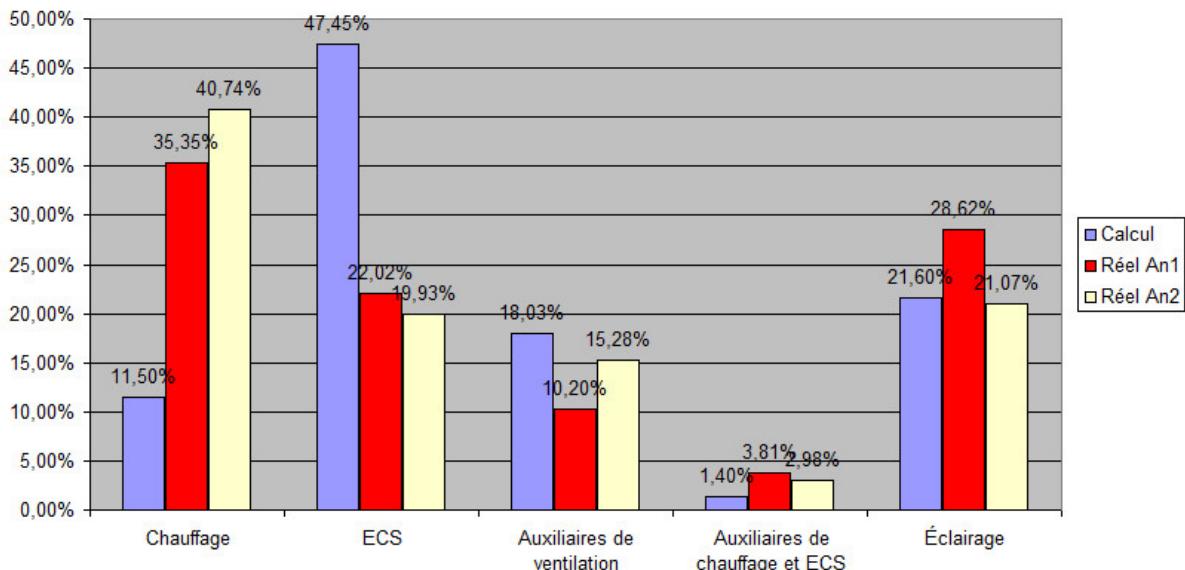
La consommation globale mesurée lors de cette seconde année de suivi est nettement supérieure à celle observée la première année.

La consommation corrigée se rapproche de la consommation mesurée (écart limité à 3,58%).

Graphe par poste de consommation



Les consommations mesurées par poste sont d'une manière générale supérieures à celles de la première année de suivi. Si le poids des dépenses de chauffage est accru cette seconde année de suivi, le poids de chacun des postes sur le bilan énergétique reste assez proche d'une année sur l'autre. Il place le poste chauffage comme principal poste de consommation alors que le calcul théorique ne le plaçait qu'en troisième position.



Le fonctionnement général du bâtiment semble ainsi se confirmer.

Les consommations réelles de chauffage, des auxiliaires (chauffage et ECS) et d'éclairage sont nettement supérieures au calcul théorique. Ce résultat est principalement dû à une utilisation du gymnase plus importante

que celle prévue par le scénario conventionnel, une température de consigne très élevée dans la zone « aire de jeu » mais également à un coefficient de performance de la PAC et une performance générale de l'enveloppe plus faibles que prévu.

L'augmentation de la consommation entre les deux années de suivi est quant à elle essentiellement imputable à une température de consigne plus importante la seconde année.

Si certains réglages des installations auraient pu permettre d'optimiser certains postes de consommation (ex : démarrage de la période de chauffe), d'autres sont venus les augmenter de manière significative. Au-delà de la température de consigne déjà évoquée, les réglages effectués au niveau de la température du ballon d'eau chaude ou encore les correctifs (vraisemblablement nécessaires) apportés au fonctionnement de la ventilation impactent directement ces postes de consommation.

Seules les consommations d'eau chaude sanitaire restent plus faibles que celles prévues par le calcul théorique. Les plages horaires d'utilisation des équipements étant plus importantes que prévu, cette faible consommation pourrait être due à une sous-utilisation au vu des effectifs présents.

4 - Analyse économique

4.1 - Objectifs

L'objectif de l'analyse économique d'une opération PREBAT est en premier lieu d'évaluer la rentabilité économique de l'opération. Le calcul économique est réalisé en coût global en comparant le bâtiment réalisé à une situation de référence. Cette référence est le bâtiment construit avec un niveau de performance réglementaire (RT 2005). 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 13 octobre 2011 ;
- estimations figurant dans le dossier de candidature de l'appel à projet.

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 :

$$\text{Coût global} = \text{Investissement} + \sum_1^N \frac{\text{Coûts énergétiques}}{(1+ae)^i} + \sum_1^N \frac{\text{Coûts entretien}}{(1+a)^i} + \sum_1^N \frac{\text{Coûts remplacement}}{(1+a)^i} - \frac{\text{Valeur résiduelle}}{(1+a)^N}$$

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 précision au niveau des coûts, nous ne considérons pas de coûts d'entretien ou de remplacement des composants et des équipements que ce soit pour le bâtiment projet ou le bâtiment de référence.

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 des 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). **Ne disposant pas de coûts détaillés relatifs à l'opération, nous ne prenons pas en compte la valeur résiduelle.**

Coûts des consommations énergétiques

Seule la consommation des 5 postes de la réglementation est prise en compte. Il s'agit de calculer la différence exprimée en € entre la consommation énergétique du bâtiment projet - influence du climat réel exclue - (appelée Cep projet mesurée climat RT) 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 recalculée du bâtiment projet avec l'outil PREBAT sensibilité (Cep projet recalculée), en tenant compte de l'influence de l'occupation (prise en compte du scénario d'occupation et des apports internes réels ainsi que de la température de consigne mesurée sur site), la consommation "mesurée mais corrigée avec le climat RT" du bâtiment projet (Cep projet mesurée climat RT) et la consommation recalculée du bâtiment de référence (Cep réf recalculée sensibilité) avec l'outil sensibilité en considérant les mêmes modifications que pour le Cep projet recalculé.

Cette solution permet de comparer des bâtiments, version projet et référence, sous le même climat (fichier RT) et avec l'impact de l'occupation réelle.

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

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

SHON 1316 m²

Date d'investissement 2011

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

	Perspective financière	
	PREBAT	Référence
<i>Coûts d'investissement</i>	2 121 704 €	1 983 566 €
<i>Coûts de remplacement</i>	0 €	0 €
<i>Valeur résiduelle</i>	0 €	0 €
<i>Recettes PV</i>	0 €	0 €
<i>Coût énergétique</i>	434 209 €	622 160 €
<i>Coûts d'entretien</i>	0 €	0 €
<i>Coût équivalent CO₂ (PV déduit)</i>		
<i>Coût global actualisé (50 ans)</i>	2 555 913 €	2 605 726 €
<i>Ratio de coût global actualisé / m²</i>	0	
<i>Coût global actualisé sans valeur résiduelle</i>	2 555 913 €	2 605 726 €
<i>Ratio de coût global actualisé / m²</i>	0	

	Perspective macro	
	PREBAT	Référence
1 774 000 €	1 658 500 €	
0 €	0 €	
0 €	0 €	
0 €	0 €	
914 244 €	1 259 848 €	
0 €	0 €	
152 641 €	208 413 €	
2 840 884 €	3 126 761 €	
2 840 884 €	3 126 761 €	

Émissions en tonnes de CO₂

1 012,733 1 382,770

Temps de retour actualisé en années sans valeur résiduelle (PREBAT vs Référence)

	Perspective financière (TTC)	Perspective macro (HT)
	31	21

Si l'on compare les consommations énergétiques observées à celles du 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 (la période de retour sur investissement est évaluée à 31 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 21 ans.

5 - Bilan général et conclusion

Le suivi des consommations réalisé sur la période 2015-2017 permet d'avoir une vision assez précise du comportement du bâtiment et de sa performance énergétique d'ensemble.

Les consommations énergétiques annuelles sont nettement supérieures au calcul réglementaire. Cette surconsommation, limitée à 16% la première année de suivi, augmente à près de 49% la deuxième année. L'analyse détaillée des différents postes de consommation sur deux années permet d'identifier les raisons principales de ces surconsommations.

Le principal poste de consommation est le chauffage. Il représente à lui seul 35% à 40% des consommations enregistrées. Ceci s'explique essentiellement par une température de consigne que nous pouvons juger très élevée au niveau de l'aire de jeu. Ce constat est également la conséquence d'un rendement des équipements de chauffage (PAC) inférieur au rendement théorique et d'une performance globale de l'enveloppe assez médiocre si l'on se réfère aux résultats de la seconde année de suivi. L'accroissement significatif du temps de fonctionnement des équipements de chauffage se traduit également par une surconsommation importante au niveau des auxiliaires.

L'éclairage est le second poste de consommation énergétique. Les consommations enregistrées sont nettement supérieures au calcul théorique (+49% en moyenne). Ce résultat est directement lié au temps de fonctionnement de l'éclairage. L'utilisation du gymnase plus importante (en nombre de jours par semaine et amplitude horaire) que celle prévue par le calcul conventionnel de la méthode RT existant explique ce résultat.

Les consommations de ventilation sont très différentes d'une année sur l'autre. Elles sont respectivement inférieures de 35% au calcul réglementaire la première année de suivi et supérieures de 26% la seconde année. Ces résultats sont la conséquence de modifications de réglage des systèmes. S'agissant des premières années d'exploitation du bâtiment, les modifications de réglages destinées à optimiser le fonctionnement des installations sont tout à fait normales. Il est cependant intéressant de noter que l'utilisation permanente du mode de fonctionnement principal observé la seconde année de suivi devrait permettre de limiter les consommations énergétiques de ce poste à une consommation proche de celle du calcul réglementaire.

En termes de performance des systèmes, nous relevons que le COP de la pompe à chaleur est relativement stable sur la période observée (autour de 3,5). Il ne descend jamais en dessous de 3, y compris lorsque les températures chutent, confirmant de la sorte l'intérêt de disposer d'une PAC géothermique. Cette performance permet vraisemblablement de ne pas recourir au chauffage d'appoint. Ce constat pose la question de l'intérêt même de cette conception, la chaudière gaz devenant de fait un simple secours. Les pertes d'énergie au niveau du réseau primaire sont évaluées à environ 8% de l'énergie produite. L'observation du fonctionnement de l'installation sur des hivers plus froids sera d'intérêt.

Au niveau du confort, les systèmes de chauffage et la ventilation du bâtiment permettent d'assurer un bon confort hygrothermique des occupants lors de la période de chauffe. Les températures de consigne relevées peuvent néanmoins être à l'origine d'un inconfort lors de pratiques sportives intensives. Elles restent particulièrement confortables au niveau des vestiaires, de la salle des clubs ou encore au niveau de l'aire de jeu pour les spectateurs ou ceux qui pratiquent un sport de faible intensité.

Au niveau du confort d'été, l'analyse montre que le gymnase présente un nombre non négligeable d'heures d'inconfort. Seule la zone « vestiaires », relativement isolée du reste du bâtiment et protégée du rayonnement solaire, présente des résultats satisfaisants en période estivale. L'absence ou la mauvaise gestion de dispositifs de protection au niveau des puits de lumière expliquent vraisemblablement ce dépassement. Il convient cependant de noter que les périodes de grandes chaleurs ne correspondent pas à une forte occupation du gymnase, cette dernière étant particulièrement liée au calendrier scolaire.

Les consommations d'eau chaude sanitaire sont relativement stables sur les deux années de suivi. Elles s'établissent à environ 360 m³ d'eau chaude par an. Les consommations énergétiques de ce poste restent plus faibles que celles prévues par le calcul théorique. Puisque les plages d'utilisation des équipements sont plus

larges que prévu, cela traduit une sous-utilisation au regard des effectifs présents.

L'analyse des données de la seconde année de suivi permet de montrer l'importance du réglage de la température d'eau chaude du ballon. Des modifications de réglage ont été observées la seconde année. Celles-ci sont à l'origine d'une légère surconsommation énergétique. Le retour à un réglage avec réduit de nuit pourrait être source d'économie.

En conclusion, nous pouvons dire que le niveau de performance enregistré au cours des deux années de suivi, bien qu'inférieur au calcul théorique réglementaire, est meilleur que celui du bâtiment de référence de la réglementation thermique. Au-delà des performances des systèmes ou de l'enveloppe du bâtiment, moins bonnes qu'attendues, les principales raisons de la surconsommation énergétique sont dues à une utilisation du gymnase et une température de consigne de l'aire de jeu importantes. Le bâtiment est globalement confortable en hiver mais un certain inconfort peut être ressenti lors d'épisodes de fortes chaleurs. Sur la base des consommations observées lors des deux premières années de suivi, et sous réserve des hypothèses retenues pour l'approche économique, les investissements réalisés sur l'opération présentent un intérêt éco-énergétique manifeste puisque le temps de retour sur investissement hors valeur résiduelle est estimé à 21 ans.

Annexes

Annexe A - Cahier de suivi de l'opération

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. Plan de masse.....	4
2.1.2. Façades.....	5
2.1.3. Nature des parois.....	7
3. Caractéristiques thermiques du projet (extrait des études thermiques réglementaires et des contre-expertises).....	8
3.1. Enveloppe.....	8
3.1.1. Parois opaques.....	8
3.1.2. Vitrages.....	10
3.1.3. Ponts thermiques.....	11
3.2. Ventilation.....	12
3.2.1. Type de ventilation.....	12
3.2.2. Caractéristiques techniques.....	12
3.3. Chauffage – refroidissement.....	12
3.3.1. Caractéristiques extraites de l'étude thermique.....	13
3.3.2. Pompe à chaleur.....	13
3.3.3. Chaudière gaz.....	13
3.3.4. Production de chaleur.....	14
3.4. Eau Chaude Sanitaire (ECS).....	14
3.5. Éclairage.....	14
4. Analyse du Dossier de Consultation des Entreprises.....	15
4.1. Enveloppe.....	15
4.2. Vitrages.....	21
4.3. Perméabilité à l'air du bâtiment.....	23
4.4. Ventilation.....	23
4.4.1. Zone double flux.....	24
4.4.2. Zones simple-flux : vestiaires, sanitaires et salle des associations.....	26
4.5. Chauffage – refroidissement.....	27
4.5.1. Chaudière gaz à condensation.....	27
4.6. Eau chaude sanitaire (ECS).....	29
4.6.1. Préparateur d'eau chaude sanitaire.....	29
4.7. Éclairage.....	32
4.7.1. Descriptif de l'éclairage.....	32
4.7.2. Implantation des luminaires.....	34
5. Phase 2 : suivi de chantier, évaluation de la mise en œuvre.....	35

5.1. Enveloppe.....	35
5.2. Ventilation.....	41
5.3. Chauffage.....	41
5.4. Eau chaude sanitaire (ECS).....	41
5.5. Éclairage.....	41
6. Phase 3 : suivi de l'exploitation du bâtiment.....	43
7. Conclusion intermédiaire.....	43
Annexes.....	44
Annexe a - Compte-rendu de visite de chantier du 5 décembre 2013.....	44
Avancement du chantier.....	44
modifications.....	44
Constats.....	44
Annexe b - Plan d'instrumentation.....	47
Analyse du fonctionnement thermique du bâtiment.....	47
Chauffage.....	47
<i>Énergie thermique dissipée dans les circuits de chauffage</i>	47
<i>Énergie thermique captée dans le sous-sol</i>	48
<i>Appoint gaz</i>	48
<i>Part d'énergie utile apportée par la chaudière gaz</i>	48
<i>Consommation électrique de la pompe à chaleur et des auxiliaires de chauffage et ECS</i>	48
<i>Énergie dissipée par le chauffage dans les différentes zones</i>	48
<i>Zone vestiaires</i>	49
<i>Zone existante</i>	49
<i>Zone halle gymnase</i>	49
Ventilation simple flux.....	49
<i>Consommation électrique des auxiliaires de ventilation</i>	49
Ventilation double flux.....	49
<i>Consommation électrique des centrales de traitement d'air</i>	49
<i>Température et hygrométrie de l'air dans les gaines de soufflage des deux CTA</i>	50
Éclairage.....	50
Eau chaude sanitaire.....	50
Ambiances extérieures et Intérieures (capteurs installés par le CETE).....	50
<i>Mesure de la température et de l'hygrométrie intérieure</i>	50
<i>Mesure des conditions météo extérieures</i>	51
<i>Implantation des compteurs et capteurs</i>	51
Synoptiques d'instrumentation – chauffage.....	52
implantation de l'instrumentation – ventilation.....	53
Synoptiques d'instrumentation – Ventilation Hall salle des clubs.....	54

1. Fiche d'identité de l'opération

Bâtiment	Gymnase de Saint-Léonard-de-Noblat														
Adresse	Avenue Raymond Poulidor, 87400 Saint-Léonard-de-Noblat														
Maître d'ouvrage	Mairie de Saint Léonard														
Architecte	TEKTE, Stéphane Manildo 49 Rue François CHENIEUX 87000 LIMOGES														
Bureau d'études thermiques	Saunier & Associés Agence de limoges 3 cours Gay Lussac 87000 Limoges														
Description du projet	Réhabilitation du gymnase municipal de Saint-Léonard-de-Noblat au niveau du label basse consommation rénovation.														
Caractéristiques du site	Altitude : 444 m Zone Climatique : H1c														
Budget de l'opération (en € TTC)	Coût de l'opération : compléter en fin de chantier travaux : compléter en fin de chantier Honoraires maîtrise d'œuvre : compléter en fin de chantier Bureau de Contrôle : compléter en fin de chantier Coordonnateur SPS : compléter en fin de chantier Assistance à maîtrise d'ouvrage compléter en fin de chantier Études de sols compléter en fin de chantier Frais divers et imprévus compléter en fin de chantier prix au m ² : /														
Planning	Etudes : 2012 Travaux : mai 2013 – mai 2014														
Performance Affichée Détails	<table border="1"> <tr> <td>Cep dont :</td><td>127,55 kWh/m²/an</td></tr> <tr> <td>Chauffage</td><td>14,63 kWh/m²/an</td></tr> <tr> <td>Refroidissement</td><td>0,00 kWh/m²/an</td></tr> <tr> <td>Production d'eau chaude sanitaire</td><td>60,56 kWh/m²/an</td></tr> <tr> <td>Ventilation</td><td>23,01 kWh/m²/an</td></tr> <tr> <td>Eclairage</td><td>27,57 kWh/m²/an</td></tr> <tr> <td>Auxiliaires</td><td>1,78 kWh/m²/an</td></tr> </table>	Cep dont :	127,55 kWh/m²/an	Chauffage	14,63 kWh/m ² /an	Refroidissement	0,00 kWh/m ² /an	Production d'eau chaude sanitaire	60,56 kWh/m ² /an	Ventilation	23,01 kWh/m ² /an	Eclairage	27,57 kWh/m ² /an	Auxiliaires	1,78 kWh/m ² /an
Cep dont :	127,55 kWh/m²/an														
Chauffage	14,63 kWh/m ² /an														
Refroidissement	0,00 kWh/m ² /an														
Production d'eau chaude sanitaire	60,56 kWh/m ² /an														
Ventilation	23,01 kWh/m ² /an														
Eclairage	27,57 kWh/m ² /an														
Auxiliaires	1,78 kWh/m ² /an														

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

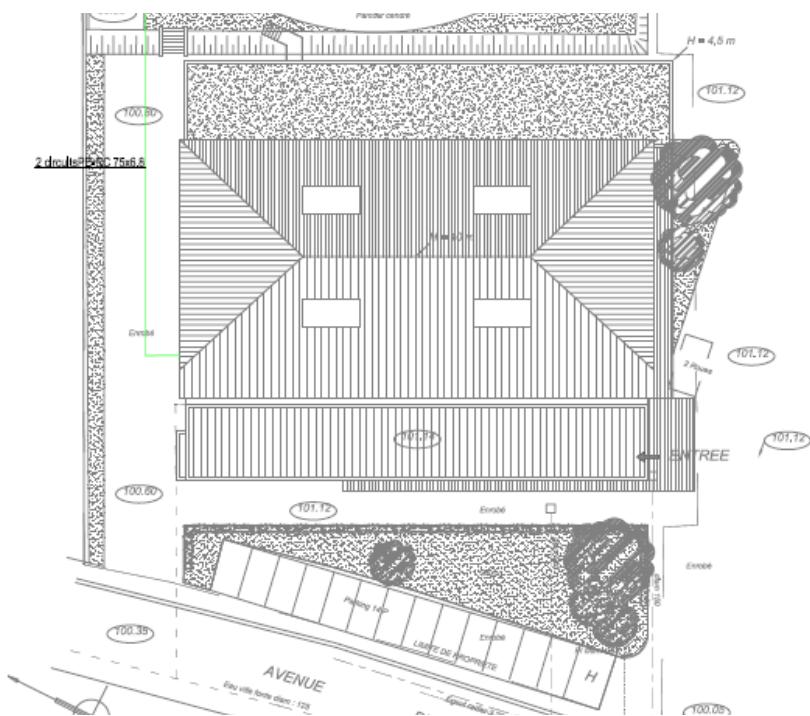
Le gymnase de Saint-Léonard-de-Noblat est un gymnase des années 1960. Ses caractéristiques techniques initiales sont celles de l'époque de sa conception : pas d'isolation, système de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire peu performant. Le programme de réhabilitation prévoit l'isolation de la halle du gymnase, la rénovation de locaux annexes pour le matériel et les clubs de sport, et la construction d'une extension neuve pour les vestiaires et les sanitaires. La partie rénovée vise le niveau de performance énergétique BBC existant, la partie en extension le niveau du la bel BBC RT 2005 neuf.

Le suivi effectué dans le cadre de ce rapport se concentre sur la réhabilitation.

Le système de chauffage installé fait appel à une pompe à chaleur géothermique couplée à une chaudière gaz à condensation utilisée également pour l'eau chaude sanitaire. La distribution est assurée selon les zones par des radiateurs moyenne température (vestiaires, zone existante), des aérothermes (gymnase), ou par une CTA (salle des associations).

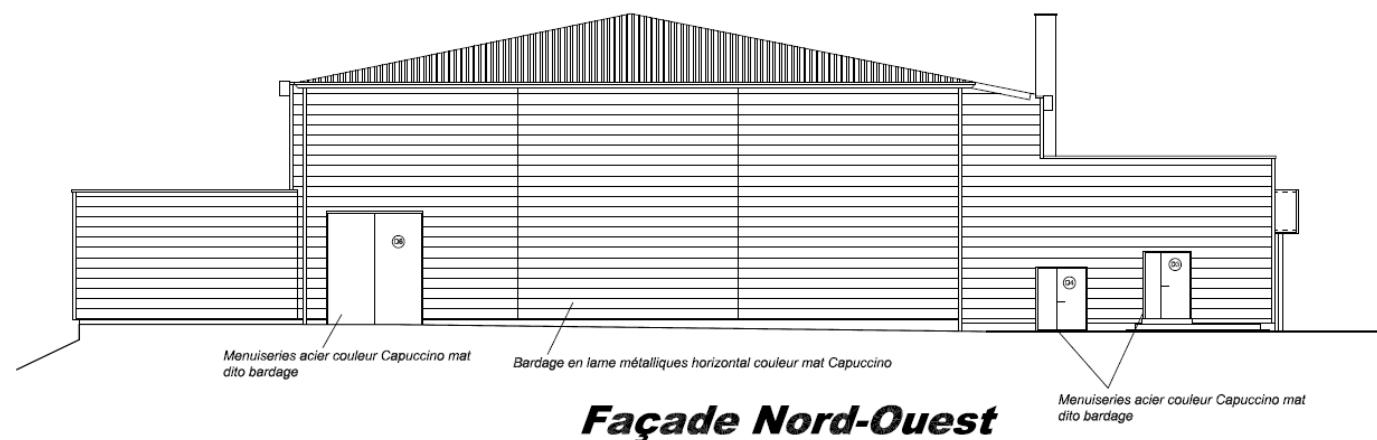
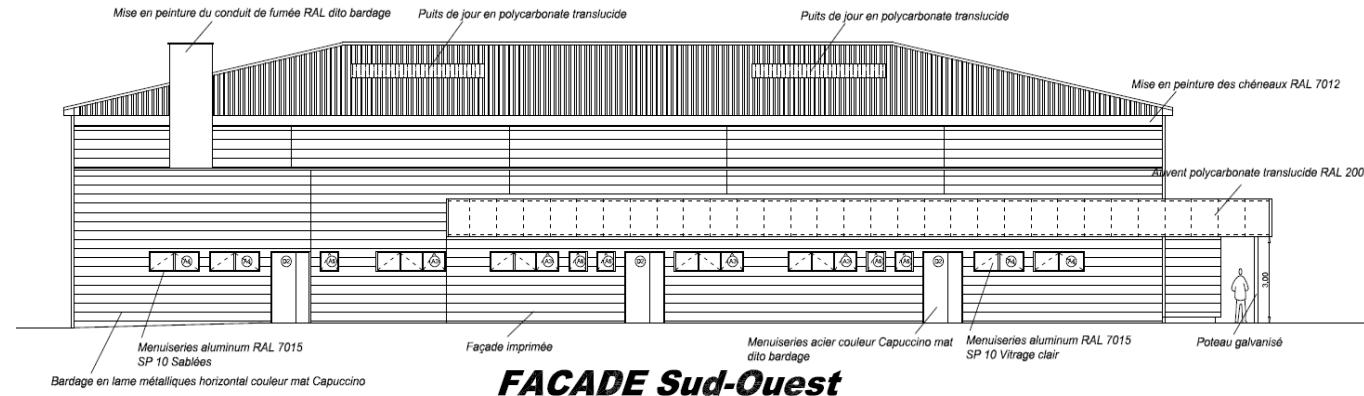
2.1. Pièces graphiques

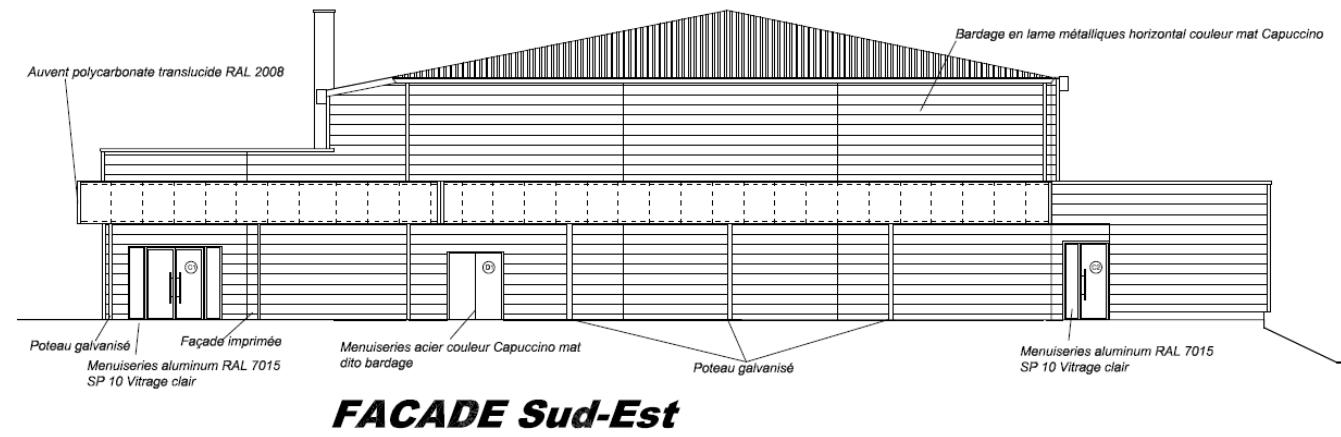
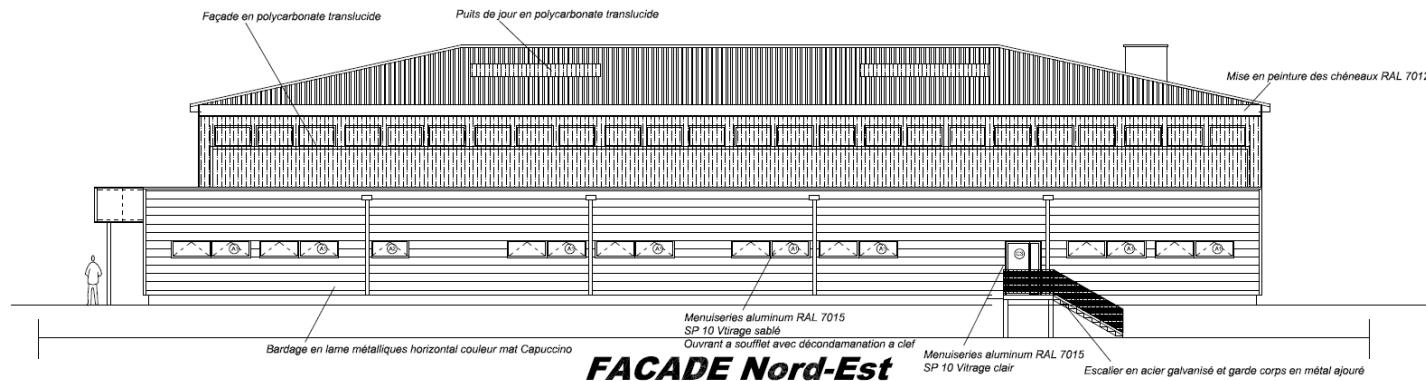
2.1.1. Plan de masse



Plan masse du gymnase

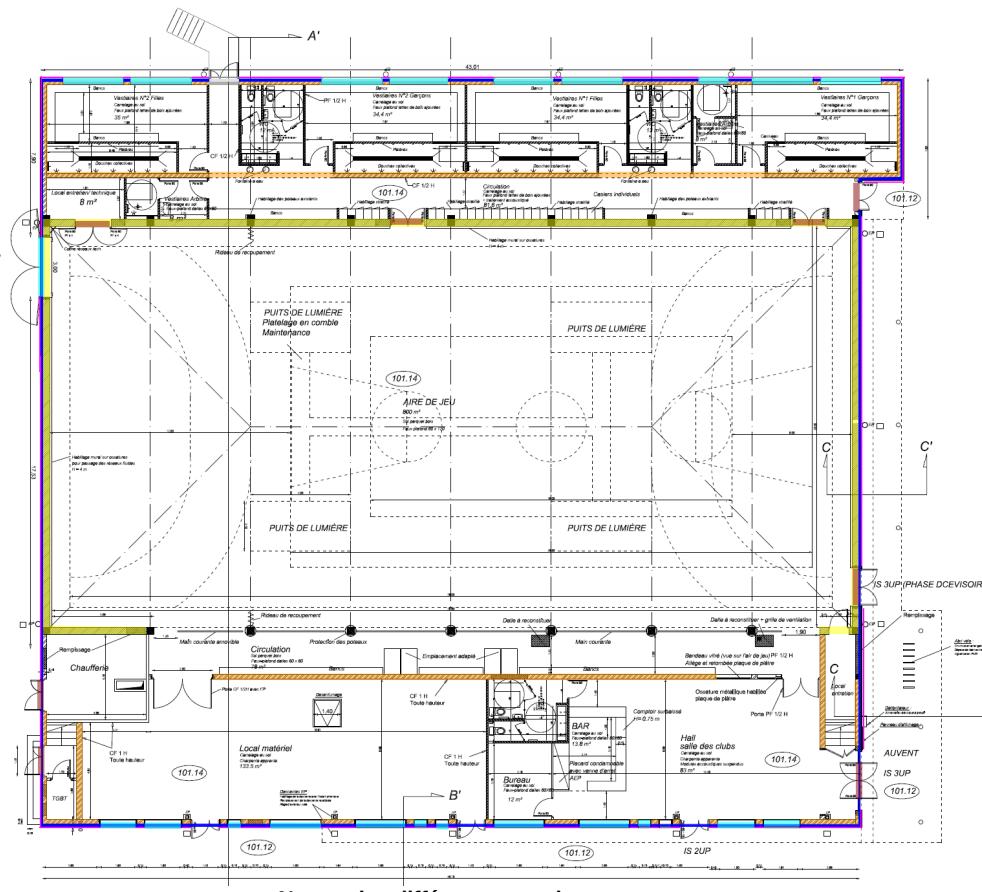
2.1.2. Façades





2.1.3. Nature des parois

- Mur plein existant béton
 - mur extension neuve
 - Isolant extérieur (Cladipan 32 +11 cm laine de verre)
 - Bardage métallique
 - Menuiseries opaques
 - Menuiseries métal Double vitrage $U_w = 2,1 \text{ W/m}^2$



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

3.1. Enveloppe

L'enveloppe est constituée de murs porteurs existants en béton, isolés par l'extérieur lors des travaux de rénovation/extension, puis recouverts par un bardage métallique. La toiture est constituée d'une charpente métallique existante, isolée par des panneaux de laine de verre de 24 cm. Des puits de lumière sont également créés. Le plafond des vestiaires est isolé par des panneaux sandwich.

3.1.1. Parois opaques

Les différentes parois de l'enveloppe rénovée sont les suivantes :

Désignation	Repérage paroi	Constituants (intérieur ↔ extérieur)	Épaisseur s (cm)	Lambda W/m.K	Coefficients R (m ² .K/W)
Mur extérieur 1 U = 0,247 W/(m ² .K)	Enduit intérieur à base de plâtre et de sable	Plâtre	2	0,8	0,025
	Dimensions : 25 x 20 x 50	Brique	25		0,320
	(1450 < pou= 1600)	Divers	3	0,8	0,038
	Jonction entre le retour des plateaux et l'ossature verticale	Singularité		0,03	
	CLADIPAN 32 110x405x1500	Isolant	11	0,03	3,503
	Bardage	Métal	0,1	110	0,000
Mur extérieur rénové sur sanitaires U = 0,252 W/(m ² .K)	Enduit intérieur à base de plâtre et de sable	Plâtre	1	0,8	0,012
	Dimensions : 25 x 20 x 50	Brique	25		0,320
	(1450 < p<ou= 1600)	Divers	2	0,8	0,025
	Jonction entre le retour des plateaux et l'ossature	Singularité		0,03	
	CLADIPAN 32 110*405*1500	Isolant	11	0,03	3,450
	bardage	Métal	0,1	110	0,000
Mur extérieur vestiaire créé U = 0,257W/(m ² .K)	Plaques de plâtres à parement de carton "standard"	Plâtre	1,3	0,25	0,052
	Dimensions : 20 x 20 x 50	Brique	20		0,230
	Jonction entre le retour des plateaux et l'ossatur	Singularité		0,03	
	Bardage	Métal	1	110	0,000
	CLADIPAN 32 110*405*1500	Isolant	11	0,03	3,450
Plafond rénové U = 0,148 W/(m ² .K)	Plafond acoustique	Divers	4	0,07	0,615
	Suspente métallique servant à fixer le plafond suspendu	Singularité		0,01	
	IBR CONTACT 240*1200*3500	Isolant	24	0,04	6,000
	Acier	Métal	0,1	50	0,000

Désignation	Repérage paroi	Constituants (intérieur ☺ extérieur)	Épaisseur s (cm)	Lambda W/m.K	Coefficients R (m².K/W)
Plafond sur anciens vestiaires U= 0,224 W/(m².K)	Plafond acoustique	Divers	4	0,07	0,615
	Panneau sandwich - Bac sec	Divers	15	0,04	3,704
Plafonds sur sanitaires créées U = 0,163 W/(m².K)	Faux-plafond	Divers	2,5	0,07	0,385
	Suspente métallique servant à fixer le plafond suspendu	Singularité		0,01	
	Lame d'air non ventilée	Lame d'air	50		0,160
	Dimensions : 20x20x50	Brique	20		0,230
	ELASTOPHENE FLAM 70-25	Plastique	2,5	0,23	0,109
	Knauf	Isolant	12	0,02	5,000
Plancher rénové sous gymnase U = 0,194 W/(m².K)	ELASTOPHENE FLAM 25	Plastique	2,5	0,23	0,109
	STYROFOAM 200 BE-A 60*600*1200	Isolant	6	0,04	1,700
	Béton plein (lourd)	Béton	6	2	0,030
	Cartons, feutres et chapes souples imprégnées	Plastique	0,1	0,23	0,004
	Feuillu très lourd (Pn > 1000 kg/m³)	Végétal	1,5	0,29	0,052
	350 < P < ou = 550 kg/m³	Végétal	0,9	0,14	0,064
	Sable et gravier (capacité thermique 910-1180)	Divers	2	2	0,010
	Granités	Pierre	20	2,8	0,071
	polyuréthane (PU)	Plastique	1,5	0,25	0,060
	Béton plein (léger)	Béton	13	1,65	0,079
Plancher rénové sous sanitaires U = 0,237W/(m².K)	Béton plein (lourd)	Béton	15,3	2	0,076
	Carrelage	Divers	1	1,1	0,009
	Chape	Béton	5	0,7	0,071
	STYROFOAM 200 BE-A 60*600*1200	Isolant	6	0,04	1,700
	Cartons, feutres et chapes souples imprégnées	Plastique	0,1	0,23	0,004
	Sable et gravier (capacité thermique : 910-1180)	Divers	2	2	0,010
Plancher sanitaire créé U=0,272	Granits	Pierre	20	2,8	0,071
	Carrelage	Divers	1	1,1	0,009
	Chape	Béton	5	0,7	0,071
	Béton plein (lourd)	Béton	20	2	0,100
	STYROFOAM 200 BE-A 60*600*1200	Isolant	6	0,04	1,700

3.1.2. Vitrages

Deux types de vitrages sont présents dans le gymnase : des menuiseries aluminium à rupture de pont thermique avec double vitrage, et des menuiseries double vitrage en matériaux composites pour la halle de sport.

Des portes opaques sont également présentes sur la partie basse.

Désignation	Linéiques		Facteur solaire		Protection été		Coefficients U (W/m ² .°C)
DAMPATHERM 16 mm Fenêtre en PVC avec double vitrage à isolation renforcée et remplissage argon, sans fermeture	Appui	0.29 W/m.K	RCL ¹	63,00 %	Atténuation ext.	1,00	U = 1.55 W/m ² .K - U J/N = 1.55 W/m ² .K
	Linteau	0.05 W/m.K	Vitrage	0,51	Voilage	non	
	Tableau	0.03 W/m.K	Réglementaire	0,34	Atténuation int.	-	
Porte vitrée 2 vantaux inégaux, en métal avec rupture de pont thermique, double vitrage à isolation renforcée et remplissage argon, sans fermeture	Appui	0.29 W/m.K	RCL	70,00 %	Atténuation ext.	1,00	U = 2.00 W/m ² .K - U J/N = 2.00 W/m ² .K
	Linteau	0.05 W/m.K	Vitrage	0,63	Voilage	non	
	Tableau	0.03 W/m.K	Réglementaire	0,45	Atténuation int.	-	
Châssis à soufflet, fenêtre en métal avec rupture de pont thermique, double vitrage à isolation renforcée et remplissage argon, sans fermeture	Appui	0.29 W/m.K	RCL	70,00 %	Atténuation ext.	1,00	U = 1.80 W/m ² .K - U J/N = 1.80 W/m ² .K
	Linteau	0.05 W/m.K	Vitrage	0,63	Voilage	non	
	Tableau	0.03 W/m.K	Réglementaire	0,45	Atténuation int.	-	
Ensemble vitré fenêtre en métal avec rupture de pont thermique, double vitrage à isolation renforcée et remplissage argon sans fermeture	Appui	0.29 W/m.K	RCL	70,00 %	Atténuation ext.	1,00	U = 2.00 W/m ² .K - U J/N = 2.00 W/m ² .K
	Linteau	0.05 W/m.K	Vitrage	0,63	Voilage	non	
	Tableau	0.03 W/m.K	Réglementaire	0,45	Atténuation int.	-	

1 RCL : pourcentage de clair du vitrage

Désignation	Linéiques		Facteur solaire		Protection été		Coefficients U (W/m ² .°C)
Menuiseries opaques							
Porte: Bloc porte métallique avec degré incendie Porte opaque pleine isolée Porte pleine	Appui	0.29 W/m.K	RCL	70,00 %	Atténuation ext.	-	U = 2.00 W/m ² .K -- U J/N = 2.00 W/m ² .K
	Linteau	0.05 W/m.K	Vitrage	0,63	Voilage	-	
	Tableau	0.03 W/m.K	Réglementaire	0,45	Atténuation int.	-	
Porte pleine existante en bois	Appui	0.85 W/m.K	RCL	70,00 %	Atténuation ext.	-	U = 3.50 W/m ² .K - U J/N = 3.50 W/m ² .K
	Linteau	0.13 W/m.K	Vitrage	0,63	Voilage	-	
	Tableau	0.04 W/m.K	Réglementaire	0,48	Atténuation int.	-	

3.1.3. Ponts thermiques

Type de pont thermique	Code	Nom de la liaison	Partie	Coefficient de déperdition W/(m.K)
Horizontal	A115	Mur non isolé / plancher bas	1	0,280
Horizontal	E111	Dallage en béton isolé en sous-face	1	0,380
Horizontal	E312b	Plancher haut/mur extérieur	1	0,810
Horizontal	I325b	Plancher haut/mur et refend intérieur	3	0,520
Fraction		Psi 1 - Plancher haut/mur et refend intérieur		0,052
Fraction		Psi 2 - Plancher haut/mur et refend intérieur		0,208
Fraction		Psi 3 - Plancher haut/mur et refend intérieur		0,260
Horizontal	C167	Mur/plancher haut	1	0,360
Vertical	D192	Liaison entre deux murs	1	0,180
Vertical	D299	Liaison entre un mur et un refend	2	0,780
Fraction		Psi 1 - Liaison entre un mur et un refend		0,390
Fraction		Psi 2 - Liaison entre un mur et un refend		0,390
Vertical	E412	Angle sortant, murs en maçonnerie courante	1	0,110
Vertical	E421	Angle rentrant	1	0,030
Performance globale Ubât (W/m².°C)		0,390		

3.2. Ventilation

La ventilation du gymnase est assurée par trois systèmes indépendants en fonction des zones :

- Ventilation double flux pour les aires d'évolution et pour la salle des clubs (systèmes indépendants), gestion de l'introduction d'air neuf par sonde CO₂.
- Ventilation des sanitaires par système simple flux avec entrées d'air autoréglables dans les menuiseries et extraction avec bouches autoréglables.

3.2.1. Type de ventilation

Perméabilité sous 4 pascals : 3,0 m³/(h.m²).

3.2.2. Caractéristiques techniques

	Zone simple flux	Zone double flux gymnase	Zone double flux halle des clubs
Débit	Non précisé dans la fiche de synthèse	Non précisé dans la fiche de synthèse	Non précisé dans la fiche de synthèse
Prise d'air neuf	Non précisé dans la fiche de synthèse	Non précisé dans la fiche de synthèse	Non précisé dans la fiche de synthèse
Sorties d'air	Non précisé dans la fiche de synthèse	Non précisé dans la fiche de synthèse	Non précisé dans la fiche de synthèse
Puissance ventilateur	Non précisé dans la fiche de synthèse	Non précisé dans la fiche de synthèse	Non précisé dans la fiche de synthèse
Commentaires particuliers			
Consommation électrique (kWh/EP/an)	23,015		

3.3. Chauffage – refroidissement

Le chauffage du gymnase rénové est assuré par la mise en place d'un système combiné associant une pompe à chaleur eau/eau faisant appel à des pieux géothermiques comme source froide, couplée à une chaudière gaz à condensation pour assurer l'appoint de chauffage. La régulation de la chaudière se fait en fonction de la température extérieure.

- Mise en place de radiateurs eau chaude basse température avec robinets thermostatiques pour chauffage de la partie réaménagée : hall, salle des associations, sanitaires et stockage matériel (hors gel).
- Régulation de la température de départ en fonction de la température extérieure.
- Mise en place d'aérothermes eau chaude basse température pour le chauffage des aires d'évolution avec diffuseur double déflexion pour amélioration du confort et économie d'énergie.
- Température de départ constante, régulation des émetteurs terminaux par sonde d'ambiance et vanne trois voies avec horloge hebdomadaire.
- Mise en place d'une batterie chaude pour soufflage de l'air à température constante.

3.3.1. Caractéristiques extraites de l'étude thermique

Générateur rénové					
Caractéristiques		Paramètres			
Référence Produit	Générateur rénové Chauffage seul Chaudière gaz ou fioul Vitocrossal 200 CM2 (29-87 kW)	Puiss. nom. chaud : Rénovation : Ventilateur Combustion Rend. Charge part. /Delta T si ≠ 30 K Puiss élec aux. à Pn Type énergie	80 kW Du bâtiment initial Pas de ventilateur 107.9% 30 K 85 W Gaz	Type Brûleur Rend. 100% Pn Pertes à l'arrêt Veilleuse perm. Temp. mini fonc. :	Chaudière condensation Brûleur atmosphérique 97.2 % 197 W Gén. sans veilleuse 50°C

3.3.2. Pompe à chaleur

La pompe à chaleur est une pompe à chaleur eau/eau, dont la source froide est constituée de pieux récupérant les calories du sous-sol.

Caractéristiques de la chaudière	
Référence	Geothermie
Production	Chauffage seul
Type	Système thermodynamique
Puissance nominale de pompe à chaleur	106 kW
Système côté extérieur	Système à compression Sol
Système côté intérieur	Eau VCV
COP nominal en mode chauffage	5,650 (COP certifié)
Energie utilisée	Électricité
Régulation en chaud	Programmation 40-100
Loi d'eau en chaud	Oui
Auxiliaire extérieur	Aucun

3.3.3. Chaudière gaz

En appoint de la pompe à chaleur la chaudière gaz existante est utilisée en relais lorsque la température extérieure ne permet plus d'obtenir un COP suffisant avec la PAC pour assurer le chauffage.

Caractéristiques	
Référence/Production/Type/Produit	Chaudière gaz Vitocrossal 200 CM2 (29-87 kW)
Puissance nominale de la chaudière	80 kW
Rendement pleine charge	97,2% PCI
Rendement charge partielle	107,9%
Puissance électrique des auxiliaires à puissance nominale	85 W
Brûleur	Brûleur Atmosphérique

3.3.4. Production de chaleur

Type de production	Mixte PAC Géothermale DYNACAT 300V 58,5kW (50/45°C)	Chaudière Condensation Viessmann Vitocrossal 200 cm ² 112 kW (60/40°C)
Mixte ECS	Non	Non
Local de production	Local chaufferie	
Puissance d'installation	106kW	80 kW
Rendement de l'installation	COP = 5,65	jusqu'à 95% (sur PCS)/106% (sur PCI)
Rendement à 100% de charge	/	97,4%
Rendement à 30% de charge	/	108,1
Réseau de distribution (implantation, isolation, distribution)	Calorifugé, en volume chauffé	Calorifugé, en volume chauffé
Type d'émetteurs	Vestiaires : radiateurs moyenne température (60°/40°C) Zone existante : radiateurs moyenne température (60°/40°C) Gymnase : aérothermes + centrale de traitement d'air Salle des associations : centrale de traitement d'air	
Régulation des émetteurs	Vannes trois voies pilotée par automate + robinets thermostatiques pour les circuits vestiaires et zone existantes. Circuit aérotherme et circuit CTA gymnase/salle des associations : circulateurs derrière bouteille de mélange pilotés par automate de régulation.	
Mode de gestion	Gestion par automate de programmation. Régulation sur température extérieure	
Mode de chauffage auxiliaire	Chaudière gaz en appont de la PAC	
Consommation chauffage (en kWh/m ² /an)	14,629	

3.4. Eau Chaude Sanitaire (ECS)

La production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) n'est pas liée au chauffage. Elle est assurée par un préparateur solaire à gaz couplé à un ballon de 641 litres. Un bouclage d'ECS est prévu avec une gestion des périodes d'inoccupation.

Type de production ECS	Accumulateur gaz
Rendement à 100% de la puissance nominale	92%
Puissance maximale fournie	142 kW
Réseau de distribution (Implantation et isolation)	Entièrement en volume chauffé, calorifugé. Bouclage avec gestion des périodes d'inoccupation
Ballon d'eau chaude	Oui
Volume	641.0 litres
Position	Dans le préparateur ECS (calorifugé)
Température de consigne	60°C en départ bouclage, 55°C en retour de bouclage
Consommation ECS (en kWh/m ² /an)	60,56

3.5. Éclairage

Les consommations d'éclairage saisies dans l'étude thermique le sont de manière globale par zone. Peu de données exploitables figurent dans l'étude thermique.

Utilisation de l'éclairage naturel	Oui
Consommation électrique en énergie primaire (en kWh/m ² /an)	27,57

4. 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 préjudiciable ou non des modifications apportées au DCE par rapport à l'étude thermique.

Modification sans incidence...		...modification pénalisante

4.1. Enveloppe

Désignation	Constituants (intérieur → extérieur)	Formulation DCE	Divergence
Mur extérieur 1 $U = 0,247 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Enduit intérieur à base de plâtre et de sable Plâtre, 2 cm	Fourniture et pose d'habillage réalisé avec une plaque de plâtre haute résistance à l'humidité et aux chocs type PLACOCEM 13 des Ets PLACOPLATRE ou techniquement équivalent, plaque à âme en ciment allégé par des billes en PSE	Divergence non significative
	Dimensions : 25 x 20 x 50 Brique, 25 cm	Gros œuvre existant	Sans objet
	CLADIPAN 32 110x405x1500 Isolant , 11 cm	Lot bardage manquant au dossier transmis	Vérifier les propriétés de l'isolant sur chantier
	Bardage Métal, 0,1 cm	Bardage métallique simple peau (extrait DPGF)	Pas de divergence
Mur extérieur rénové sur sanitaires $U = 0,252 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Enduit intérieur à base de plâtre et de sable Plâtre, 1 cm	Fourniture et pose d'habillage réalisé avec une plaque de plâtre haute résistance à l'humidité et aux chocs type PLACOCEM 13 des Ets PLACOPLATRE ou techniquement équivalent, plaque à âme en ciment allégé par des billes en PSE	Pas de divergence
	Dimensions : 25 x 20 x 50 Brique, 25 cm	Gros œuvre existant	Sans objet
	Jonction entre le retour des plateaux et	-	Vérifier l'exécution du

Désignation	Constituants (intérieur → extérieur)	Formulation DCE	Divergence
	l'ossature Singularity		détail technique sur chantier
	CLADIPAN 32 110*405*1500 Isolant, 11 cm	Lot bardage manquant au dossier transmis	Vérifier les propriétés de l'isolant sur chantier
	bardage Métal, 0,1 cm	Bardage métallique simple peau (extrait DPGF)	Pas de divergence
Mur extérieur vestiaire créé U = 0,257W/(m ² .K)	Plaques de plâtres à parement de carton "standard" Plâtre, 1,3 cm	Fourniture et pose d'un habillage réalisé avec une plaque de plâtre de type BA13 THD des Ets PLACOPLATRE ou techniquement équivalent. - Une ossature horizontale et verticale R48 et M48, montants simples ou doubles d'entraxe 0.40m. Joints traités suivant la technique préconisée par le fabricant	Pas de divergence
	Dimensions : 20 x 20 x 50 Brique, 20 cm	Gros œuvre existant	Sans objet
	Jonction entre le retour des plateaux et l'ossature Singularity	--	Vérifier l'exécution du détail technique sur chantier
	Bardage Métal, 1 cm	Bardage métallique simple peau (extrait DPGF)	
	CLADIPAN 32 110*405*1500 Isolant, 11 cm	Lot bardage manquant au dossier transmis	Vérifier les propriétés de l'isolant sur chantier

Désignation	Constituants (intérieur → extérieur)	Formulation DCE	Divergence
Plafonds			
Plafond rénové U = 0,148 W/(m².K)	Plafond acoustique Divers, 4 cm	Plafond en dalles acoustiques Fourniture et la pose de panneaux Ecophon Super G Plus bord A et ép. 40 mm en module de 1200x600 mm posés sur ossature rigide Connect à joint creux Omega	Épaisseur de l'isolant concordante
	Suspente métallique servant à fixer le plafond suspendu Singularité	Fourniture et pose de plafonds en plaques de plâtre sur ossatures métalliques comprenant :	
	IBR CONTACT 240*1200*3500 Isolant, 24 cm	<ul style="list-style-type: none"> - une ossature composée de suspentes, de tiges filetées avec tendeur, de cavaliers et des fourrures, en acier galvanisé, en montage feu. - une isolation en laine de roche de 240 mm (fourniture et pose d'une isolation thermique avec pare-vapeur d'une résistance thermique R=6.00 m² K/W) - un parement par 2 plaques de plâtre de 13 mm spécial feu fixées perpendiculairement à l'ossature, avec talons. - un traitement des joints et bandes. 	
	Acier Métal 0,1 cm		
Puits de lumière	Puits de lumière	Puits de lumière <i>11.2.6 Couverture translucide</i> Couverture translucide en système DANPALON 16 MC des Ets EVERLITE-CONCEPT constitués de panneaux alvéolaires 6 parois extrudé à partir de Makrolon 1143 DE Bayer ayant une trame de 600 mm de largeur et des relevés longitudinaux à double crantage de 15 mm pour connecteurs aluminium extérieur. <ul style="list-style-type: none"> - Teinte suivant choix Architecte - Obturateurs aluminium - Coefficient K= 1.53 W/m² 	Puits de lumière non identifié dans l'étude thermique Une actualisation de l'étude thermique sera demandée en fin de chantier
Plafond sur anciens vestiaires U= 0,224 W/(m².K)	Plafond acoustique, 4 cm	Plafond en dalles acoustiques Fourniture et la pose de panneaux Ecophon Super G Plus bord A et ép. 40 mm en module de 1200 x 600 mm posés sur ossature rigide Connect à joint creux Omega.	Pas de divergence
	Panneau sandwich - Bac sec , 15 cm	<i>11.2.2 Couverture en panneaux sandwiches</i> Fourniture et pose de panneaux sandwiches de couverture type PROMISTYL FEU 3005 T des Ets ARVAL ou techniquement équivalent, compris accessoires de fixations par crochets ou vis autoperceuse avec rondelles d'étanchéité. L'entreprise devra toutes les sujétions nécessaires de mise en œuvre conformément aux	Pas de divergence

Désignation	Constituants (intérieur → extérieur)	Formulation DCE	Divergence
		prescriptions techniques du fabricant, DTU et normes en vigueur. Localisation : TRANCHE 2 : Pour la couverture des anciens vestiaires	
Plafonds sur sanitaires crées $U = 0,163 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	Faux plafond, 2,5 cm	Fourniture et la pose d'un faux plafond en dalles démontables type Neptune marque Eurocoustic ou équivalent. Ce plafond sera réalisé en panneaux de fibre minérale revêtus sur la face apparente d'un voile de verre décoratif blanc. Coloris : Blanc uni, Dalles de 600 x 600 R épaisseur : 25 mm, Classement au feu : M0, Performance acoustique alpha W = 0.25	Pas de divergence
	Suspente métallique servant à fixer le plafond suspendu		
	Lame d'air non ventilée, 50 cm	Visible sur plans	Pas de divergence
	Dimensions : 20x20x50 Brique, 20 cm	Gros œuvre existant	Pas de divergence
	ELASTOPHENE FLAM 70-25 Plastique, 2,5 cm	Film isolant	À vérifier sur chantier
	Knauf Isolant, 12 cm	Fourniture et pose d'une isolation thermique avec pare vapeur d'une résistance thermique $R=2.40 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	Non correspondance entre R isolant et étude thermique (R Knauf Isolant = 5 m) 2 K/W Vérifier la composition du plafond sur chantier
	ELASTOPHENE FLAM 25 Plastique , 2,5 cm		À vérifier sur chantier

Désignation	Constituants (intérieur → extérieur)	Formulation DCE	Divergence
Planchers			
Plancher rénové sous gymnase U = 0,194 W/(m ² .K)	STYROFOAM 200 BE-A 60*600*1200 Isolant, 6 cm	<p>Fourniture et pose d'un revêtement de sol sportif surfacique combiné sur support flottant constitué de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Film polyéthylène 150 microns avec recouvrement des lès d'au moins 20 cm - Une sous-couche résiliente en mousse polyuréthane de 15 mm d'épaisseur, densité de 80 kg/m³ - Un complexe de bois formant plaque de répartition et plancher flottant de 21 mm d'épaisseur réalisé en éléments croisés et assemblés par encollage élastique approprié. - Un linoléum sportif de 4 mm d'épaisseur, couleur au choix dans la gamme du fabricant <p>10.10.1 Dallages Réalisation d'un dallage en béton armé de 13 cm d'épaisseur compris coffrage...</p> <ul style="list-style-type: none"> - Isolation thermique de 50 mm sur toute la surface compris remontées - Film polyéthylène avec recouvrement des lès de 30 cm minimum - Mise en œuvre de béton compris coffrage nécessaires 	Pas de divergence
	Béton plein (lourd) Béton, 6 cm		
	Cartons, feutres et chapes souples imprégnées, 0,1 cm		
	Feuillus très lourd (Pn > 1000 kg/m ³), 1,5 cm		
	350 < P < ou = 550 kg/m ³ , 0,9 cm		
	sable et gravier (capacité thermique : 910-1180), 2 cm		
	Granités, 20 cm		
	polyuréthane (PU), 1,5 cm		
	Béton plein (léger), 13 cm		
Plancher rénové sous sanitaires U = 0,237W/(m ² .K)	Béton plein (lourd), 15,3 cm	Gros oeuvre repris	Pas de divergence
	Carrelage, 1 cm	Carrelage antidérapant mais non abrasif en grès cérame groupe B	Pas de divergence
	Chape, 5 cm	Réalisation d'une chape de 0.05 m d'épaisseur au mortier de ciment dosé à 350 kg/m ³ de CPJ comprenant : - Film polyane	Pas de divergence

Désignation	Constituants (intérieur → extérieur)	Formulation DCE	Divergence
		<ul style="list-style-type: none"> - Treillis soudés - Bande résiliente au pourtour des pièces - Façon de pente vers caniveaux et siphons de sol - Joint de fractionnement si nécessaire <p>L'entreprise devra les reprises de flaches jusqu'à 7 mm sous la règle de 2.00 m. Ces reprises seront réalisées à l'aide du même produit en passes successives.</p>	
	STYROFOAM 200 BE- A 60*600*1200, 6 cm	<ul style="list-style-type: none"> - Isolation thermique sur toute la surface épaisseur 70 mm d'une Résistance thermique $R \geq 1.80 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ 	Isolation prévue au DCE supérieure de 1 cm
	Cartons, feutres et chapes souples imprégnées, 0,1 cm	Sol existant	Sans objet
	sable et gravier (capacité thermique : 910-1180), 2 cm		
	Granites, 20 cm		
Plancher sanitaire créé U=0,272	Carrelage, 1 cm	Carrelage antidérapant mais non abrasif en grès cérame groupe B	Pas de divergence
	Chape, 5 cm	<p><i>Chape flottante</i></p> <p>Réalisation d'une chape flottante de 0.05 m d'épaisseur au mortier de ciment dosé à 350 kg/m³ de CPJ comprenant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Isolation thermique sur toute la surface épaisseur 70 mm d'une Résistance thermique $R \geq 1.80 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ - Film polyane - Treillis soudés - Bande résiliente au pourtour des pièces - Façon de pente vers caniveaux et siphons 	Pas de divergence

Désignation	Constituants (intérieur → extérieur)	Formulation DCE	Divergence
	Béton plein (lourd), 20 cm	Sol existant	Sans objet
	STYROFOAM 200 BE-A 60*600*1200, 6 cm	- Isolation thermique sur toute la surface épaisseur 70 mm d'une Résistance thermique $R \geq 1.80 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	Isolation prévue au DCE supérieure de 1cm

Il n'a pas été observé de divergence majeure entre le DCE et l'étude thermique. Des détails particuliers tels que les puits de lumière n'ont pas été retrouvés dans l'étude thermique. Suite au suivi de chantier une actualisation de l'étude thermique sera demandée afin de prendre en compte les éléments réels dans les calculs recalés.

4.2. Vitrages

Le DCE prévoit la pose de menuiseries aluminium à rupture de pont thermique. Les profilés en aluminium seront munis d'une barrière isolante en polythermide qui assurera entre le profilé porteur et le serre-vitres une rupture thermique. Le coefficient de transmission thermique K des menuiseries en double vitrage avec lame d'air de 8 mm devra être de 8,0 W/m²C°.

Désignation	Formulation DCE	Divergences
DAMPATHERM 16 mm Fenêtre en PVC avec double vitrage à isolation renforcée et remplissage argon, sans fermeture $U = 1,55 \text{ W/m}^2 \text{ K}$	Type de menuiserie inexistant dans le DCE	Menuiserie non retrouvée. Vérification sur chantier à prévoir
Porte vitrée 2 vantaux inégaux, en métal avec rupture de pont thermique, double vitrage à isolation renforcée et remplissage argon, sans fermeture $U = 2,00 \text{ W/m}^2 \text{ K}$	bloc-porte vitré à 2 vantaux inégaux de (900+500) x2500 mm ht ouvrant à l'anglaise en profils aluminium prélaqué, des Ets TECHNAL avec profils à rupture de pont thermique ou techniquement équivalent comportant : <ul style="list-style-type: none"> - Précadre si nécessaire - Cadre dormant et ouvrant compris paumelles - Double vitrage de sécurité : Stadip Protect 510+16 argon+44.2 avec basse émissivité avec parecloses - (...) - Seuil aluminium extra plat - RAL 7015 - Caractéristiques minimales : $U_w \leq 2.00 \text{ W/K.m}^2$ 	Pas de divergence
Châssis à soufflet, fenêtre en métal	Châssis à soufflet	Caractéristique minimale du DCE

Désignation	Formulation DCE	Divergences
avec rupture de pont thermique, double vitrage à isolation renforcée et remplissage argon, sans fermeture $U = 1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$	Fourniture et pose de châssis à soufflet en profils aluminium prélaqué, avec profils à rupture de pont thermique ou techniquement équivalent comprenant : <ul style="list-style-type: none"> - Pré cadre si nécessaires - Cadre dormant avec traverse - Double vitrage de sécurité : Stadip Protect 510 sablé +16 argon+44.2 avec basse émissivité avec parecloses - Joints et fonds de joints - Profils et baguettes d'habillage - Pièces d'appuis. - Manoeuvre d'ouverture avec compas intégré avec décondamnation à clef - RAL 7015 - Caractéristiques minimales : $U_w \leq 2,00 \text{ W/K.m}^2$ 	Moins exigeante que l'étude thermique. Le calcul thermique justifie le coefficient de $1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ensemble vitré Fenêtre en métal avec rupture de pont thermique, double vitrage à isolation renforcée et remplissage argon sans fermeture $U = 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$	Réalisation d'un ensemble vitré de 2980x2340 mm ht avec un bloc-porte à 2 vantaux va & vient de (950+950)x2340mm ht et deux parties fixes de 54x2340 mm ht en profils aluminium prélaqué, des Ets TECHNAL avec profils à rupture de pont thermique ou techniquement équivalent comprenant : Partie fixe : <ul style="list-style-type: none"> - Pré cadre si nécessaire - Cadre dormant avec traverse - Double vitrage de sécurité : Stadip Protect 510+16 argon+44.2 avec basse émissivité avec parecloses - Joints et fonds de joints Ouvrant : <ul style="list-style-type: none"> - Précadre - Cadre dormant et ouvrant compris pivots haut et bas - Double vitrage de sécurité : Stadip Protect 510+16 argon+44.2 avec basse émissivité avec parecloses - Joints et fonds de joints - Profils et baguettes d'habillage - Crémone pompier - Serrure avec gâche électrique et cylindre européen - Bâtons de maréchal sur les deux vantaux et de chaque côté du vantail - Seuil aluminium extra plat - RAL 7015 - Caractéristique minimale : $U_w \leq 2,00 \text{ W/K.m}^2$ 	<p>Pas de divergence</p> <p>Les performances du vitrage correspondent.</p> <p>La mise en œuvre de l'étanchéité des joints sera évaluée en cours de chantier</p>
Porte: Bloc porte métallique avec degré incendie Porte opaque	Blocs-portes PF ½ heure 12.1.1 A 2 vantaux égaux ouvrants à l'anglaise « repère E »	Pas de divergence

Désignation	Formulation DCE	Divergences
pleine isolée Porte pleine $U = 2,00 \text{ W/m}^2\text{.K}$	<p>Fourniture et pose de fenêtre à deux vantaux égaux ouvrant à la française pare-flamme ½ heure en menuiserie métallique en acier thermolaqué aux résines polyester suivant norme NFP 23-351, avec profils type JANSEN ou technique équivalent comprenant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cadre dormant avec traverse - L'étanchéité entre vantaux et huisserie et au plan de joints de battement des vantaux sera assurée par un joint en chloroprène élastomère - Double Vitrage pare-flamme ½ heure de type pyrosuisse de VETROTECH de 6 mm d'épaisseur+16 argon+4 maintenu par parcloses en acier clipsées sur des boutons pression vissés sur l'ossature et par bandes de fibres céramiques placées de part et d'autre du vitrage - Ces bandes céramiques seront étanchées, côté feu et côté opposé au feu par silicone Pyrosil B - Le calage en partie basse des volumes verriers sera réalisé par bandes de Promatecht H (...) - Dimensions : 1900x2100 mm ht 	
Porte pleine existante en bois $U = 3,50 \text{ W/m}^2\text{.K}$ - $U_{J/N} = 3,50 \text{ W/m}^2\text{.K}$	Non saisi dans le DCE	Porte existante non remplacée, à vérifier lors du suivi de chantier

Aucune divergence n'a été constatée sur les vitrages prescrits entre le CCTP et l'étude thermique.

4.3. Perméabilité à l'air du bâtiment

Le gymnase de Saint-Léonard-de-Noblat vise une perméabilité à l'air de $3,0 \text{ m}^3$ par mètre carré de surface déperditive hors plancher bas par heure sous une dépression de 4 pascals. Cette valeur est élevée au regard des valeurs rencontrées en construction neuve.

4.4. Ventilation

La ventilation du gymnase sera réalisée par un caisson de ventilation double flux à fonctionnement à débit constant et pression variable.

La synthèse d'étude thermique communiquée au CETE ne contient aucun renseignement technique relatif à la ventilation, mis à part les consommations d'énergie. Les éléments recueillis dans le CCTP permettent de connaître avec plus de précision la ventilation installée mais ne permettent pas d'identifier les écarts.

4.4.1. Zone double flux

Hypothèses de la note de calcul	Formulation du DCE	Divergence
Débit	Débit : 4400 m ³ /h	Débit non spécifié dans la synthèse d'étude thermique
Rendement de l'échangeur	85%	
Principe de fonctionnement	<p>La centrale de traitement d'air sera de type double flux avec récupération de chaleur à échangeur rotatif garantissant jusqu'à 85% de rendement.</p> <p>Le caisson sera équipé de 3 sondes de température (Air neuf, soufflage, reprise).</p> <p>Batterie à eau 4.5 kW - (60-40°C)</p>	Pas de détail exploitable dans la synthèse d'étude thermique
Bouches de soufflage	<p>Bouches de soufflage longue portée</p> <p>Des bouches de soufflage à phénomène d'induction, longue portée seront implantées dans la salle de cinéma, y compris registre de réglage terminal. Elles seront en aluminium, finition peinture epoxy blanche RAL spécial à prévoir. Débit : 880 m³/h</p> <p>Marque : HALTON ou équivalent. Type : APO/D - Ø 315</p> <p>Sur chaque réseau alimentant les buses longues portée, il sera mis en place un régulateur à débit constant.</p> <p>Corps du régulateur en acier galvanisé. Equipement de joint caoutchouc à chaque extrémité</p> <p>Volet d'équilibrage relié à un amortisseur évitant les oscillations.</p> <p>Débit : 880 m³/h. Marque : VIM ou équivalent</p>	Salle de cinéma ? Coquille probable...
BOUCHES D'EXTRACTION	<p>Grilles linéaires de reprise</p> <p>Les grilles de reprise plafonnieres seront linéaires à fentes et seront particulièrement étudiés pour avoir un très bon effet de plafond. Ils diffuseront vers une ou deux directions suivant les locaux.</p> <p>Le jet d'air sera orientable. Ils seront en aluminium , peint en blanc RAL au choix de l'architecte.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corps et encadrement en aluminium extrudé - Déflecteur en aluminium noir - Plenum en acier galvanisé <p>Débit : 880 m³/h</p> <p>Marque : HALTON ou équivalent</p> <p>Type : ALE+OD+IF</p>	Pas de détail exploitable dans la note de calcul thermique

Hypothèses de la note de calcul	Formulation du DCE	Divergence
Centrale de ventilation Halle gymnase	<p>Marque : SYSTEMAIR ou équivalent. Type : TOPVEX SR11 HW ou équivalent.</p> <p>La centrale de traitement d'air sera de type double flux avec récupération de chaleur à échangeur rotatif. Il sera isolé par 50 mm de laine de roche. Il sera composé de deux caissons livrés assemblés. Le compartiment moteur sera équipé de roues hélico centrifuges et de moteur à commutation électronique pour une meilleure fiabilité de la vitesse de rotation, l'économie de puissance, et un faible niveau sonore.</p> <p>Ventilateurs à roue libre avec moteur à technologie EC Commutation Electronique</p> <p>Echangeur rotatif à haute efficacité thermique</p> <p>Batterie à eau 15 kW - (60-40°C)</p> <p>Vanne trois voies pour régulation de la batterie.</p> <p>Horloge de programmation</p>	<p>La CTA est équipée d'une batterie chaude à eau de 15 kW. La performance de l'échangeur n'est pas spécifiée dans le DCE.</p>
Débit gymnase	4400 m ³ /h	
Centrale de ventilation salle des associations	<p>Centrale de traitement d'air. La centrale de traitement d'air sera de type double flux avec récupération de chaleur à échangeur rotatif garantissant jusqu'à 85% de rendement. Les compartiments moteurs seront équipés de moto-ventilateurs à roue hélico-centrifuge à haut rendement et faible niveau sonore. Il sera isolé par 50 mm de laine minérale. la filtration sur l'air neuf sera de type F7 et F5 sur l'air extrait.</p> <p>Le caisson sera équipé de 3 sondes de température (Air neuf, soufflage, reprise).</p> <p>Batterie à eau 4.5 kW - (60-40°C)</p> <p>Vanne trois voies pour régulation de la batterie.</p> <p>Débit : 1800 m³/h. PDC dispo : 200 Pa</p> <p>Marque : SYSTEMAIR ou équivalent. Type : TOPVEX TR04 ou équivalent</p>	Pas de détail exploitable dans la note de calcul thermique
Réseau de ventilation	<p>Depuis les bouches d'extraction et de soufflage jusqu'au groupe, les gaines seront réalisées en acier galvanisé M0 et comprendront tous les accessoires, coudes, manchons, réduction, etc. Les assemblages seront rendus étanches au moyen de bandes thermorétrtractables, par mastic spécial et bande adhésive couleur acier ou des raccords à joints seront utilisés. Les passages délicats seront réalisés en gaine oblongue ou à la demande si nécessaire.</p> <p>Des registres de réglage du débit seront installés pour équilibrage parfait des réseaux ; les registres seront du type acoustique.</p>	Pas de détail exploitable dans la note de calcul thermique
Débit Salle des associations	1800 m ³ /h	

4.4.2. Zones simple-flux : vestiaires, sanitaires et salle des associations

Les installations de ventilation des sanitaires de la salle des associations seront du type simple flux à fonctionnement permanent. La circulation d'air sera réalisée de la façon suivante :

- arrivée d'air neuf entrées d'air dans les menuiseries des vestiaires ;
- extraction d'air vicié par bouche dans les pièces d'eau.

Hypothèses de la note de calcul	Formulation du DCE
Débit	Débit : 840 m ³ /h
Principe de fonctionnement	Groupe simple flux, caisson basse consommation à débit constant
Grilles d'entrée d'air autoréglables	Entrées d'air autoréglables. Elles seront calibrées à 30 et 45 m ³ /h et auront un isolement acoustique (Dn, e, w) supérieur à 36 dB. Marque : FRANCE AIR. Type : ISOLA2.
Bouches d'extraction	Vestiaires 3.2.2.2 Bouches d'extraction autoréglables A forte perte de charge, elles seront à débit fixe. Elles seront montées avec manchettes, l'étanchéité à l'air devra être parfaite et raccordées au réseau d'extraction avec interposition d'une gaine souple. Les bouches seront isolées électriquement. Marque : FRANCE AIR ou équivalent. Type : modèle Alizé S.
Centrale de ventilation vestiaires	Caisson galvanisé avec séparateur de flux avec 1 piquage d'extraction horizontal et 1 piquage de refoulement vertical circulaires. Roue à action, entraînement direct. Pressostat d'alarme et inter de proximité monté. Pupitre de réglage et de lecture intuitif Raccordement électrique depuis attente électrique. Pdc Dispo : 200 Pa Marque : ALDES ou équivalent. Type C VEC MICROWATT ou équivalent
Débit Ventilation vestiaires	Débit : 840 m ³ /h
Centrale de ventilation salle des associations, sanitaires	Caisson d'extraction Il sera prévu un caisson d'extraction basse consommation, y compris fixations antivibratoires, raccordements aux conduits par colliers et manchettes souples métalliques M0 démontables. Caisson galvanisé avec séparateur de flux avec 1 piquage d'extraction horizontal et 1 piquage de refoulement vertical circulaires. Roue à action, entraînement direct Marque : FRANCE AIR ou équivalent Type SIRIUS 600 RT CONTROL ou équivalent.

Hypothèses de la note de calcul	Formulation du DCE
Débit ventilation salle des associations, sanitaires	90 m ³ /h
Réseau d'extraction	Les gaines seront réalisées en acier galvanisé M0 et comprendront tous les accessoires, coudes, manchons, réduction, etc. Les assemblages seront rendus étanches au moyen de bandes thermorétrtractables, par mastic spécial et bande adhésive couleur acier ou des raccords à joints seront utilisés.

Seules les consommations liées à la ventilation figurent dans la synthèse d'étude thermique communiquée au CETE. Les indications relatives aux débits, puissances et rendement des échangeurs ont été trouvés dans le DCE mais n'ont pu à ce stade être comparés.

4.5. Chauffage – refroidissement

4.5.1. Chaudière gaz à condensation

Les éléments présents dans l'étude thermique ne permettent pas de vérifier formellement la concordance avec le DCE, le détail visible dans la synthèse n'étant pas suffisamment précis.

Chauffage	Hypothèses de la note de calcul	Formulation du DCE	Divergences
Type de production	Chaudière Gaz condensation	13.3.3.1.1 Chaudière gaz à condensation Chaudière au sol à condensation VIESSMANN type Vitocrossal 200 CM2 fonctionnant au gaz naturel Chaudière gaz à condensation avec marquage CE, classification RT2005 et 4 étoiles selon directive rendement 92/42/CEE.	
Puissance de l'installation	0,023kWh/M ² SHON	Puissance nominale : 186 kW pour un régime 50/30°C	
Rendement de l'installation	98%	Rendement global annuel selon DIN 4702/8 : 108 %. Rendement à 30% de charge (30°C) selon la RT2005 : 107,5 %. Rendement à 100% de charge (70°C) selon la RT2005 : 97,3 %.	

Chauffage	Hypothèses de la note de calcul	Formulation du DCE	Divergences
Distribution	Réseau bit-tube	<p>13.2.1.2 Travaux de chauffage</p> <p>Toute la distribution sera réalisée en réseaux de type bitube.</p> <p>En chaud, la circulation du fluide caloporteur se fera au régime nominal de 60-40°C, pour la température extérieure de base.</p> <p>Le circuit radiateur sera de type à température régulée en fonction de la température extérieure.</p>	
	Réseau aérothermes	<p>Un réseau aérotherme sera effectué en même temps que le réseau radiateurs pour mise en place des aérothermes en deuxième phase.</p>	
Émission	Radiateurs	<p>Dans les nouveaux sanitaires, il sera installé des radiateurs panneau aciers.</p> <p>Les radiateurs seront en acier, pré peints, peinture époxy type REGGANE 3000, posés sur supports muraux robustes ; les types indiqués sur les plans sont de marque FINIMETAL.</p> <p>Les radiateurs seront du type habillé et dimensionnés en basse température (60/40°C).</p> <p>Chaque radiateur sera équipé excepté ceux de la circulation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un robinet thermostatique NF de marque DANFOSS ou équivalent - d'un module débitmétrique d'équilibrage - d'un robinet de vidange - d'un purgeur d'air manuel à carré en partie haute. 	
	Aérothermes	<p>Les aérothermes seront installés sur un support mural à la charge du présent lot.</p> <p>Puissance (60-40°C) : 25 kW</p> <p>Débit : 5300 m3/h</p> <p>Marque : CIAT ou équivalent</p> <p>Type : HELIOTHERM 4452 - Monophasé</p> <p>Chaque appareil sera équipé des éléments suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - vanne d'isolement sur aller et retour - vanne de réglage sur le retour - vanne trois voies de régulation - diffuseur double déflexion - thermostat d'ambiance avec programmation journalière/hebdomadaire <p>La régulation de l'ensemble des aérothermes se fera par gestion électronique sur l'air et sur l'eau.</p>	Notice technique de l'Héliotherme H4000 communiquée par le BET Pas de divergence

4.6. Eau chaude sanitaire (ECS)

4.6.1. Préparateur d'eau chaude sanitaire

La production d'eau chaude sanitaire sera réalisée par l'intermédiaire d'un producteur d'eau chaude fonctionnant au gaz naturel, équipé d'un brûleur modulant.

Type de production ECS	Étude thermique	Extrait du DCE	Divergences
Puissance maximale fournie	60,563 kWh/m ² /an rendement 0,872	Puissance : 220 kW Débit ECS : 1745 l/10 min Marque : ACV ou équivalent Type : HEATMASTER 201N	
Réseau de distribution (Implantation et isolation)		13.2.3.5 Toutes les conduites EF/EC/bouclage passeront prioritairement dans les locaux tempérés . Les traversées de parois seront soigneusement fourreautées (carton formellement exclu). Les traversées des contre-cloisons des appareils suspendus seront rendues étanches par la mise en place d'un joint mastic de polyuréthane.	
Ballon d'eau chaude		Le ballon interne de type annulaire à grande surface de chauffe pour la production d'eau chaude sanitaire est construit en acier inoxydable Chrome/Nickel 18/10. Il est ondulé sur toute sa hauteur par un procédé de fabrication exclusif et est entièrement soudé à l'argon suivant le procédé TIG (Tungsten Inert Gas).	
Caractéristique du ballon		Ballon de type Tank in Tank	
Volume		641 litres	
Position		Local chaufferie Isolation Le corps de la chaudière est entièrement isolé par de la mousse de polyuréthane rigide à	Notice technique du ballon fournie : « Le corps de la chaudière est entièrement isolé par de la mousse de polyuréthane rigide à haut coefficient d'isolation thermique »

Type de production ECS	Étude thermique	Extrait du DCE	Divergences
		haut coefficient d'isolation thermique, projetée sans émission de CFC.	
Température de consigne		Bouclage : départ 60 °C retour 55°C, mitigeage par vannes trois voies pour la distribution.	
Consommation ECS (en kWh/an)			
Bouclage		<p>Le titulaire du présent lot devra la mise en oeuvre sur le réseau d'E.C.S. d'un réseau de bouclage comme défini ci-après :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pompe de circulation : Deux pompes de circulation, dont une de secours, en bronze et inox, de marque Salmson ou équivalent, série NSB. Débit : 0.87 m³/h Pdc dispo : 2.25 mCe Type : NSB S 25-20 Marque : SALMSON ou équivalent 	
Gestion des économies d'énergie sur le bouclage		<p>Ces pompes seront équipées de vannes d'arrêt, clapets de retenue, kit manométrique. Chaque pompe de recyclage sera commandée par une programmation journalière permettant par mesure d'économie d'arrêter la circulation la nuit. L'entreprise du présent lot devra également la mise en place :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'une manchette témoin placée entre deux vannes permettant le contrôle du bouclage une fois par an. - d'un enregistreur de température sur le retour du bouclage. 	<p>L'eau chaude produite par le ballon sert essentiellement aux vestiaires. Son usage est donc très intermittent. Une gestion par programmation permet d'arrêter la circulation de l'eau chaude dans le bouclage pendant les périodes d'inoccupation.</p>

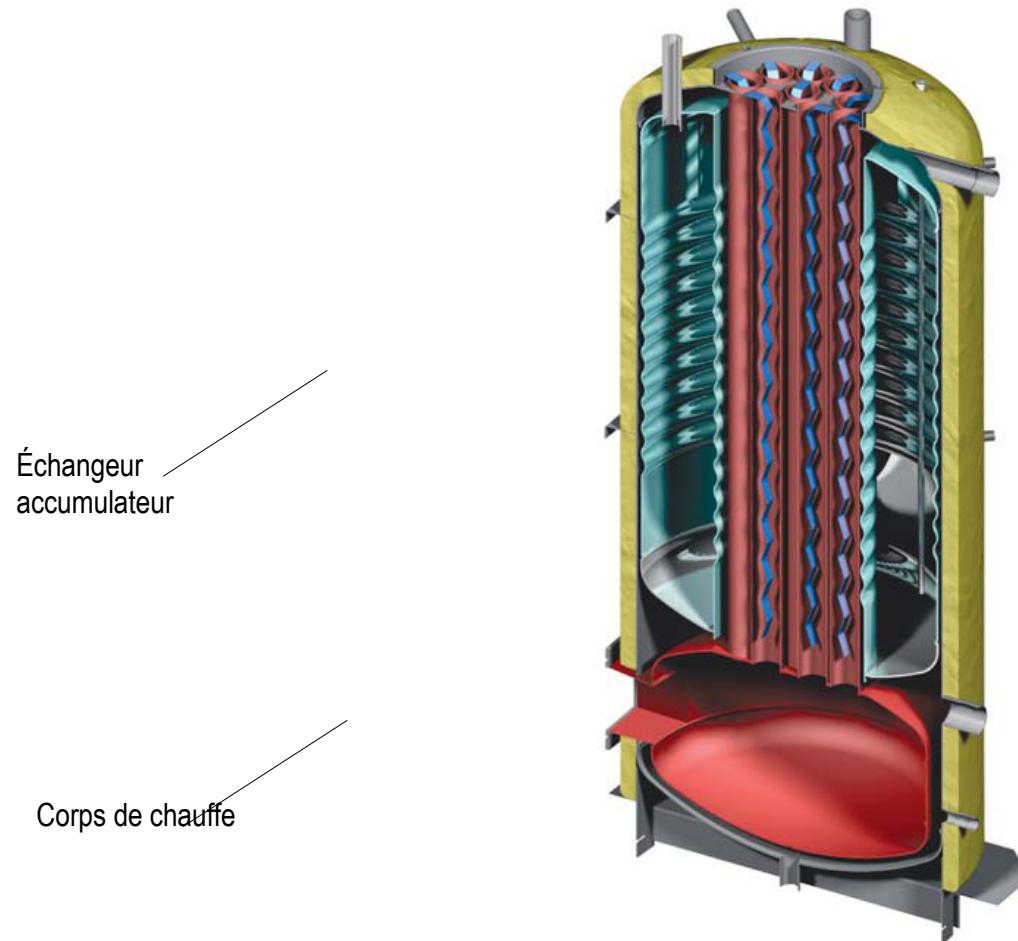


Schéma de principe du préparateur ECS

4.7. Éclairage

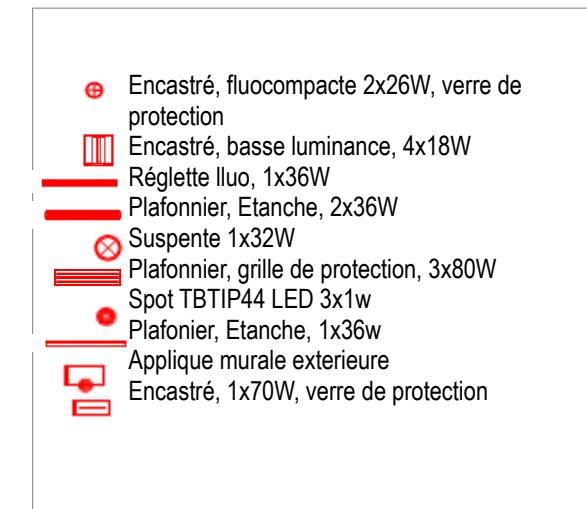
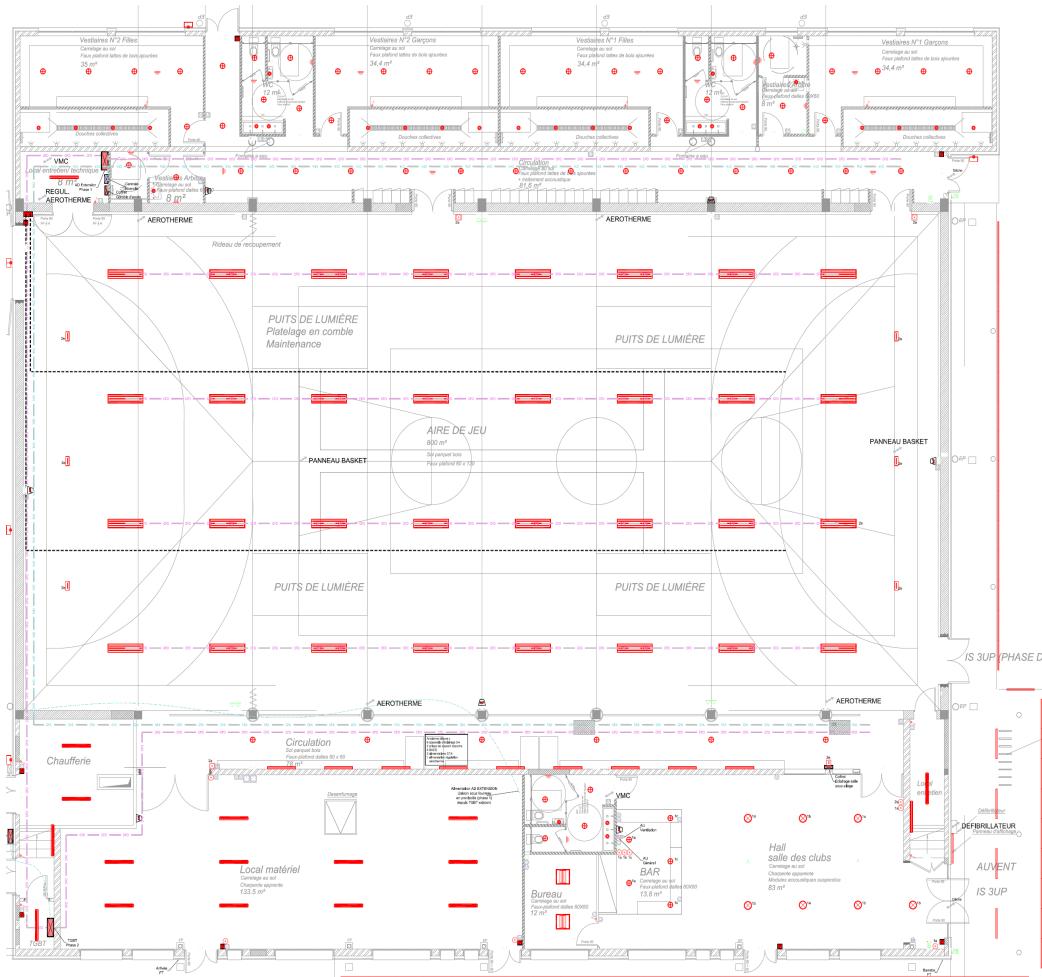
L'éclairage installé fait essentiellement appel à des tubes fluorescents et à des LED économes en énergie. La halle de sport bénéficie d'un éclairage naturel important.

4.7.1. Descriptif de l'éclairage

Code luminaire	Type et Marque	Indice de protection IP/IK	puissance	Localisation
E1	Luminaire encastré, pour lampe T26, type RAPI DT de SERMES ou techniquement équivalent	44/07 cl II	Fluo compact 2x26 W	Circulations, vestiaires, sanitaires
E2	Luminaire encastré à lampes fluorescentes, basse luminance, type OMEGA T8 de THORN ou techniquement équivalent	20/04	Fluo 4x18 W	Bureau
E3	Réglette en acier pré laqué blanc avec diffuseur, type POPPACK CLASSIC de THORN ou techniquement équivalent	65/02	Fluo 1*36 W	Bandeau lumineux -circulation
E4	Luminaire étanche, corps et diffuseur en polycarbonate, type AQUAFORCE II de THORN ou techniquement équivalent	65/08	Fluo 2x36 W	Local matériel, locaux techniques
E5	Luminaire suspendu, réflecteur parabolique en aluminium, type HRL 300SM26-TCT de RIDI ou techniquement équivalent	21	Fluo compact 1x26 W	Hall
E6	Luminaire encastré pour lampes fluorescentes, caisson et	20/10	Fluo 3x80 W	Aire de jeu

Code luminaire	Type et Marque	Indice de protection IP/IK	puissance	Localisation
	grille en acier, type EBR380T de RIDI ou techniquement équivalent y compris montage sur rail			
E7	Luminaire encastré rond, TBT, type PICO IP65 de THORN ou techniquement équivalent	65 cl III	LED 3x1 W	Douche, Sanitaires (au dessus des points d'eau)
E8	Luminaire étanche, formé d'un fourreau en polycarbonate transparent et fermé par embout inox, type NET de SERMES ou techniquement équivalent	68/10	Fluo 1 x28 W	Porche, Préau
E9	Luminaire étanche, KAPITOL de SERMES ou techniquement équivalent	55/08	Fluo compact 2x26 W	Extérieur
E10	Luminaire encastré orientable blanc avec verre de protection, type Tonic de THORN ou techniquement équivalent + grille de protection	20	70 W	Aire de jeu (éclairage mur)

4.7.2. Implantation des luminaires



5. Phase 2 : suivi de chantier, évaluation de la mise en œuvre

À la date du rapport intermédiaire le chantier est en cours, les comptes-rendus de visites sont joints en annexe au présent rapport.

5.1. Enveloppe

Éléments techniques	Formulation DCE	Principaux constats
Murs extérieurs rénovés $U = 0,247 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		
Enduit intérieur à base de plâtre et de sable Plâtre, 2 cm	Fourniture et pose d'habillage réalisé avec une plaque de plâtre haute résistance à l'humidité et aux chocs type PLACOCEM 13 des Ets PLACOPLATRE ou techniquement équivalent, plaque à âme en ciment allégé par des billes en PSE	
Dimensions : 25 x 20 x 50 Brique, 25 cm	Gros œuvre existant	

Éléments techniques	Formulation DCE	Principaux constats
CLADIPAN 32 110x405x1500 Isolant , 11 cm	Lot bardage manquant au dossier transmis	  <p>Isolation en cours de pose. Les panneaux de laine de roche sont temporairement maintenus par les rails de fixation du bardage.</p>
Bardage Métal, 0,1 cm	Bardage métallique simple peau (extrait DPGF)	 <p>Bardage posé</p>
Mur extérieur vestiaire créé $U = 0,257W/(m^2.K)$		
Plaques de plâtres à parement de carton "standard" Plâtre, 1,3 cm	Fourniture et pose d'un habillage réalisé avec une plaque de plâtre de type BA13 THD des Ets PLACOPLATRE ou techniquement équivalent. - Une ossature horizontale et verticale R48 et M48, montants simples ou doubles d'entraxe 0.40m.	

Éléments techniques	Formulation DCE	Principaux constats
	Joints traités suivant la technique préconisée par le fabricant	
Dimensions : 20 x 20 x 50 Brique, 20 cm	Gros œuvre existant	
Jonction entre le retour des plateaux et l'ossature Singularité	--	
Bardage Métal, 1 cm	Bardage métallique simple peau (extrait DPGF)	
CLADIPAN 32 110*405*1500 Isolant, 11 cm	Lot bardage manquant au dossier transmis	

PlafondsPlafond rénové $U = 0,148 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Plafond acoustique Divers, 4 cm	Plafond en dalles acoustiques Fourniture et la pose de panneaux Ecophon Super G Plus bord A et ép. 40 mm en module de 1200 x 600 mm posés sur ossature rigide Connect à joint creux Omega.	 
Suspente métallique servant à fixer le plafond suspendu Singularité	Fourniture et pose de plafonds en plaques de plâtre sur ossatures métalliques comprenant : - une ossature composée de suspentes, de tiges filetées avec tendeur, de cavaliers et des fourrures, en acier galvanisé, en montage feu. - une isolation en laine de roche de 240 mm (Fourniture et pose d'une isolation thermique avec pare vapeur d'une résistance thermique $R=6.00 \text{ m}^2 \text{ K/W}$)	
IBR CONTACT 240*1200*3500 Isolant, 24 cm	- un parement par 2 plaques de plâtre de 13 mm spécial feu fixées perpendiculairement à l'ossature, avec talons. - un traitement des joints et bandes.	
Acier Métal 0,1 cm		<p>Isolation en laine de verre 24 cm. Le pare-vapeur des panneaux n'est pas jointif : difficulté, voire impossibilité sur un plafond suspendu de cette portée. L'étanchéité à l'air du plafond n'est donc pas traitée.</p>

Éléments techniques	Formulation DCE	Principaux constats
Puits de lumière	<p>Puits de lumière <i>11.2.6 Couverture translucide</i> Couverture translucide en système DANPALON 16 MC des Ets EVERLITE-CONCEPT constitués de panneaux alvéolaires 6 parois extrudé à partir de Makrolon 1143 DE Bayer ayant une trame de 600 mm de largeur et des relevés longitudinaux à double crantage de 15 mm pour connecteurs aluminium extérieur.</p> <ul style="list-style-type: none"> - teinte suivant choix Architecte - Obturateurs aluminium - Coefficient K= 1.53 W/m² 	  <p>Puits de lumière exécutés conformément au DCE</p>
Plafond sur anciens vestiaires U= 0,224 W/(m ² .K)		
Plafond acoustique, 4 cm	<p>Plafond en dalles acoustiques Fourniture et la pose de panneaux Ecophon Super G Plus bord A et ép. 40 mm en module de 1200 x 600 mm posés sur ossature rigide Connect à joint creux Omega.</p>	<p>Non installé à la date de la dernière visite</p>
Panneau sandwich - Bac sec 15 cm	<p><i>11.2.2 Couverture en panneaux sandwiches</i> Fourniture et pose de panneaux sandwiches de couverture type PROMISTYL FEU 3005 T des Ets ARVAL ou techniquement équivalent, compris accessoires de fixations par crochets ou vis autoperceuse avec rondelles d'étanchéité. L'entreprise devra toutes les sujétions nécessaires de mise en oeuvre conformément aux prescriptions techniques du fabricant, DTU et normes en vigueur. Localisation : TRANCHE 2 : Pour la couverture des anciens vestiaires</p>	<p>Non installé à la date de la dernière visite</p>
Plafonds sur sanitaires créés U = 0,163 W/(m ² .K)		
Faux-plafond, 2,5 cm	<p>Fourniture et la pose d'un faux plafond en dalles démontables type Neptune marque Eurocoustic ou équivalent. Ce plafond sera réalisé en panneaux de fibre minérale revêtus sur la face apparente d'un voile de verre décoratif blanc. Coloris : Blanc uni,</p>	<p>Non installé à la date de la dernière visite</p>

Éléments techniques	Formulation DCE	Principaux constats
	Dalles de 600 x 600 R épaisseur : 25 mm, Classement au feu : M0, Performance acoustique alpha W = 0.25	
Suspente métallique servant à fixer le plafond suspendu		Non installé à la date de la dernière visite
Lame d'air non ventilée, 50 cm	Visible sur plans	Non installé à la date de la dernière visite
Dimensions : 20x20x50 Brique, 20 cm	Gros œuvre existant	Non installé à la date de la dernière visite
ELASTOPHENE FLAM 70-25 Plastique, 2,5 cm	Film isolant	
Knauf Isolant, 12 cm	Fourniture et pose d'une isolation thermique avec pare vapeur d'une résistance thermique R=2.40 m ² K/W	Non installé à la date de la dernière visite
ELASTOPHENE FLAM 25 Plastique , 2,5 cm		Non installé à la date de la dernière visite

Éléments techniques	Formulation DCE	Principaux constats
Planchers		
Plancher rénové sous gymnase U = 0,194 W/(m².K)		
STYROFOAM 200 BE-A 60*600*1200 Isolant, 6 cm	Fourniture et pose d'un revêtement de sol sportif surfacique combiné sur support flottant constitué de : - Film polyéthylène 150 microns avec recouvrement des lès d'au moins 20 cm - Une sous-couche résiliente en mousse polyuréthane de 15 mm d'épaisseur, densité de 80 kg m ³ - Un complexe de bois formant plaque de répartition et plancher flottant de 21 mm d'épaisseur réalisé en éléments croisés et assemblés par encollage élastique approprié. - Un linoléum sportif de 4 mm d'épaisseur, couleur au choix dans la gamme du fabricant	Isolation en polystyrène expansé. L'isolant du plancher bas visible au niveau des seuils de portes semble plus épais que l'isolant décrit dans le DCE
Béton plein (lourd), 6 cm	10.10.1 Dallages Réalisation d'un dallage en béton armé de 13 cm d'épaisseur compris coffrage	
Cartons, feutres et chapes souples imprégnées, 0,1 cm	- Isolation thermique de 50 mm sur toute la surface compris remontées	
Feuillus très lourd (Pn > 1000 kg/m ³), 1,5 cm	- Film polyéthylène avec recouvrement des lès de 30 cm minimum	
350 < P < ou = 550 kg/m ³ , 0,9 cm	- Mise en oeuvre de béton compris coffrage nécessaires	
sable et gravier (capacité thermique : 910-1180), 2 cm		
Granités, 20 cm		
Polyuréthane (PU), 1,5 cm		

5.2. Ventilation

La centrale double-flux était en cours d'installation lors de la dernière visite. L'ensemble des réseaux installés visibles était calorifugé.

5.3. Chauffage

Non installé à la date de la dernière visite.

5.4. Eau chaude sanitaire (ECS)

Dispositif non installé à la date de la dernière visite.

5.5. Éclairage

Éclairage en cours d'installation. Luminaires de l'aire de jeu posés.

Formulation DCE	puissance	Localisation	
Luminaire encastré, pour lampe T26, type RAPI DT de SERMES ou techniquement équivalent	Fluo compact 2x26 W	Circulations, vestiaires, sanitaires	Non installé
Luminaire encastré à lampes fluorescentes, basse luminance, type OMEGA T8 de THORN ou techniquement équivalent	Fluo 4x18 W	Bureau	Non installé
Régllette en acier pré laqué blanc avec diffuseur, type POPPACK CLASSIC de THORN ou techniquement équivalent	Fluo 1*36 W	Bandeau lumineux -circulation	Non installé

Formulation DCE	puissance	Localisation	
Luminaire Etanche, corps et diffuseur en polycarbonate, type AQUAFORCE II de THORN ou techniquement équivalent	Fluo 2x36 W	Local matériel, locaux techniques	Non installé
Luminaire suspendu, réflecteur parabolique en aluminium, type HRL 300SM26-TCT de RIDI ou techniquement équivalent	Fluo compact 1x26 W	Hall	Non installé
Luminaire encastré pour lampes fluorescentes, caisson et grille en acier, type EBR380T de RIDI ou techniquement équivalent y compris montage sur rail	Fluo 3x80 W	Aire de jeu	
Luminaire encastré rond, TBT, type PICO IP65 de THORN ou techniquement équivalent	LED 3x1 W	Douche, sanitaires (au-dessus des points d'eau)	Non installé
Luminaire étanche, formé d'un fourreau en polycarbonate transparent et fermé par embout inox, type NET de SERMES ou techniquement équivalent	Fluo 1 x28 W	Porche, préau	

6. Phase 3 : suivi de l'exploitation du bâtiment

Exploitation non débutée à la date du rapport intermédiaire (présent cahier de suivi).

7. Conclusion intermédiaire

Les travaux du gymnase de Saint-Léonard-de-Noblat vont se poursuivre jusqu'au printemps 2014. L'installation des sous-compteurs et du système d'instrumentation se fera courant 2014. Plusieurs éléments techniques relatifs aux performances du système de chauffage (PAC géothermique) sont encore manquants à ce stade.

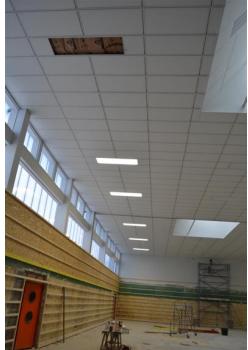
Annexes

Annexe a - Compte-rendu de visite de chantier du 5 décembre 2013

Avancement du chantier	Isolation de la toiture + faux-plafonds réalisés. Éclairage de la halle de sport installé. Puits de lumière et vitrages en DAMPATHERM réalisés. Pose des menuiseries vestiaires en cours. Pose isolation extérieure en cours. Pose CTA double flux en cours. Doublage isolant sous plancher bas en polystyrène réalisé.
modifications	L'implantation de la pompe à chaleur est modifiée par rapport au projet d'origine, un local spécifique à la PAC sera créé à côté du TGBT.

Constats

Vue générale extension façade nord-est	
Vue générale façade sud-est	

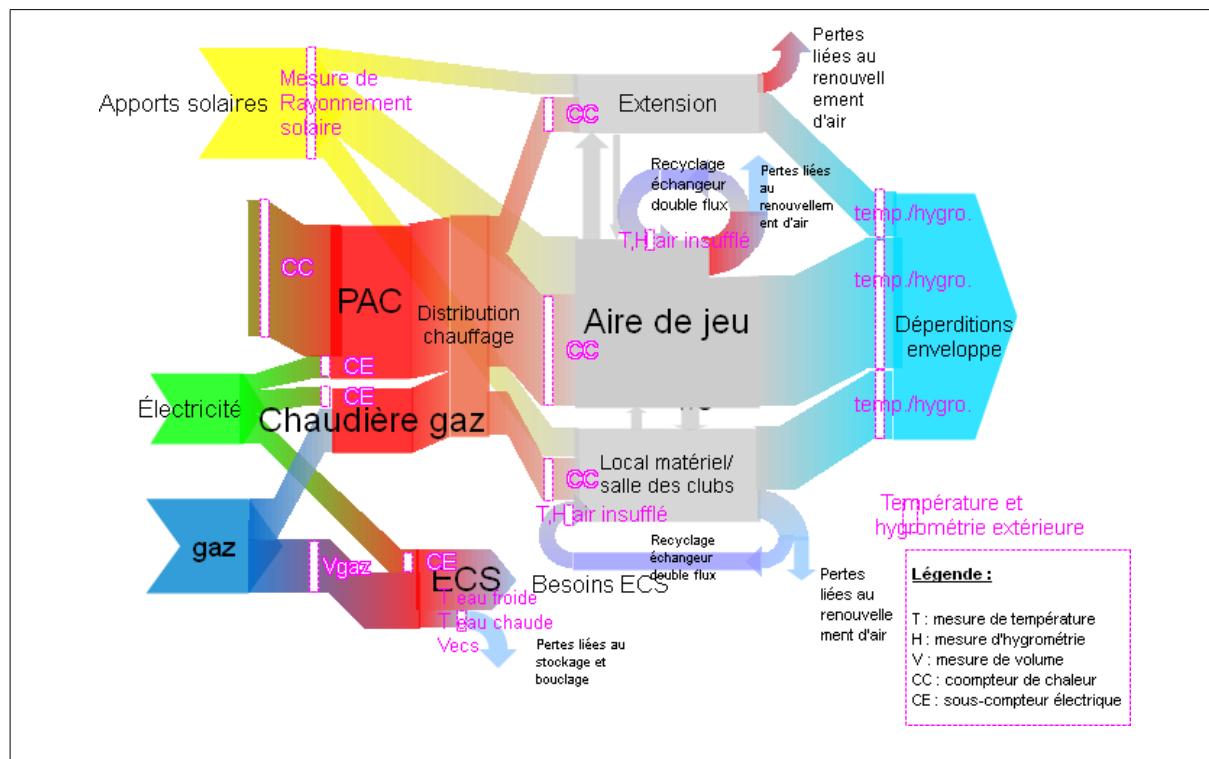
Vue façade sud-ouest	
<p>Mise en œuvre des menuiseries. La mise en œuvre des menuiseries métalliques est correcte : les joints sont réalisés de manière soignée pour l'étanchéité à l'air.</p>	 
<p>Blocs portes métalliques. La mise en œuvre actuelle n'est pas satisfaisante : nombreux jours autour du dormant. Les ouvrants ne sont pas étanches (absence de joints). Signalé au maître d'ouvrage et à l'architecte pour y remédier.</p>	
<p>Mise en œuvre plafond intérieur : isolation par panneaux de laine de roche dans les faux-plafonds. Mise en œuvre sans jonction des pare-vapeur (difficulté technique). Cela devrait pénaliser la perméabilité à l'air de la halle de sport, reste à savoir dans quelles proportions. Installation des rampes d'éclairage effectuée conformément aux plans.</p>	  

Mise en œuvre de la VMC double flux : les réseaux sont calorifugés.	
Isolation des planchers. Matériaux isolants mis en œuvre : Styrofoam. Épaisseur observée : 100 mm au lieu des 70 mm prévus au DCE et 60 mm considérés dans l'étude thermique initiale ; performance thermique accrue.	

Annexe b - Plan d'instrumentation

Analyse du fonctionnement thermique du bâtiment

Une analyse des apports et des pertes d'énergie du système « bâtiment » est effectuée pour le gymnase de Saint-Léonard-de-Noblat. Il en résulte le diagramme de Sankey suivant :



Les systèmes instrumentés sont les suivants.

Chauffage

Le chauffage du gymnase est assuré par un PAC géothermale à sondes verticales, couplée à une chaudière gaz intervenant en appont. La chaleur produite par ce système combiné est distribuée par 4 circuits de chauffage :

- un circuit radiateurs vestiaires
- un circuit radiateurs zone existante
- un circuit pour les aérothermes gymnase
- un circuit pour les batteries chaudes de la CTA gymnase et salle des associations.

Pour évaluer les consommations énergétiques liées au chauffage, les postes suivants devront être instrumentés :

Énergie thermique dissipée dans les circuits de chauffage

Compteur d'énergie thermique pour comptabiliser l'énergie totale apportée pour le chauffage du gymnase.

- **Localisation :** un compteur de calories sera positionné sur le circuit départ/retour alimentant les vannes du circuit de chauffage. Les points de comptage seront placés au plus près de la pompe à chaleur. La partie du

compteur mesurant le débit devra être placée sur le circuit retour des planchers chauffants, après le ballon de stockage.

- **Fréquence d'acquisition des données :** horaire si un compteur d'énergie à impulsions est utilisé, toutes les minutes si compteur de débit couplé à deux sondes de températures en doigt de gant.

Énergie thermique captée dans le sous-sol

Compteur d'énergie thermique ou sondes de températures départ/retour couplées à une mesure de débit du fluide caloporteur alimentant la PAC, pour comptabiliser l'énergie totale apportée par la géothermie.

- **Localisation :** un compteur de calories sera positionné sur le circuit départ/retour alimentant les vannes des différents planchers chauffants. Les points de comptage seront placés au plus près de la pompe à chaleur. La partie du compteur mesurant le débit devra être placée sur le circuit retour à la pompe-à-chaleur.
- **Fréquence d'acquisition des données :** horaire si un compteur d'énergie à impulsions est utilisé, toutes les minutes si mesure de débit du fluide caloporteur couplé à deux sondes de températures en doigt de gant.

Appoint gaz

Une chaudière au gaz est utilisée en appoint pour alimenter les circuits de chauffage. Un sous-compteur de gaz est placé sur l'alimentation en gaz de la chaudière.

- **Localisation :** sur la conduite de gaz alimentant la chaudière.
- **Fréquence d'acquisition des données :** horaire.

Part d'énergie utile apportée par la chaudière gaz

Compteur d'énergie thermique pour comptabiliser l'énergie totale apportée par la chaudière gaz aux différents circuits de chauffage.

- **Localisation :** un compteur de calories sera positionné sur le circuit départ/retour alimentant les vannes du circuit de chauffage. Les points de comptage seront placés au plus près de la chaudière gaz. La partie du compteur mesurant le débit devra être placée sur le circuit retour à la chaudière.
- **Fréquence d'acquisition des données :** horaire si un compteur d'énergie à impulsions est utilisé, toutes les minutes si compteur de débit couplé à deux sondes de températures en doigt de gant.

Consommation électrique de la pompe à chaleur et des auxiliaires de chauffage et ECS

Consommation électrique de liée à la production de chauffage (compresseur de la pompe à chaleur, circulateurs, pompes, régulation, etc.).

- **Localisation :** un sous-comptage électrique se fera sur l'armoire électrique de la pompe à chaleur.
- **Fréquence d'acquisition des données :** horaire.

Si la configuration du tableau l'exige, la consommation électrique de la PAC et celle des auxiliaires de circulation pourront être distinguées par deux sous-comptages.

Énergie dissipée par le chauffage dans les différentes zones

Afin de connaître les répartitions des apports d'énergie par zone les compteurs d'énergie thermique suivants doivent être installés :

- un circuit radiateurs vestiaires
- un circuit radiateurs zone existante
- un circuit pour les aérothermes gymnase

La consommation des batteries chaudes de la CTA gymnase et salle des associations s'obtiendra par déduction des comptages des circuits précédents du compteur d'énergie placé en sortie de génération sur le circuit secondaire.

Zone vestiaires

Compteur d'énergie thermique pour comptabiliser l'énergie totale apportée par le système de chauffage à la zone vestiaires.

- **Localisation** : un compteur de calories sera positionné sur le circuit départ/retour alimentant les radiateurs du circuit alimentant la zone vestiaires.
- **Fréquence d'acquisition des données** : horaire si un compteur d'énergie à impulsions est utilisé, toutes les minutes si compteur de débit couplé à deux sondes de températures en doigt de gant.

Zone existante

Compteur d'énergie thermique pour comptabiliser l'énergie totale apportée par le système de chauffage à la zone existante.

- **Localisation** : un compteur de calories sera positionné sur le circuit départ/retour alimentant les radiateurs du circuit zone existante.
- **Fréquence d'acquisition des données** : horaire si un compteur d'énergie à impulsions est utilisé, toutes les minutes si compteur de débit couplé à deux sondes de températures en doigt de gant.

Zone halle gymnase

Compteur d'énergie thermique pour comptabiliser l'énergie totale apportée par le système de chauffage aux générateurs aérothermes de la halle du gymnase.

- **Localisation** : un compteur de calories sera positionné sur le circuit départ/retour alimentant le circuit des aérothermes.
- **Fréquence d'acquisition des données** : horaire si un compteur d'énergie à impulsions est utilisé, toutes les minutes si compteur de débit couplé à deux sondes de températures en doigt de gant.

Ventilation simple flux

Consommation électrique des auxiliaires de ventilation

La consommation électrique des auxiliaires de ventilation doit être mesurée : consommation du ventilateur d'extraction et du système de régulation.

- **Localisation** : le sous-comptage électrique des postes de ventilation sera effectué sur les départs correspondants du tableau électrique.
- **Fréquence d'acquisition des données** : horaire.

Ventilation double flux

Consommation électrique des centrales de traitement d'air

La consommation électrique des CTA double flux des zones « Aire de jeu » et « Hall salle des clubs » doit être mesurée : pour cela on relèvera la consommation de l'échangeur et de systèmes de régulation.

- **Localisation** : Le sous-comptage électrique des postes de ventilation sera effectué sur les départs correspondants du tableau électrique TGBT.
- **Fréquence d'acquisition des données** : horaire.

Température et hygrométrie de l'air dans les gaines de soufflage des deux CTA

Afin d'évaluer le rendement des échangeurs des CTA , la température et l'hygrométrie de l'air dans les gaines doivent être mesurées en trois points : sur l'air neuf entrant dans la CTA, sur l'air neuf préchauffé par la CTA entrant dans le volume chauffé, sur l'air extrait entrant dans la CTA. Les valeurs de température de l'air neuf entrant seront fournies par la station météo du CETE, celles de l'air extrait par les sondes de température et celles d'hygrométrie à partir de capteurs autonomes placées dans les volumes chauffés. Des sondes de température devront être placées dans les gaines de refoulement en sortie d'échangeur afin d'évaluer la quantité de chaleur récupérée.

- **Localisation** : dans la gaine de refoulement en sortie des CTA double flux des zones « Aire de jeu » et « Hall salle des clubs ».
- **Fréquence d'acquisition des données** : horaire.

Éclairage

La consommation électrique correspondant à l'éclairage total des parties comprises dans le volume chauffé doit être mesurée. Dans la mesure du possible, le regroupement des différents départs d'éclairage vers un seul sous-compteur sera privilégié. A défaut, la consommation de l'éclairage de l'aire de jeu sera privilégiée.

- **Localisation** : sur le tableau électrique correspondant.
- **Fréquence d'acquisition des données** : horaire.

Eau chaude sanitaire

Suivant les usages du bâtiment, la consommation d'eau chaude sanitaire peut être importante. Elle doit donc être mesurée. La consommation d'énergie liée à l'eau chaude sanitaire est mesurée avec les moyens suivants :

- **Localisation** :
 - Température d'eau froide entrant dans le volume chauffé
 - Température d'eau chaude en sortie de ballon
 - Volume d'ECS, mesuré sur arrivée d'eau froide du ballon de chauffage
 - Auxiliaires électriques et consommation de gaz lié à l'ECS et au bouclage.
- **Fréquence d'acquisition des données** : toutes les minutes.

Ambiances extérieures et Intérieures (capteurs installés par le CETE)

Mesure de la température et de l'hygrométrie intérieure

Pour l'évaluation du confort thermique des occupants du bâtiment, la mesure de la température (T), et de l'hygrométrie (H) devra être réalisée dans chaque salle de classe :

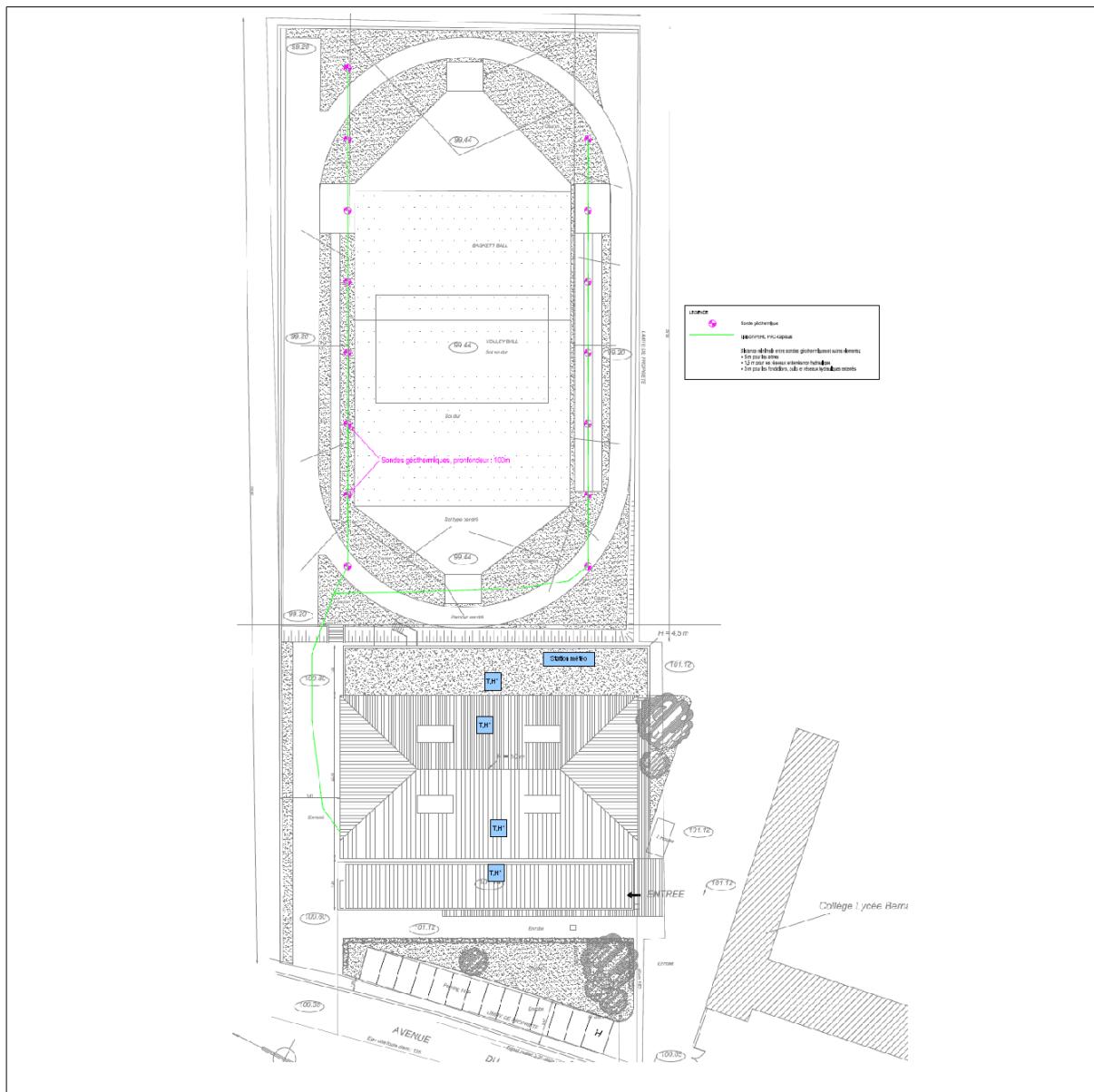
- **Localisation** : plusieurs capteurs seront placés aux endroits suivants : sur une cloison intérieure, à environ 1 m 50 du sol et au moins à 50 cm du plafond et des angles des cloisons ou tout autre zone morte ; éloigné du rayonnement direct, des courants d'air, des sources de chaleur et de la proximité des occupants.
- **Fréquence d'acquisition des données** : horaire.

Mesure des conditions météo extérieures

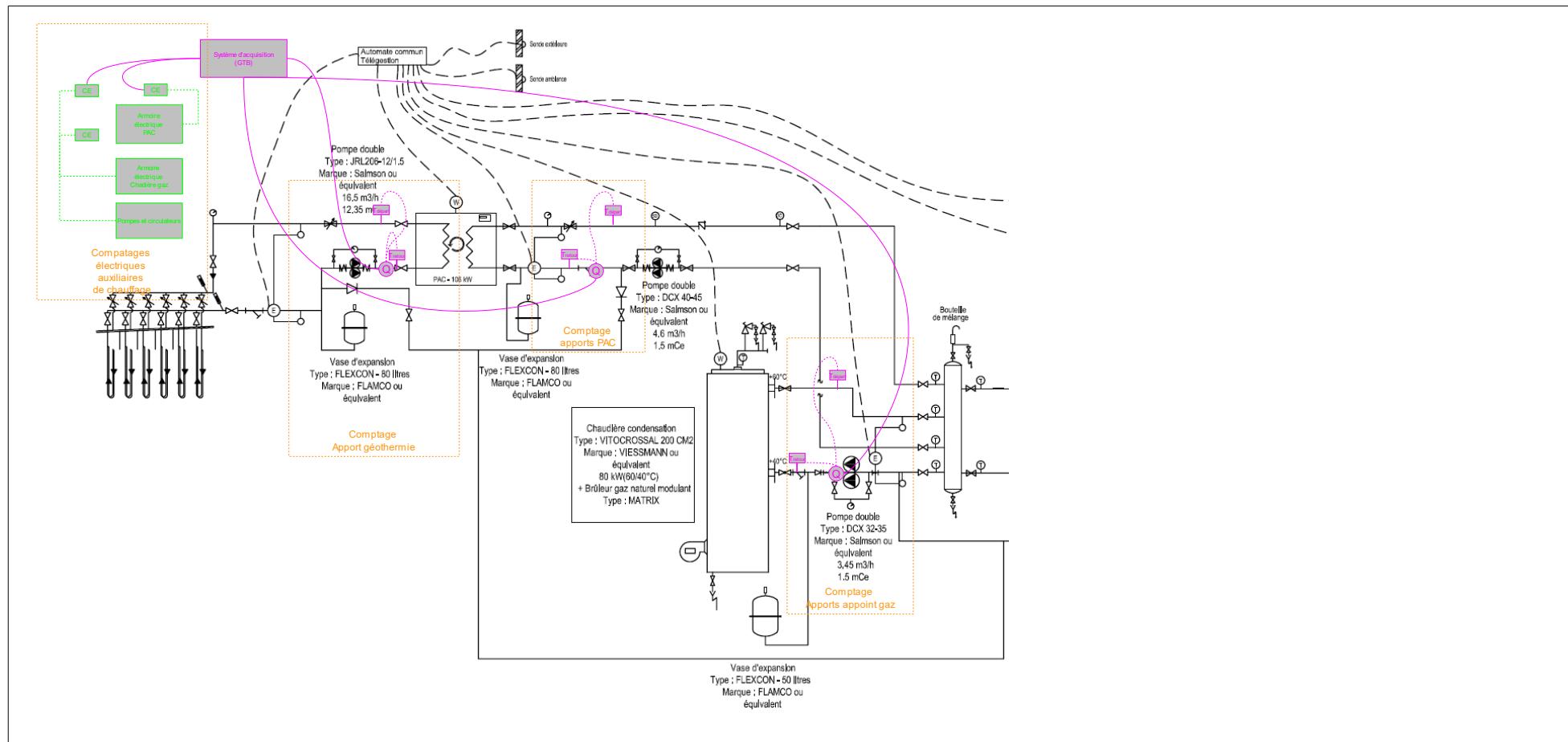
Pour quantifier les conditions extérieures au bâtiment, une station météorologique sera installée. Cette station enregistrera la mesure des grandeurs suivantes :

- température et hygrométrie extérieure,
- rayonnement solaire diffus et direct sur un plan horizontal,
- vitesse du vent,
- direction du vent.
- Fréquence d'acquisition des données : horaire.

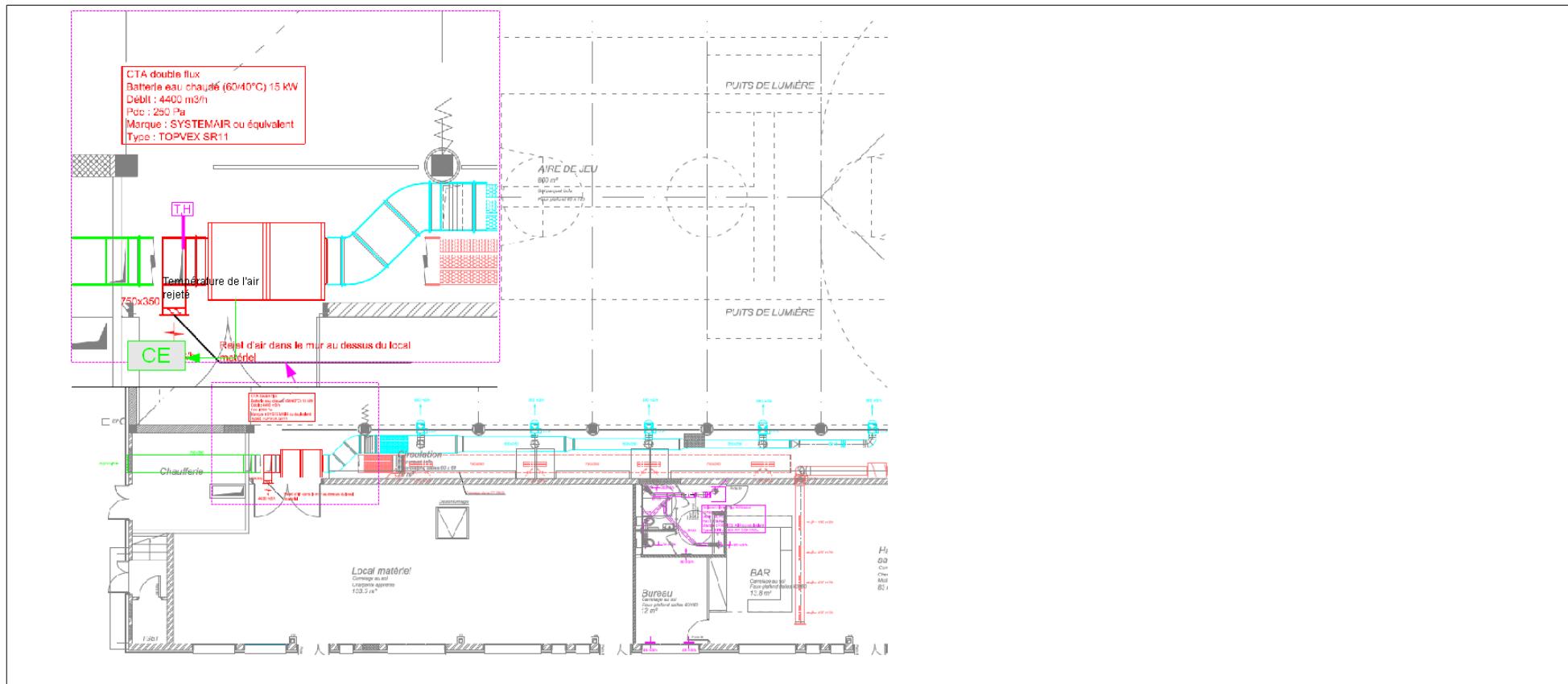
Implantation des compteurs et capteurs



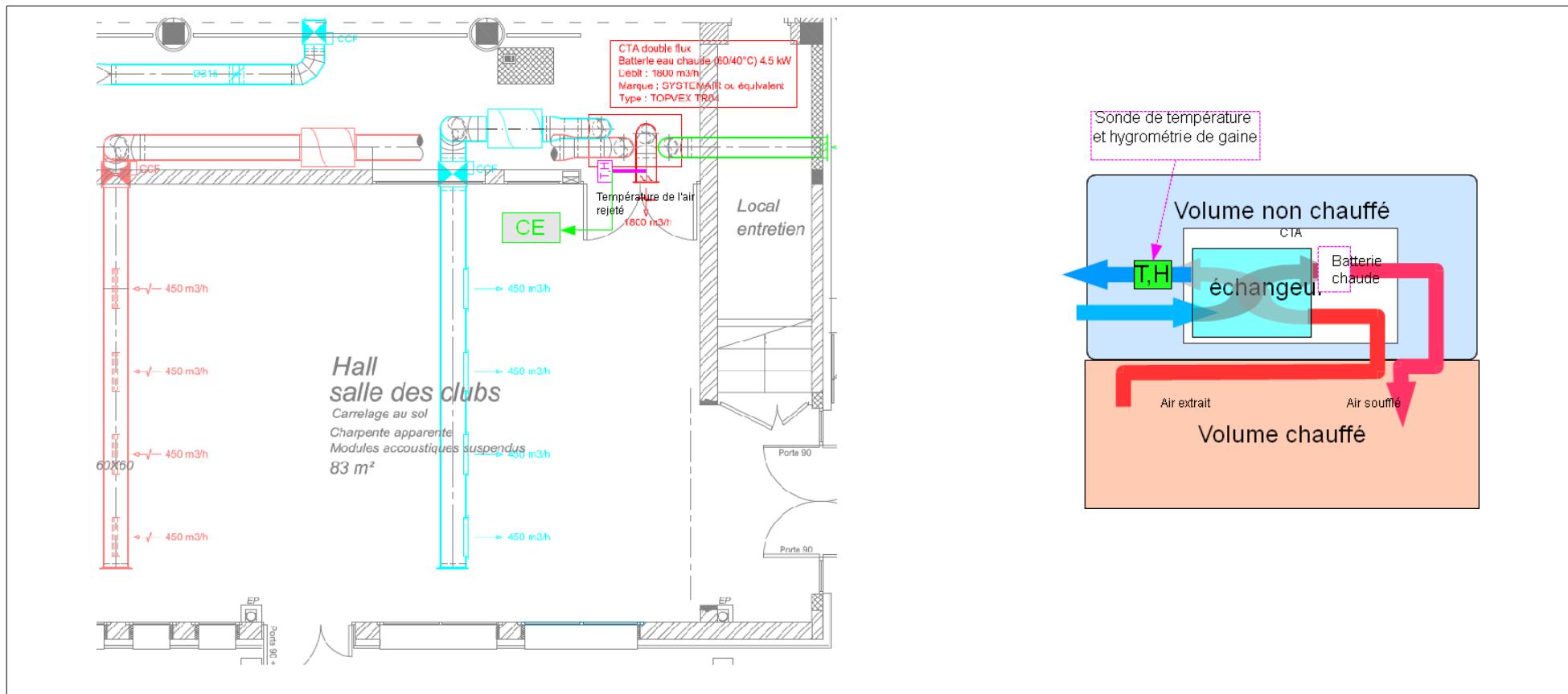
Synoptiques d'instrumentation – chauffage



implantation de l'instrumentation – ventilation



Synoptiques d'instrumentation – Ventilation Hall salle des clubs





Cerema Centre-Est

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 130 018 310 00115 - TVA Intracommunautaire : FR 94 130018310

www.cerema.fr