



AUDIT ENERGETIQUE ECOLE DU PHARE

Ville de Plouguerneau

ETUDE : AUDIT
PHASE : RAPPORT FINAL
INDICE : B
DATE : JUILLET 2019

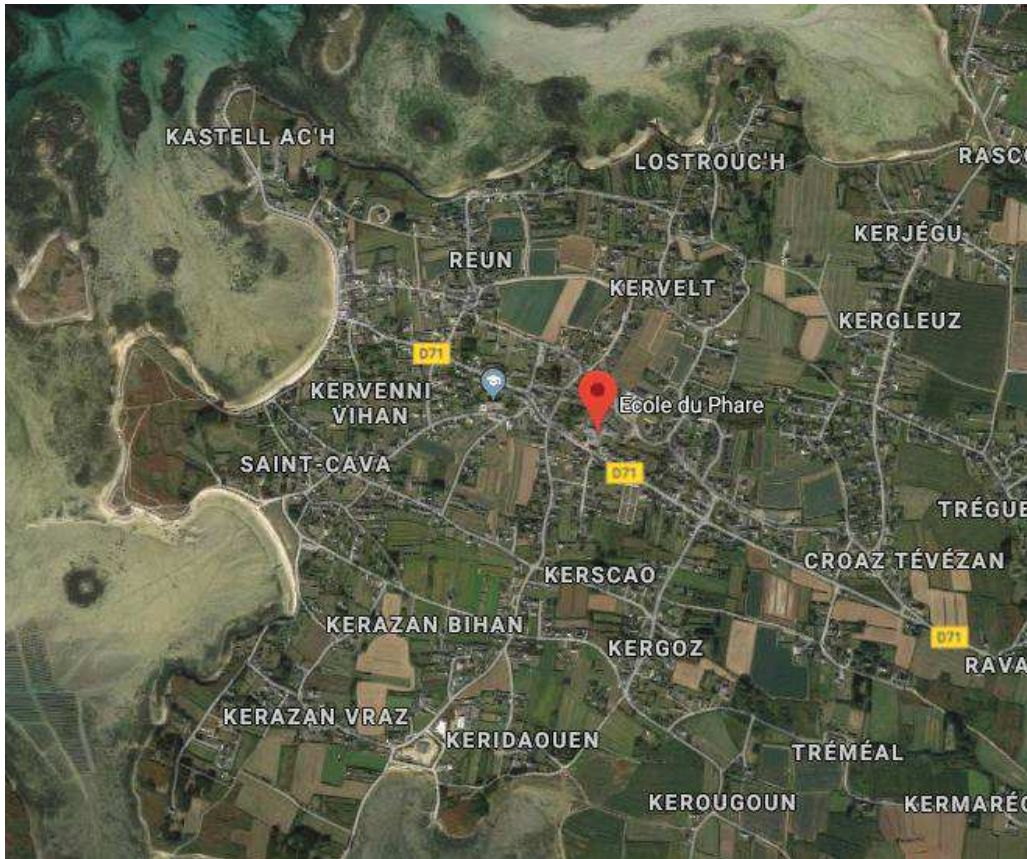
Table des matières

I.	PRESENTATION GENERALE.....	3
II.	RELEVES	6
II.1	ENVELOPPE	7
II.1.1	Composition de parois	7
II.1.2	Etanchéité à l'air	11
	Infiltration en partie courante.....	12
	Menuiseries	12
	Infiltration en partie courante.....	13
	Liaisons périphériques (parois, plancher, plafond)	13
	Menuiseries	13
	Eléments traversant les parois et/ou les sols.....	13
	Appareillages électriques (prises, tableau, etc.).....	15
	Infiltration en partie courante.....	15
	Eléments traversant les parois et/ou les sols.....	15
	Liaisons parois/ouvrants.....	15
II.2	SYSTEMES	16
II.2.1	Chauffage	16
II.2.2	Eau chaude sanitaire	19
II.2.3	Ventilation	20
II.2.4	Eclairage.....	22
II.3	FONCTIONNEMENT / USAGE / SCENARIOS.....	24
II.3.1	Températures.....	24
II.3.2	Débits de ventilation.....	28
II.3.3	Occupation	28
II.3.4	Puissances dissipées.....	28
II.3.5	Restauration	28
III.	ANALYSE DES FACTURES	29
III.1.1	Electricité.....	29
III.1.2	Gaz propane	30
III.1.3	Récapitulatif.....	30
IV.	MODELE.....	31
IV.1	GENERALITES.....	31
IV.2	CONSOMMATIONS ET VALIDATION DU MODELE.....	31
V.	TRAITEMENT DES CONSOMMATIONS	33

V.1	BILAN DE DEPERDITIONS	33
V.2	VARIANTES D'OPTIMISATIONS	33
VI.	VARIANTES D'OPTIMISATIONS.....	35
VI.1	TRAVAIL SUR LES SYSTEMES	35
VI.1.1	Mise en place d'une ventilation dans la partie maternelle.....	35
VI.1.2	Optimisation de la régulation par sonde CO2 dans la partie primaire	35
VI.1.3	Remplacement des PAC géothermique	35
VI.1.4	Optimisation de la régulation.....	36
VI.1.5	Remplacement du plancher chauffant par des radiateurs	36
VI.1.6	Eclairage LED.....	36
VI.2	TRAVAIL SUR L'ENVELOPPE	37
VI.2.1	Menuiseries	37
VI.2.2	Isolation des toitures béton	37
VI.2.3	Ré-isolation des murs extérieurs.....	37
VII.	OPTIMISATIONS	0
VII.1	VARIANTES INDEPENDANTES	0
VII.2	SCENARIOS.....	1
VIII.	THCEX	2
VIII.1	VARIANTES INDEPENDANTES	2
VIII.1	SCENARIOS.....	3

IX. PRESENTATION GENERALE

L'école du phare est située dans le village de Lilia à environ 4 km du bourg de Plouguerneau (Finistère).



Le site est constitué de plusieurs bâtiments :

Bâtiment	Usage principal	Surfaces	Année	Typologie	Zone Photo
Maternelle	Classes	382 m ²	avant 1996	RDC. Maçonnerie courante + toitures légères.	1
Primaire + Restauration	Classes Restauration	521 m ²	2006	RDC. Maçonnerie + toitures légères et béton.	2

Plan masse

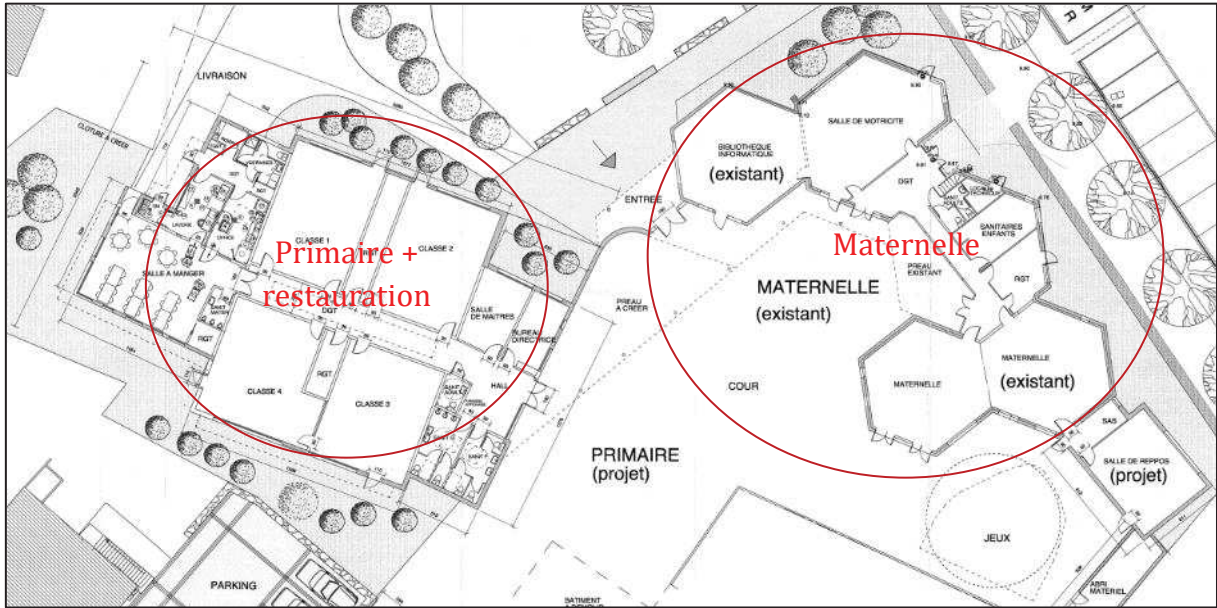


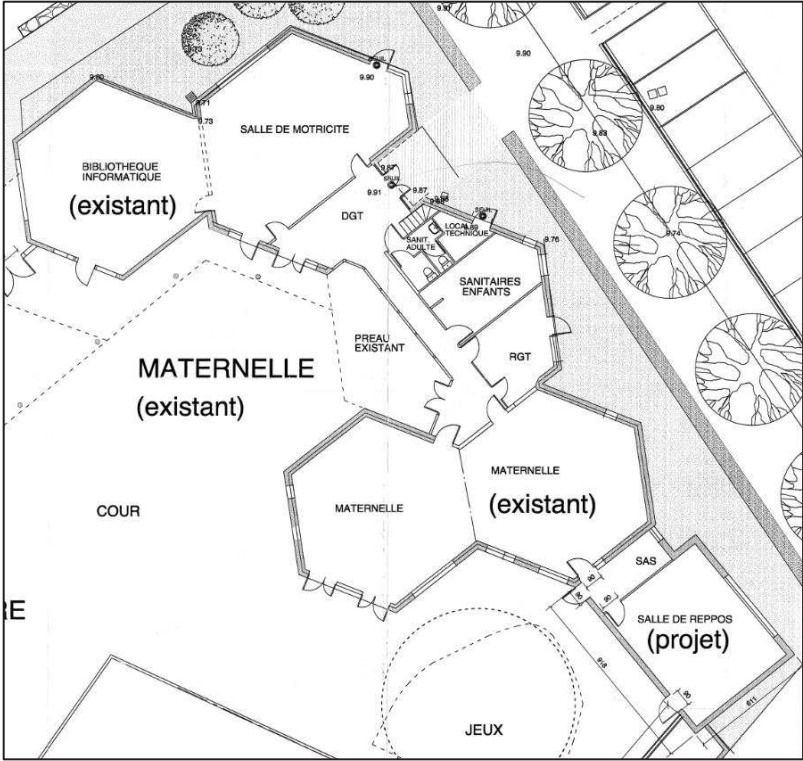
Photo 1 : Maternelle



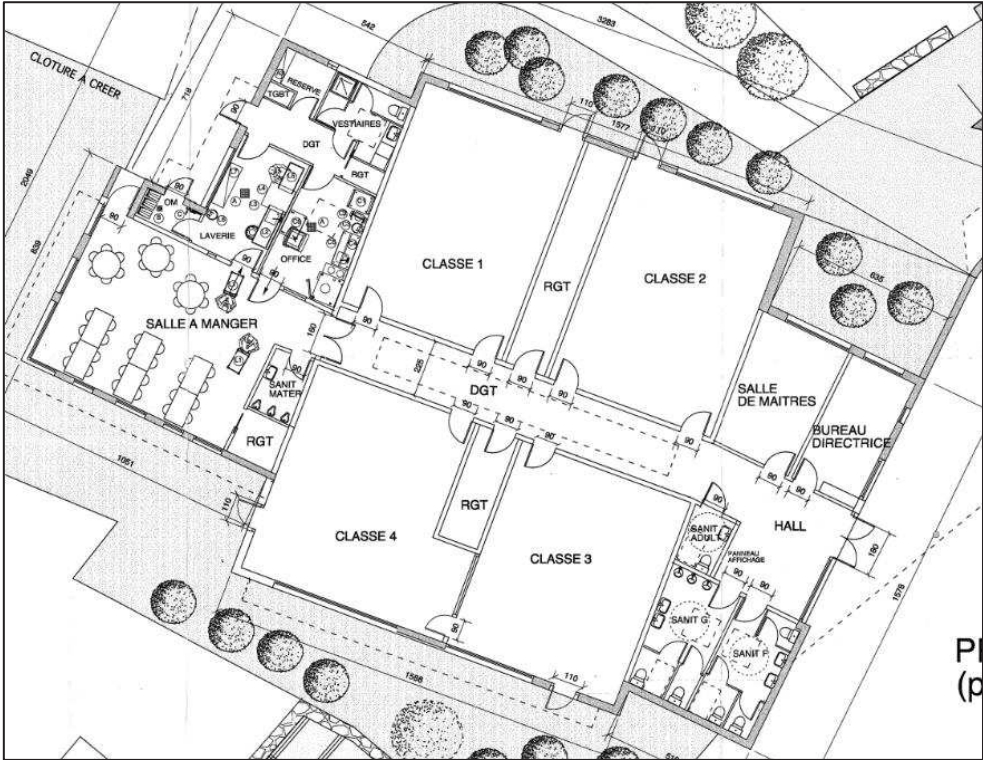
Photo 2 : Primaire + restauration



Plan maternelle :



Plan primaire + restauration :



X. RELEVES

Les éléments constitutifs du bâtiment sont issus des observations réalisées sur place et de l'analyse des plans et documents techniques.

Lorsque la documentation est incomplète et que des sondages ou vérifications sont impossibles, il reste une incertitude sur les données.

Nous les estimons, par exemple en tenant compte du mode constructif et de la date de construction.

Enfin, certaines données sont prises comme variables d'ajustement pour le recollement du modèle.

Par ailleurs, les données propres à l'usage du bâtiment (occupation, équipements divers, consignes de température), sont issues des relevés et observations réalisés sur place et des éléments fournis par la Ville.

Le détail des relevés suivants permet d'une part de **constituer le modèle thermique**, d'autre part de **qualifier l'état du bâti et des installations (état, performance, ...)**.

X.1 Enveloppe

X.1.1 Composition de parois

Bâtiment	Zones concernées	Paroi	Nature	Isolation	Origine de la donnée et certitude	Valeur R ou Uw	Performance
Maternelle	L'ensemble	Plancher bas	Plancher béton NI	Isolant périphérique uniquement	Estimation au vu de la date de construction	Pont thermique modifiés	Plancher chauffant non isolé...
Primaire + Restauration + Repos maternelle	L'ensemble	Plancher bas	Isolation sous chape	60 mm de polystyrène (TH32)	Estimation au vu de la date de construction	R = 1.9	Moyenne
Primaire + Restauration + Repos maternelle	L'ensemble	Mur extérieur	Maçonnerie + doublage placo	8 cm de polystyrène	Relevé sur place	R = 2.0	Moyenne
Maternelle	L'ensemble	Mur extérieur	Maçonnerie + doublage brique	8 cm d'isolant	Relevé sur place	R = 2.0	Moyenne
Restauration et Hall + bureau + sanit.	L'ensemble	Toiture / plafond	Toiture terrasse Fx plafond + 200 mm de LV Dalle béton + isolant 60mm	Laine de verre 200 mm Polystyrène 60 mm	Relevé sur place Estimation	R = 5.0 + 1.5	Bonne
Primaire	L'ensemble	Toiture / plafond	Toiture combles + faux plafonds isolés	Laine de verre 200 mm	Relevé sur place	R = 5.0	Moyenne
Primaire	L'ensemble	Toiture / plafond	Sheds placo	Aucun isolant	Relevé sur place	R < 0.2	Très faible
Primaire	Parties en façade en prolongement intérieur des casquettes	Toiture / plafond	Dalle béton nue sous combles	Aucun isolant	Relevé sur place	-	Faible
Primaire	Partie en façade du hall (largeur 60cm)	Toiture / plafond	Toiture terrasse Dalle béton + isolant 60mm	Polystyrène 60 mm	Relevé sur place	-	Faible
Maternelle	Repos	Toiture / plafond	Toiture étanchéité - Fx plafond + 200 mm de LV	Laine de verre 200 mm	Relevé sur place	R = 5.0	Moyenne
Maternelle	L'ensemble	Toiture / plafond	Rampants - Fx plafond + 200 mm de LV	Laine de verre 200 mm	Estimé à partir de l'épaisseur du complexe	R = 5.0	Moyenne
Maternelle	L'ensemble	Menuiseries	Double vitrage espacement 6 mm	-	Relevé sur place	Uw = 3.8	Faible
Primaire + Restauration	L'ensemble	Menuiseries	Double vitrage espacement 16 mm argon	-	Relevé sur place	Uw = 1.6	Bonne
Maternelle	Repos	Menuiseries	Double vitrage espacement 12 mm	-	Relevé sur place	Uw = 2.0	Moyenne

Illustration N°1 : Primaire - dalles béton non isolées en plafond des classes, au niveau des façades. Ces éléments sont structurels à priori, pour la tenue des casquettes et des voiles au-dessus de la façade rideau.

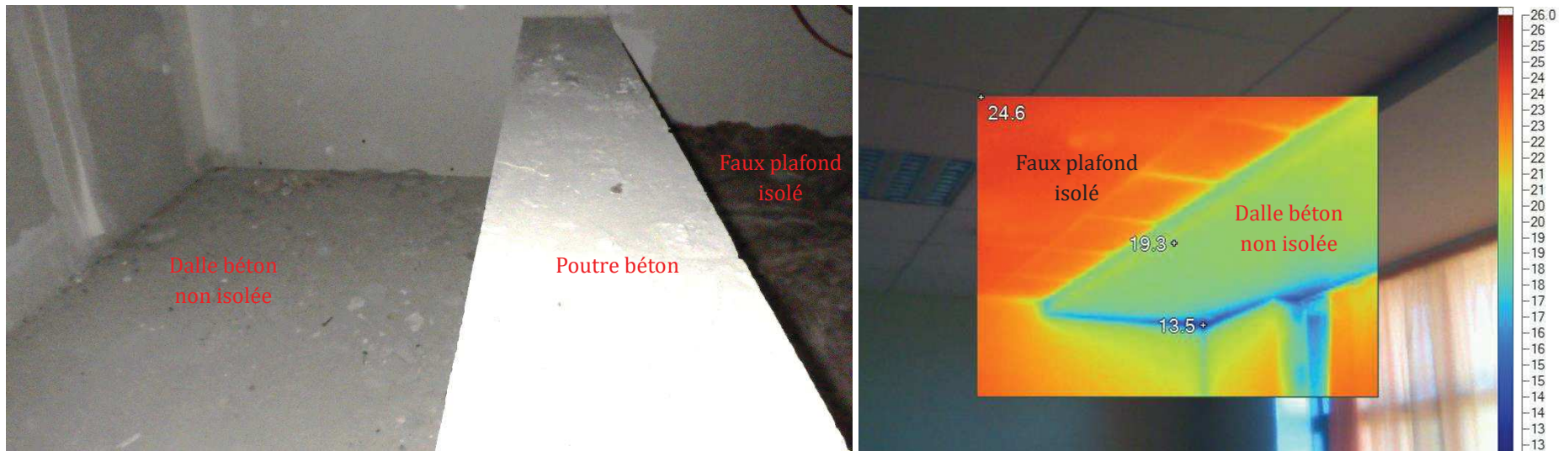


Illustration N°2 : Primaire – dalle toiture terrasse non isolée en faux plafond – faiblement isolée par le dessus sans doute.

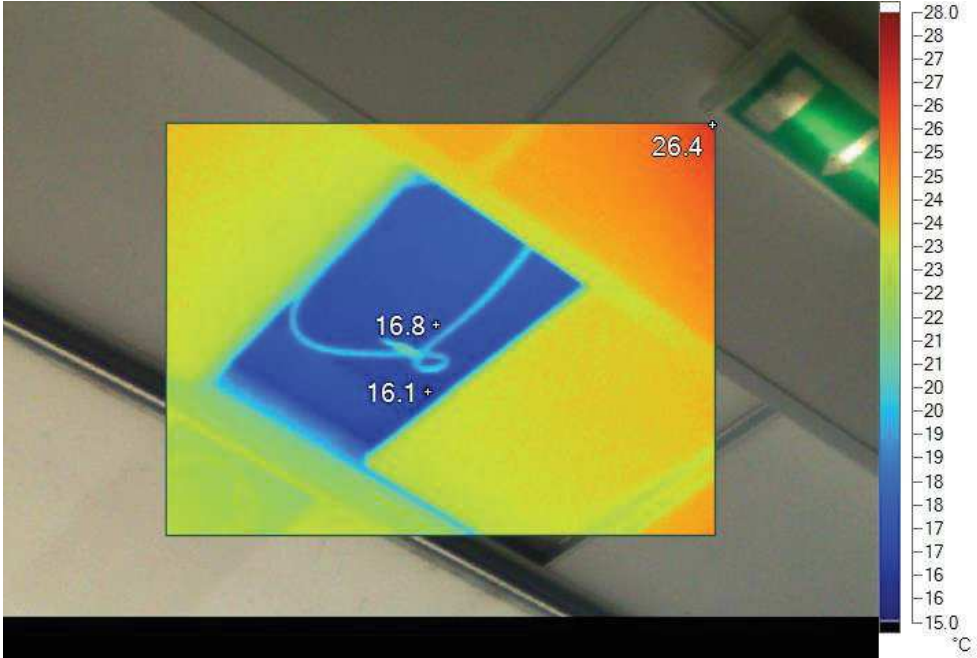
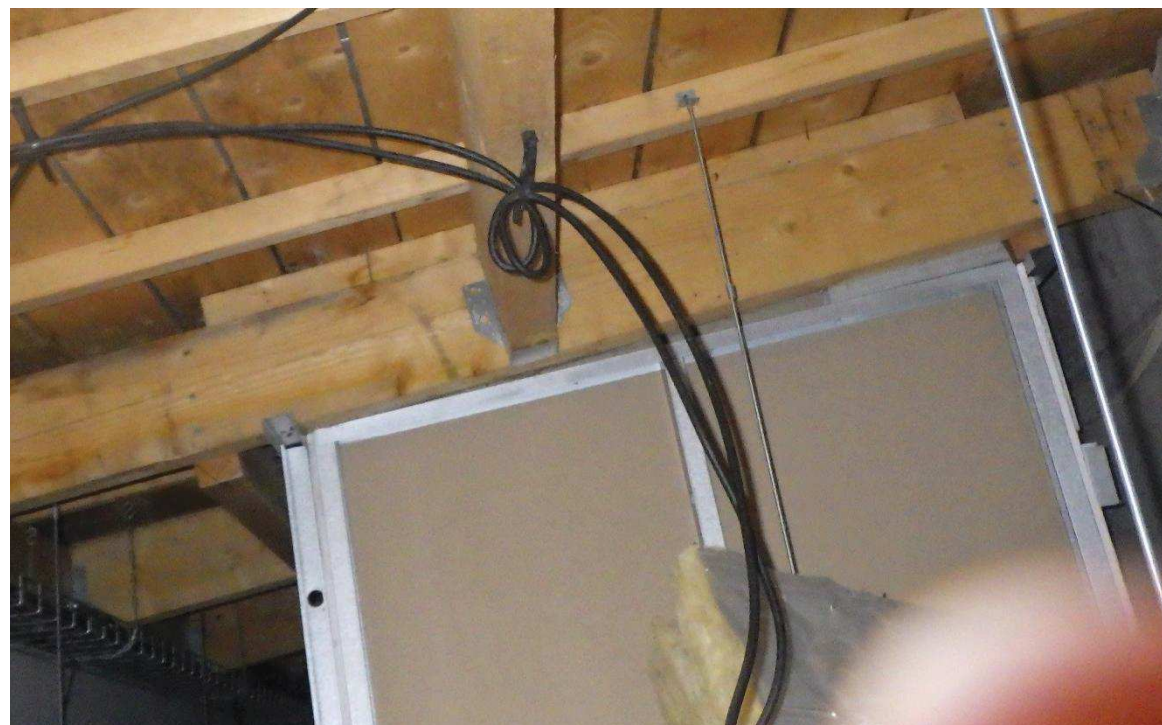
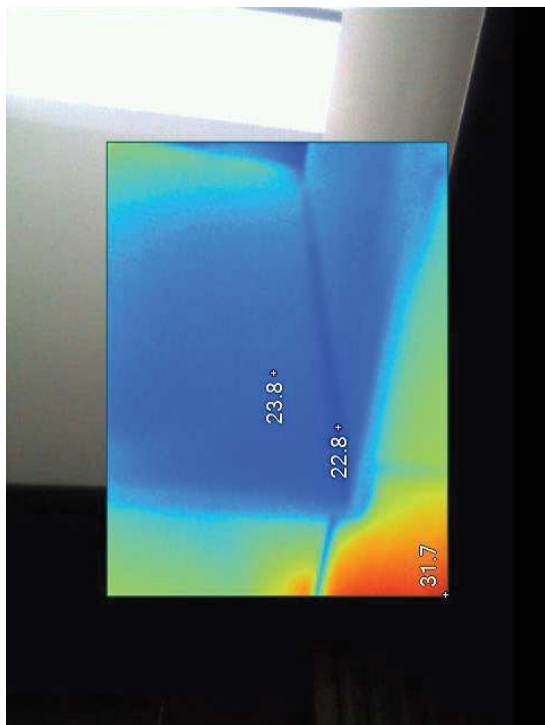


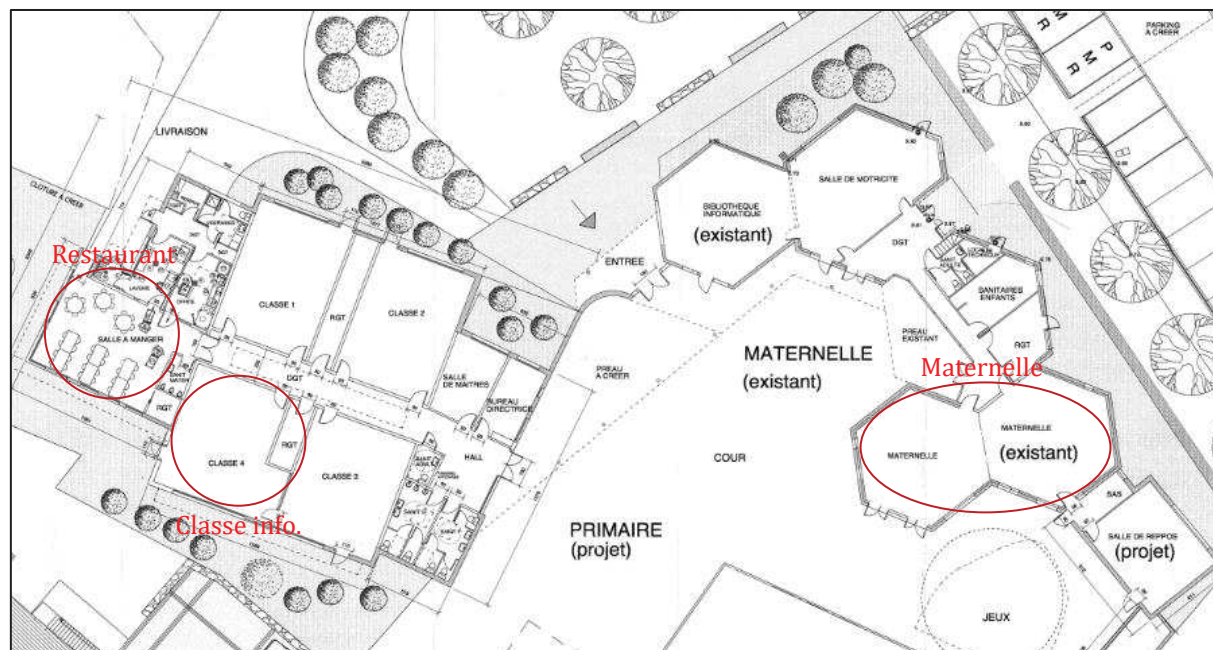
Illustration N°3 : Primaire – Sheds de lanterneaux non isolés.



X.1.2 Etanchéité à l'air

X.1.2.1 Méthode

Les zones testées ont été choisies pour leur représentativité et la possibilité technique de réaliser les tests :



Les locaux sont mis en dépression par paliers à l'aide d'une porte soufflante, installée sur une porte du bâtiment.

A chaque palier de pression, le débit est mesuré, donnant après calculs la valeur quantifiant la perméabilité à l'air d'un bâtiment.

X.1.2.2 Résultat global

On caractérise la perméabilité à l'air par la valeur Q_4 , qui peut être comparée à la valeur par défaut pour ce type de bâtiment : $Q_4 = 1.7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$.

Zones	$Q_{4Pa-Surf}$ MESURE
Salle à manger	$0.9 \text{ m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$
Classe info	$4.2 \text{ m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$
Maternelle	$1.8 \text{ m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$

Il faut cependant nuancer ces résultats en fonction du repérage des fuites. En effet dans ce type de mesures, par zone, une partie des fuites mesurées se font vers les autres locaux du bâtiment et ne sont donc pas à prendre en compte.

Au regard du repérage des fuites (cf. § suivant), et des modes constructifs, on peut considérer que la plupart des fuites se font vers l'extérieur. On retiendra 90% de la valeur mesurée, soit :

Zones	Q _{4Pa-Surf} MESURE	Q _{4Pa-Surf} RETENU
Salle à manger	0.9 m ³ /(h.m ²)	0.8 m³/(h.m²)
Classe info	4.2 m ³ /(h.m ²)	3.8 m³/(h.m²)
Maternelle	1.8 m ³ /(h.m ²)	1.7 m³/(h.m²)

La salle à manger et la maternelle ne sont donc pas très fuyantes en regard des normes actuelles, tandis que les classes primaires le sont particulièrement.

X.1.2.3 Repérage des fuites

Afin d'améliorer l'étanchéité à l'air du bâtiment, on doit connaître les principales causes du résultat mesuré, en faisant un repérage des fuites. On utilise pour cela un anémomètre à fil chaud, déplacé devant toutes les zones potentiellement fuyantes. Les principales infiltrations observées sont repérées ci-après.

a. Salle à manger

En résumé, les principaux défauts d'étanchéité à l'air sont situés au niveau des menuiseries et des plafonds.

Infiltration en partie courante

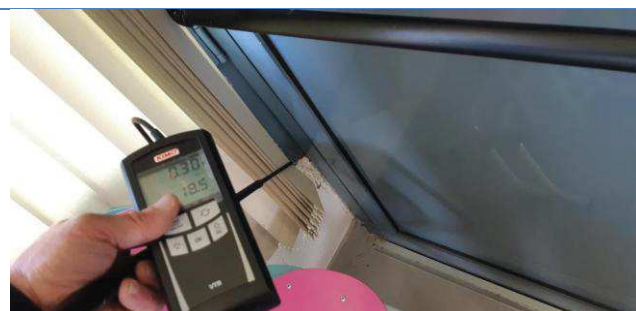


Type : A1-Autre infiltration en partie courante

Quantification : Faible

Présence d'air dans le plénum plafond, passage entre les panneaux

Menuiseries



Type : liaisons parois/ouvrant, défaut de menuiserie

Quantification : -

Porte de service sur l'extérieur, passage entre l'ouvrant et le dormant. passage par les parclofes flux entre le dormant et le doublage.

b. Classe info

En résumé, les principaux défauts d'étanchéité à l'air sont situés au niveau des plafonds.

Infiltration en partie courante



Type : A1-Autre infiltration en partie courante

Quantification : -

présence d'air importante en plénum de plafond, passage par les luminaires et entre les panneaux.

Liaisons périphériques (parois, plancher, plafond)

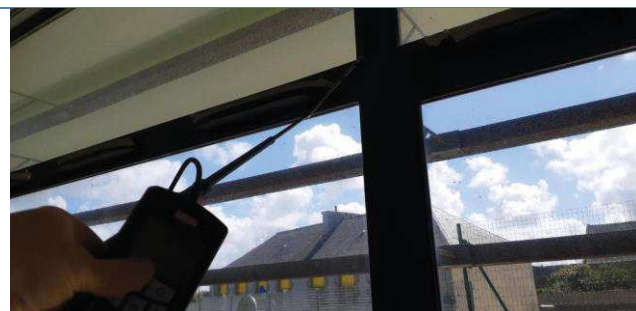


Type : B1-Autre liaison

Quantification : Forte

Présence d'air dans le plénum plafond, passage entre le faux plafond et les menuiseries de la cloison entre la classe et le couloir.

Menuiseries



Type : C1-Autre défaut de menuiserie

Quantification : Faible

Quelques passages par les parclozes des menuiseries

Éléments traversant les parois et/ou les sols



Type : D1-Autre élément traversant une paroi

Quantification : -

Boitier de répartition RJ4 informatique, flux très important

Appareillages électriques (prises, tableau, etc.)



Type : F1-Autres équipements

Quantification : Faible

Passage par les boîtiers électriques encastrés.

c. Maternelle

En résumé, les principaux défauts d'étanchéité à l'air sont situés au niveau des plafonds et des doublages.

Infiltration en partie courante

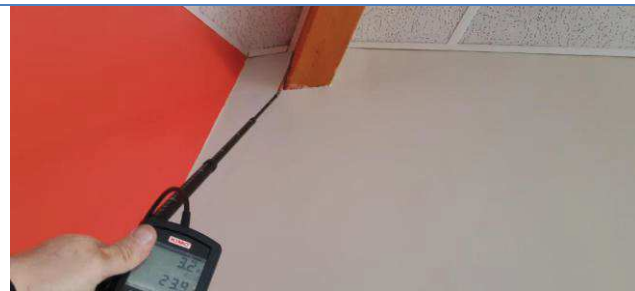


Type : A1-Autre infiltration en partie courante

Quantification : Forte

Plafond de la salle coté sud, présence importante d'air à l'arrière du faux plafond, passage par les dalles soulevées et les liaisons profils mur et menuiserie

Éléments traversant les parois et/ou les sols



Type : D5-Poutres: Liaison poutres ou solive avec murs

Quantification : Forte

Flux entre les bois de faitage et les murs.

Liaisons parois/ouvrants



Type : G1-Autre liaisons parois/ouvrant

Quantification : -

Absence de joins en périphérie des menuiseries, flux entre les profils et le doublage.

X.2 Systèmes

Nota : près de 100% des locaux (en surface) ont été visités et relevés dans le détail.

X.2.1 Chauffage

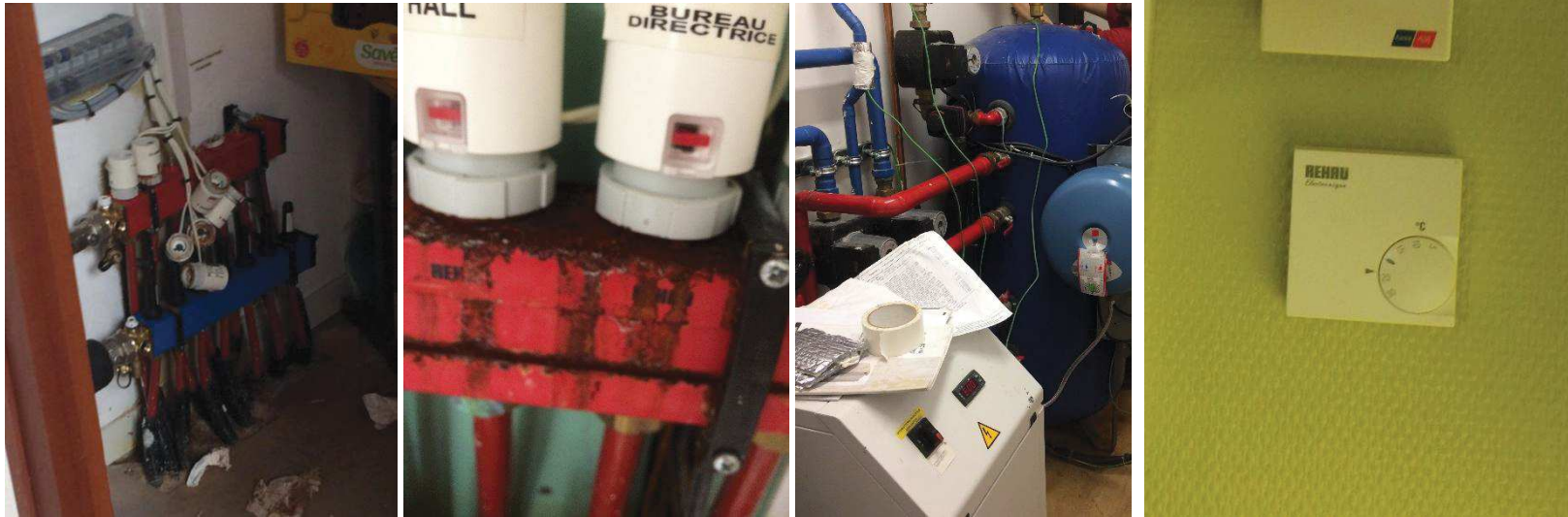
X.2.1.1 Primaire + restaurant

L'ensemble du bâtiment est chaude par une installation de pompe à chaleur géothermique et un plancher chauffant, sauf quelques pièces équipées de radiateurs eau chaude. Les installations datent de la construction (2006). Les performances thermiques des PAC ont été abaissées dans le modèle au vu de l'état des machines. Cette hypothèse a été confirmée lors de la réunion du 24/06/2019.

ZONE	NOM	GENERATEUR	EMETTEURS	Commentaire	ETAT	PERF.	CONFORT	
Restaurant	Rgt	2 PAC GEO NEXA 2 x 14.4 kW	PLC avec régulation par pièce	-				
	Salle à manger			TH 23°C				
	Sanit mater.			-				
	Office			RAD EC 20 75x230 avec ROB TH				-
	Laverie			RAD EC 20 75x230 avec ROB TH				-
	Dgt			RAD EC 20 45x210 avec ROB TH				-
	Vestiaires			RAD EC 20 60x210 avec ROB TH				-
	Reserve			-				
Primaire	Sanit F		PLC avec régulation par pièce	TH à 15°C				
	Sanit G			TH à 5°C mais chauffe alors qu'il fait plus de 5°C dans la pièce				
	Classe 3			-				
	Classe 4			TH à 10°C mais chauffe alors qu'il fait plus de 10°C dans la pièce				☹️
	Dgt 1			-				
	Sanit adulte			-				
	Rgt 1			NOURRICE PLC CLASSES 3 et 4 dont 5 sur 7 têtes déconnectées ! -				
	Bureau directrice	TH à 27°C mais ne chauffe pas alors qu'il ne fait pas 27 °C dans la pièce.						
	Salle des maitres	-						
	Classe 2	-						
	Rgt 2	2 PAC + 2 DEPARTS + 1 NOURRICE PLC FORTES VIBRATIONS. OXYDATION. PAC partiellement HS ?						
	Classe 1	TH à 23°C						

Les installations sont théoriquement performantes, mais leur état dégrade certainement les résultats en termes de performance et de confort !

On retiendra en particulier que la régulation est partiellement HS, avec des têtes électrothermiques déconnectées des nourrices, d'autres particulièrement oxydées....



Par ailleurs on observe bien par la thermographie que certains circuits de plancher chauffant sont en service et pas d'autres.



X.2.1.2 Maternelle

La petite extension (salle de repos) et le sas sont équipés de radiateurs électriques. Pour le reste, la maternelle est chauffée par une chaudière gaz et un plancher chauffant. La distribution se fait par des nourrices dont seuls 4 départs sur 14 sont réglés. Le manque de régulation ainsi que la faible isolation du plancher chauffant en font un système peu performant.

ZONE	NOM	GENERATEUR	EMETTEURS	Commentaire	ETAT	PERFORMANCE	CONFORT
Maternelle	Salle de repos	CHAUDIÈRE GAZ FRISQUET	RAD ELEC		☹️	☹️	☹️
	Sas		RAD ELEC				
	Maternelle		PLC	TH à 16.5°C			
	Bibliothèque Informatique		PLC				
	Local technique		-				
	Salle de motricité		PLC	TH à 17°C			
	Rgt		PLC + Appoint élec				
	Sanit. Adultes		PLC				
	Sanit. Enfants		PLC				
	Bureau R+1		-				
	Dgt 2		PLC				



X.2.2 Eau chaude sanitaire

On relève 1 ballon d'eau chaude sanitaire de 200L / 2.2 kW dans la primaire (office) et un de 50L/1200W dans la maternelle, en bon état, alimentant quelques appareils sanitaires.

L'utilisation d'eau chaude sanitaire reste marginale la maternelle, et est décomptée en termes de préparation de repas plus loin dans le présent rapport.



X.2.3 Ventilation

X.2.3.1 Primaire + restaurant

La ventilation est assurée par des extractions et des entrées d'air ou amenées d'air. L'extraction est régulée par sondes CO2 dans les 4 classes. Les débits mesurés lors de notre visite sont corrects dans l'ensemble (faibles dans les classes en raison de la régulation CO2).

ZONE	NOM	CAISSON	EA	EXTR	DEBIT MESURE	DEBIT MINI REGL.	% regl	ETAT	PERF.	CONFORT
Restaurant	Rgt	En combles	-	-		-	-			
	Salle à manger		13 EA auto 45 m3/h	6 bouches à NOYAU	280	924	30%			
	Sanit mater.		-	1 bouche AUTO	86	90	96%			
	Office		1 bouche DN 160	2 bouches AUTO	79	-	-			
	Laverie		VB	2 bouches AUTO	79	-	-			
	Dgt		-	-		-	-			
	Vestiaires		-	3 bouches AUTO	82	105	78%			
	Reserve		-	-		-	-			
Primaire	Sanit F	En combles	-	4 bouches AUTO	90	105	86%	😊	😊	😊
	Sanit G		-	4 bouches AUTO	109	135	81%			
	Classe 3		10 EA auto 45 m3/h	4 bouches à NOYAU Sonde CO2	215	375	57%			
	Classe 4		10 EA auto 45 m3/h	4 bouches à NOYAU Sonde CO2	215	375	57%			
	Dgt 1		-	-		-	-			
	Sanit adulte		-	1 bouche AUTO	13	60	22%			
	Rgt 1		-	-		-	-			
	Bureau directrice		1 EA auto 45 m3/h	1 bouche à NOYAU	25	45	56%			
	Salle des maitres		2 EA auto 45 m3/h	1 bouche à NOYAU	100	100	100%			
	Classe 2		AN par réseau et 4 bouches à noyau	4 bouches à NOYAU Sonde CO2	300	375	80%			
	Rgt 2		-	-		-	-			
	Classe 1		AN par réseau et 4 bouches à noyau	4 bouches à NOYAU Sonde CO2	300	375	80%			

X.2.3.2 Maternelle

La ventilation de cette partie de bâtiment est quasiment inexistante, tant en termes d'équipements que de débits.

ZONE	NOM	CAISSON	EA	EXTR	DEBIT MESURE	DEBIT MINI REGL.	% regl	ETAT	PERF.	CONFORT
Maternelle	Salle de repos	aucun caisson	2 EA auto 45 m3/h	-	16	180	9%	-	☹	☹
	Sas		-	-	-	-	-			
	Maternelle		-	-	-	375	0%			
	Bibliothèque Informatique		-	-	-	225	0%			
	Local technique		-	-	-	-	-			
	Salle de motricité		-	-	-	225	0%			
	Rgt		-	-	-	-	-			
	Sanit. Adultes		-	2 bouches AUTO	21	75	28%			
	Sanit. Enfants		VB	2 bouches AUTO	46	180	26%			
	Bureau R+1		-	-	-	-	-			
	Dgt 2		-	-	-	-	-			



X.2.4 Eclairage

X.2.4.1 Primaire + restaurant

L'éclairage est constitué majoritairement de lampes fluo, et ponctuellement de led, avec une moyenne de près de 9W/m². La performance de l'installation est correcte mais pourrait être améliorée au vu des performances des systèmes led actuels.

ZONE	NOM	Nombre de luminaires	Nombre de lampes	Puissance lampes	Type lampes	Type de luminaires	COMMENTAIRE	ETAT	PERF.	CONFORT
Restaurant	Rgt							😊	😞	😊
	Salle à manger	12	1	36	Fluocompact	DOWNLIGHT				
	Sanit mater.	2	1	10	LED	SPOTS	Détecteur			
	Office	2	2	58	Tube fluo	Vasques étanches				
	Laverie	2	2	58	Tube fluo	Vasques étanches				
	Dgt	2	1	10	LED	SPOTS				
	Vestiaires	3	1	18	Fluocompact	HUBLLOT				
	Reserve	1	1	18	Fluocompact	HUBLLOT				
Primaire	Sanit F	6	1	10	LED	SPOTS	Détecteur			
	Sanit G	6	1	10	LED	SPOTS	Détecteur			
	Classe 3	8	4	14	Tube fluo T5	600x600				
	Classe 4	8	4	14	Tube fluo T5	600x600				
	Dgt 1	12	1	36	Fluocompact	DOWNLIGHT				
	Sanit adulte	1	1	10	LED	SPOTS	Détecteur			
	Rgt 1									
	Bureau directrice	2	4	14	Tube fluo T5	600x600				
	Salle des maitres	2	4	14	Tube fluo T5	600x600				
	Classe 2	1	1	672	Tube fluo T5	8 600x600 + 4 tableau				
	Rgt 2	2	2	58	Tube fluo	Vasques étanches				
	Classe 1	1	1	672	Tube fluo T5 +	8 600x600 + 4 tube tableau				

X.2.4.2 Maternelle

Les installations sont équipées de tubes fluo standards et les luminaires en eux même ne sont pas de la plus haute performance. La puissance installée est limitée à environ 7 W/m² cependant ce qui n'est pas excessif.

ZONE	NOM	Nombre de luminaires	Nombre de lampes	Puissance lampes	Type lampes	Type de luminaires	COMMENTAIRE	ETAT	PERF.	CONFORT
Maternelle	Salle de repos	3 hublot + 4 néon	1	290	Tube fluo	HUBLOT + TUBE		☹️	☹️	☹️
	Sas	2	1	25	Fluo	HUBLOT				
	Maternelle	11	2	58	Tube fluo	TUBES VENDELLES				
	Bibliothèque Informatique	4	2	58	Tube fluo	TUBES VENDELLES				
	Local technique	1	1	25	Fluo	HUBLOT				
	Salle de motricité	6	2	58	Tube fluo	TUBES VENDELLES				
	Rgt	1	1	25	Fluo	HUBLOT				
	Sanit. Adultes	3	1	25	Fluo	HUBLOT				
	Sanit. Enfants	2	1	25	Fluo	HUBLOT				
	Bureau R+1	1	1	25	Fluo	HUBLOT				
	Dgt 2	3	1	25	Fluo	HUBLOT				

X.3 Fonctionnement / Usage / Scénarios

X.3.1 Températures

Des relevés de températures ont été réalisés toutes les 10 minutes du 29.03.2019 au 12.04.2019. Cette période comprend une période de vacances scolaires (du 6 au 12).

X.3.1.1 Synthèse zone maternelle

Sur la maternelle, les relevés suivants ont été effectués :

- La salle de motricité
- La classe
- Les départs et retours de la chaudière gaz

On y observe les points suivants :

Le régime d'eau du chauffage est de 38/30°C environ, sans modulation.

Le chauffage se met en route vers minuit en semaine et se coupe vers 18h. En dehors de ces plages, il est à l'arrêt complet. On observe un arrêt pendant les week-ends mais pas pendant les vacances.

Le chauffage se coupe parfois avant 18h, à priori en fonction de la température extérieure (sonde en façade de la chaufferie).

La classe, équipée d'une sonde d'ambiance, montre bien des paliers de température à 18, 19, 20°C selon les cas lorsque le chauffage est en route : la régulation d'ambiance fonctionne bien. Il semble par contre qu'elle soit modifiée manuellement (la sonde était réglée à 16.5°C lors de notre visite).

Elle est aussi sujette à quelques surchauffes (température atteignant les 25°C).

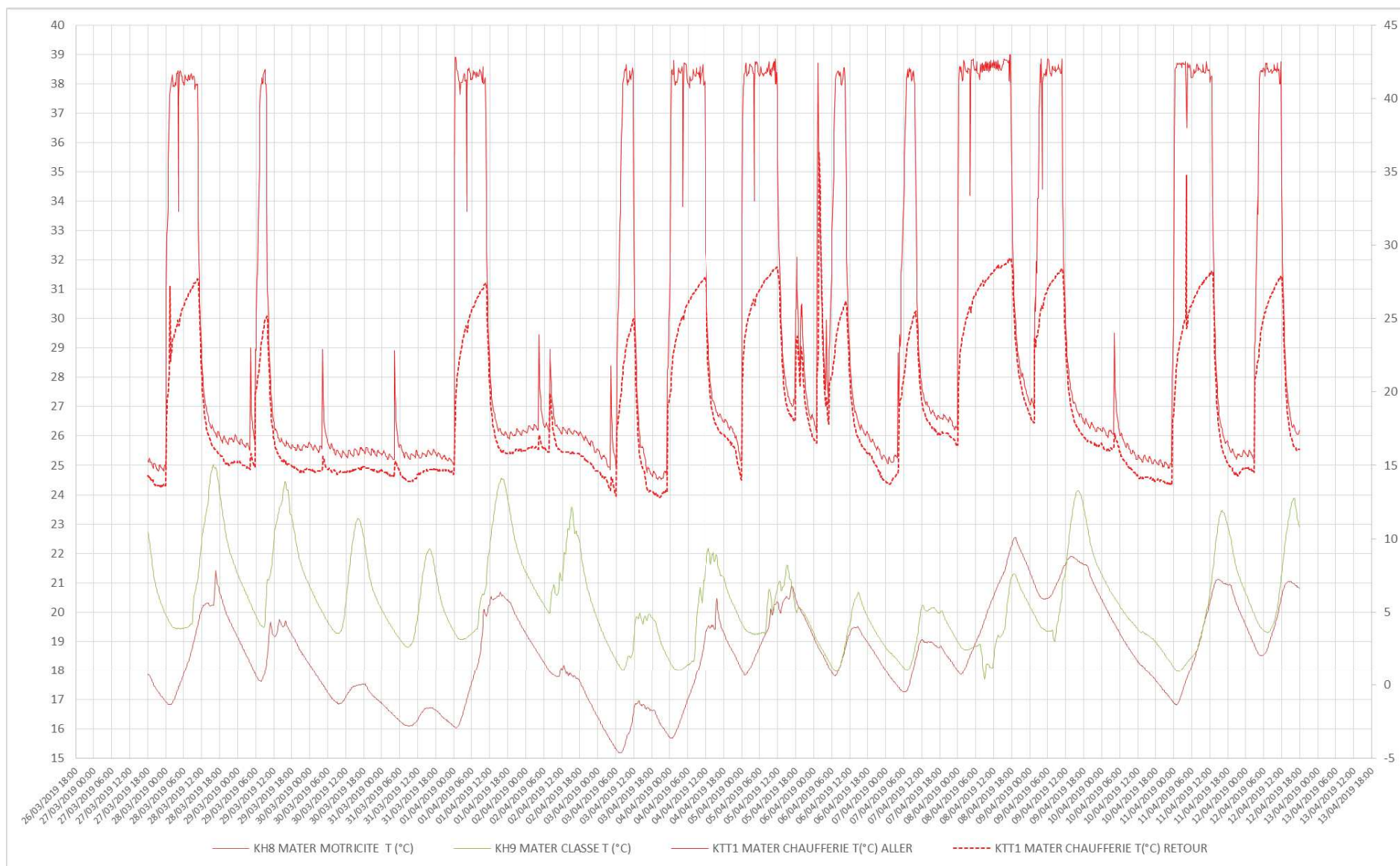
La salle de motricité équipée d'une sonde d'ambiance, ne fait pas apparaître de paliers de température, qui au contraire ne cesse de monter lorsque le chauffage est en route, parfois au-delà de 22°C (la sonde était réglée à 17°C lors de notre visite). La régulation d'ambiance ne fonctionne pas.

On notera que comme seules 4 boucles sur 14 sont régulées, il est normal d'observer ce type de comportement et il est probable que seules certaines boucles de la zone motricité soient régulées.

On retiendra pour la modélisation :

- Chauffage de minuit à 18h en semaine compris vacances / arrêt sinon
- Consigne de température de l'ordre de 19°C
- Régulation peu efficiente

X.3.1.2 Graphique relevés zone Maternelle



X.3.1.3 Synthèse zone primaire

Sur le primaire, les relevés suivants ont été effectués :

- La classe 1
- La salle à manger
- Les départs et retours des deux circuits de la pompe à chaleur

On y observe les points suivants :

Le régime d'eau du chauffage est de 40/35°C environ sur les relevés (38/33°C pour le second départ), avec modulation fonction de la température extérieure. Aux températures extrêmes, il doit pouvoir monter à 45/40 environ.

Le chauffage est permanent, compris week-ends et vacances. Le départ est visiblement régulé en fonction du besoin (variations rapides lorsque les températures ambiantes sont élevées).

Les deux pièces, équipées de sondes d'ambiance, semblent présenter des paliers de température à environ 19/20°C selon les cas pour la classe et 21/22°C pour le restaurant. Ces paliers sont visibles la nuit ce qui signifie que ces consignes sont permanentes (logique puisque les thermostats des pièces ne sont pas programmables).

Lors de notre visite, les thermostats de ces pièces étaient réglés tous les deux à 23°C environ. Leur précision n'est donc pas excellente mais le résultat n'est pas totalement aberrant pour du plancher chauffant.

On note que malgré des températures particulièrement élevées dans les pièces, le chauffage continue de fonctionner, à un régime abaissé certes, mais tout de même élevé : typiquement le 01.04 il fait plus de 21°C dans la salle à manger et 23°C dans la classe 1 (au nord), donc certainement plus dans les autres classes, et le chauffage tourne.

Par ailleurs lors de notre visite, nous avons pu constater :

- Sanitaires G : chauffage en route malgré une température >> thermostat = 5°C.
- Classe 4 : chauffage en route malgré une température >> thermostat = 10°C.
- Bureau directrice : pas de chauffage malgré une température << thermostat = 27°C.

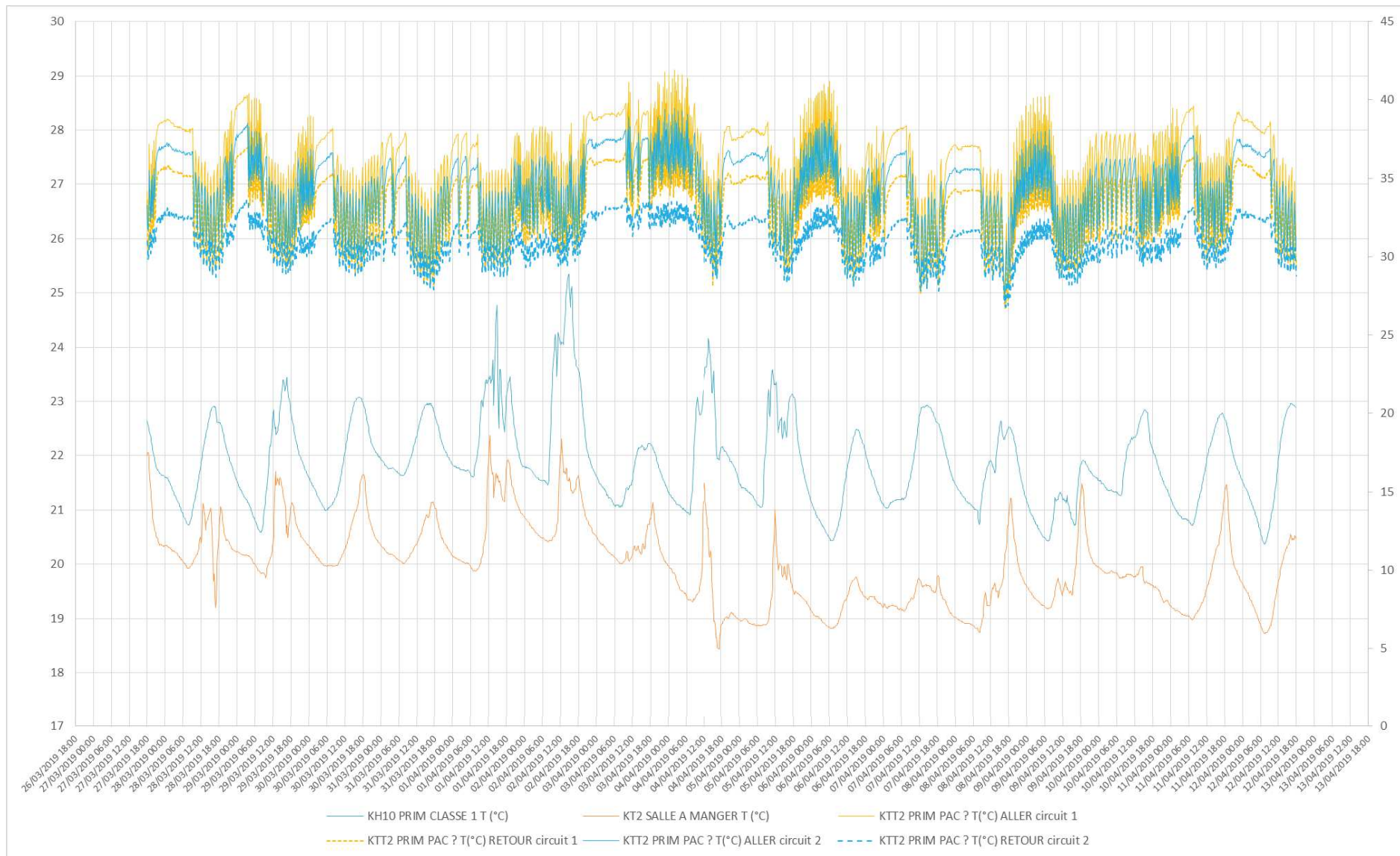
Les dispositifs de régulation ne fonctionnent que partiellement, sans doute à cause de dysfonctionnement matériels (têtes motorisées, sondes, ... ?), et il en découle des réglages inappropriés. Ceci ne permet pas une bonne gestion thermique du bâtiment.

La journée on constate quelques surchauffes (~25°C) dans la classe 1, bien qu'elle soit au nord !

On retiendra pour la modélisation :

- Chauffage permanent compris vacances et weekends
- Régulation inefficace
- Consigne de température variable mais température résultante de l'ordre de 20°C

X.3.1.4 Graphique relevés zone Primaire



X.3.2 Débits de ventilation

Pour la partie primaire, nous avons saisi les débits d'air extrait mesurés en considérant les sondes CO2 présentes dans les classes. En effet les débits mesurés lors de notre visite sont avec une occupation nulle. Nous doublons donc les débits mesurés pour les heures d'occupation.

Ces débits d'extraction et les infiltrations sont compilés par l'algorithme de Pleiades pour calculer un débit de renouvellement d'air heure par heure.

Pour la partie maternelle, en l'absence installations de ventilation et d'entrées d'air, aucun débit de ventilation n'est saisi dans le modèle.

Hormis l'ouverture des fenêtres, seules les infiltrations participent au renouvellement d'air et sont modélisées ($Q_{4Pa-Surf\ RETENU} = 1.7 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$).

X.3.3 Occupation

Nous avons modélisé les classes en saisissant une occupation de trente élèves de 9h à 12h et de 14h à 17h quatre jours par semaine.

Pour le restaurant, nous sommes partis sur une occupation complète des places (48 chaises) durant les deux heures de midi.

X.3.4 Puissances dissipées

La puissance installée du matériel de la classe informatique nous donne 13W/m^2 une après midi par semaine. Cette puissance descend à 0 W/m^2 autrement.

L'éclairage des locaux est de 4.3 W/m^2 constant pour la partie primaire et de 3.65 W/m^2 pour la partie maternelle.

X.3.5 Restauration

Le nombre de repas par an est de 9 074. Ces repas sont amenés en liaison chaude, la consommation d'énergie de l'école est donc assez faible sur ce poste.

XI. ANALYSE DES FACTURES

XI.1.1 Electricité

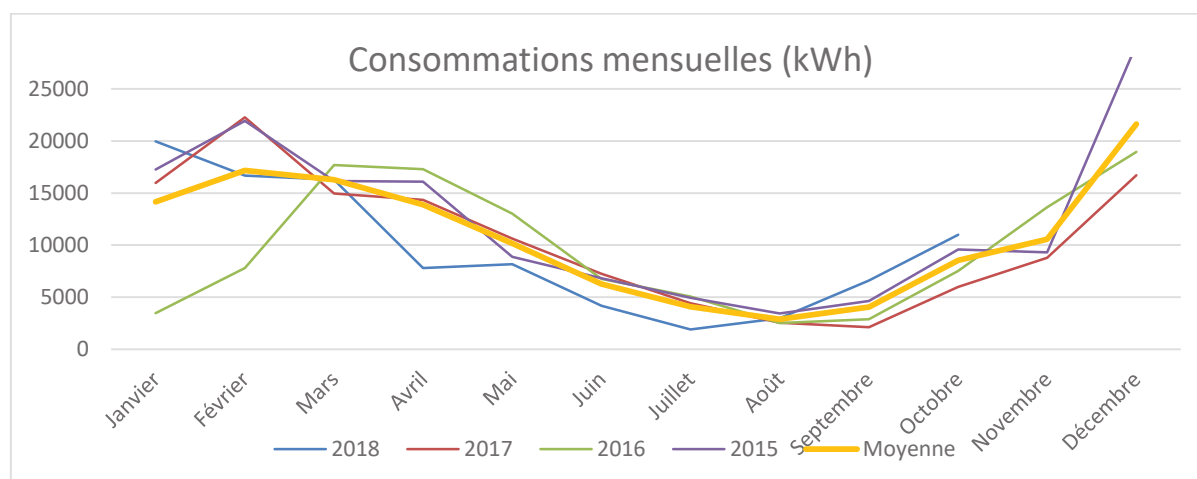
Remarque générale : la diversité des formats de factures entre les différents fournisseurs et leurs changements dans le temps ne facilitent pas leur analyse. De plus on s'étonne que les puissances atteintes n'apparaissent pas sur bon nombre des factures pour les contrats > 36 kVA.

Le site est alimenté en **électricité par 1 compteur desservant l'école et la salle polyvalente**. De fait, il est impossible de faire la part des consommations de l'école et de la salle polyvalente.

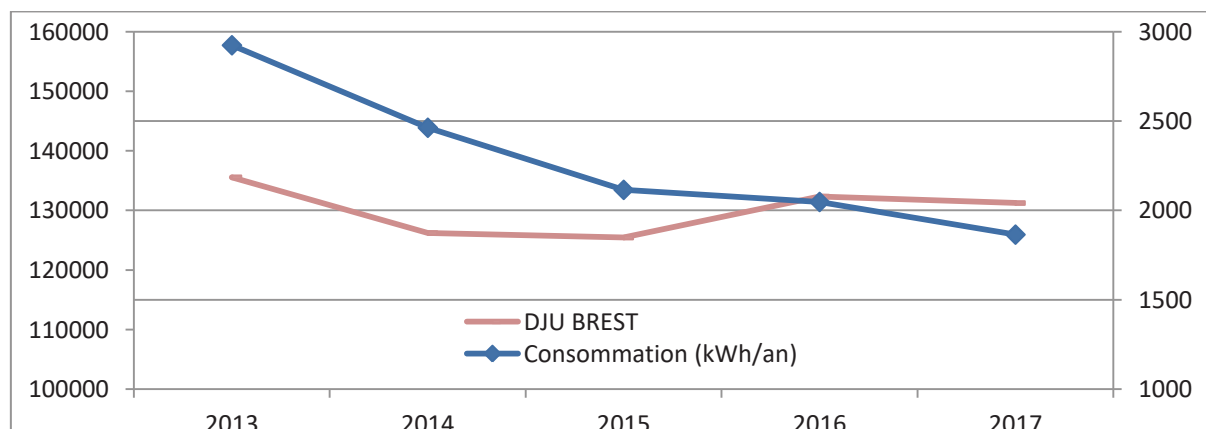
Le fournisseur d'énergie est ENERCOOP depuis 2016. Nota : le changement de fournisseur en 2016 fait apparaître des irrégularités non représentatives dans les consommations mensuelles fin 2015 et début 2016.

La puissance souscrite est de 78 kVA. Sur les factures fournies, la puissance atteint 63 kVA.

Le profil des consommations montre une forte saisonnalité, avec un importante part de chauffage en hiver, et un usage très limité en été.



Depuis 2013, les consommations sont en légère diminution, sans corrélation particulière avec les DJU :



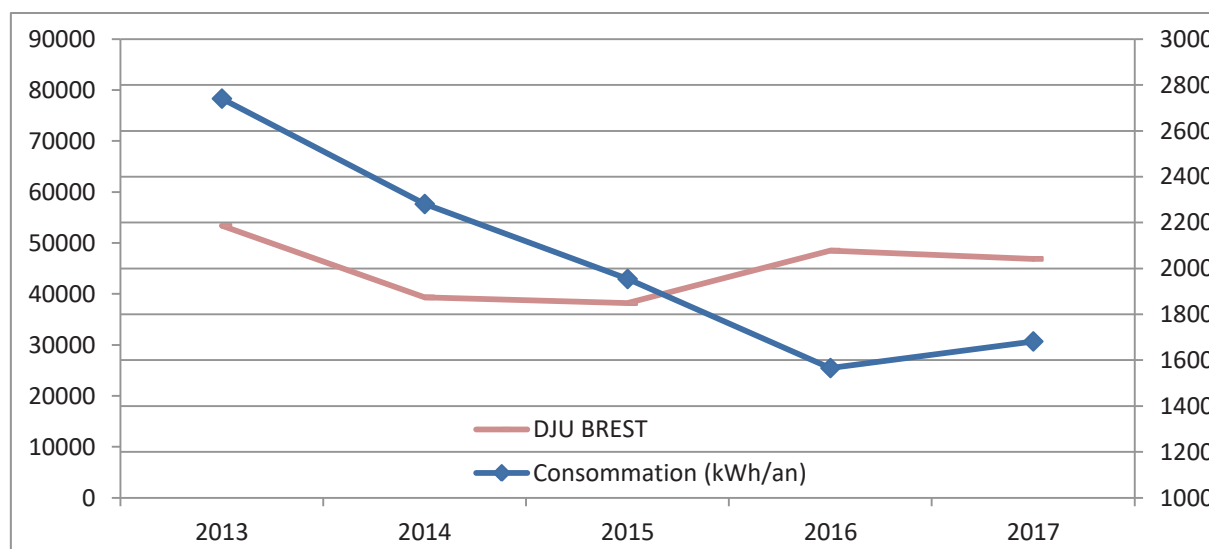
En moyenne sur les trois dernières années, **la consommation d'électricité du site est de 130300 kWh/an**, valeur que nous retiendrons pour l'étude, pour un DJU moyen de 1990°C.J.

En 2017, le coût de l'énergie payé en moyenne sur ce site est de **15.2 c€/kWh HTVA**, valeur que nous retiendrons pour l'étude. Ce prix est relativement élevé pour de l'électricité.

XI.1.2 Gaz propane

Le site est alimenté en **gaz propane par 1 cuve desservant l'école et la salle polyvalente**. De fait, il est impossible de faire la part des consommations de l'école et de la salle polyvalente.

Les consommations annuelles ont fortement diminué depuis 2013, sans corrélation particulière avec les DJU :



En moyenne sur les trois dernières années, **la consommation de propane du site est de 33000 kWh/an**, valeur que nous retiendrons pour l'étude, pour un DJU moyen de 1990°C.J.

En 2017, le coût de l'énergie payé en moyenne sur ce site est de **7.4 c€/kWh HTVA**, valeur que nous retiendrons pour l'étude. Ce prix est relativement faible pour du gaz propane.

XI.1.3 Récapitulatif

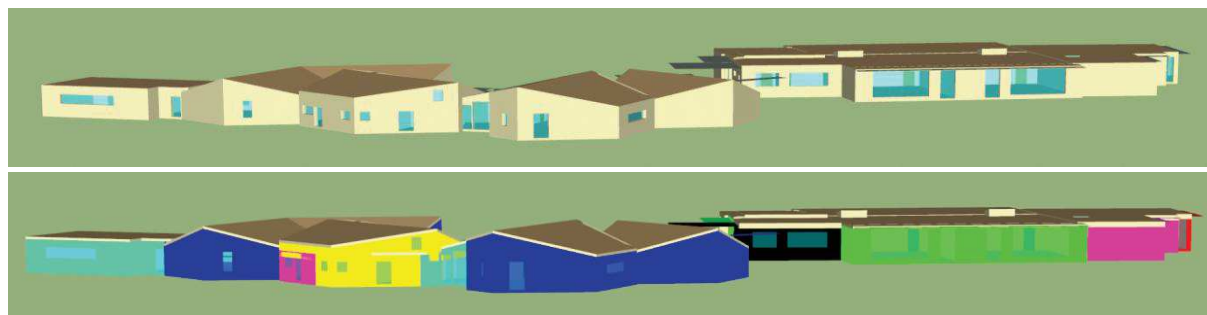
Energie	Consommation	Coût	Remarque
ELECTRICITE	130300 kWh/an	15.2 c€/kWh	Ecole + salle polyvalente
GAZ PROPANE	33000 kWh/an	7.4 c€/kWh	
TOTAL	163300 kWh/an	-	

XII. MODELE

XII.1 Généralités

Le modèle informatique est réalisé sur un logiciel de simulation thermique dynamique : « Pléiades + Comfie ». Ce modèle est ajusté pour être le plus réaliste possible et donner des valeurs de consommations et de coûts cohérentes.

Les pièces sont regroupées par zones « thermiquement » proches pour l'étude.



Les compositions de parois et les scénarios – qui synthétisent l'usage du bâtiment – sont pris en compte selon les relevés décrits précédemment.

XII.2 Consommations et validation du modèle

Le modèle ainsi élaboré donne des consommations de chauffage électrique de 34 950 kWh/an et des consommations de chauffage au gaz de 29 080 kWh/an.

En estimant les consommations des autres usages de l'énergie décrits ci-avant ces consommations permettent de recoller le modèle.

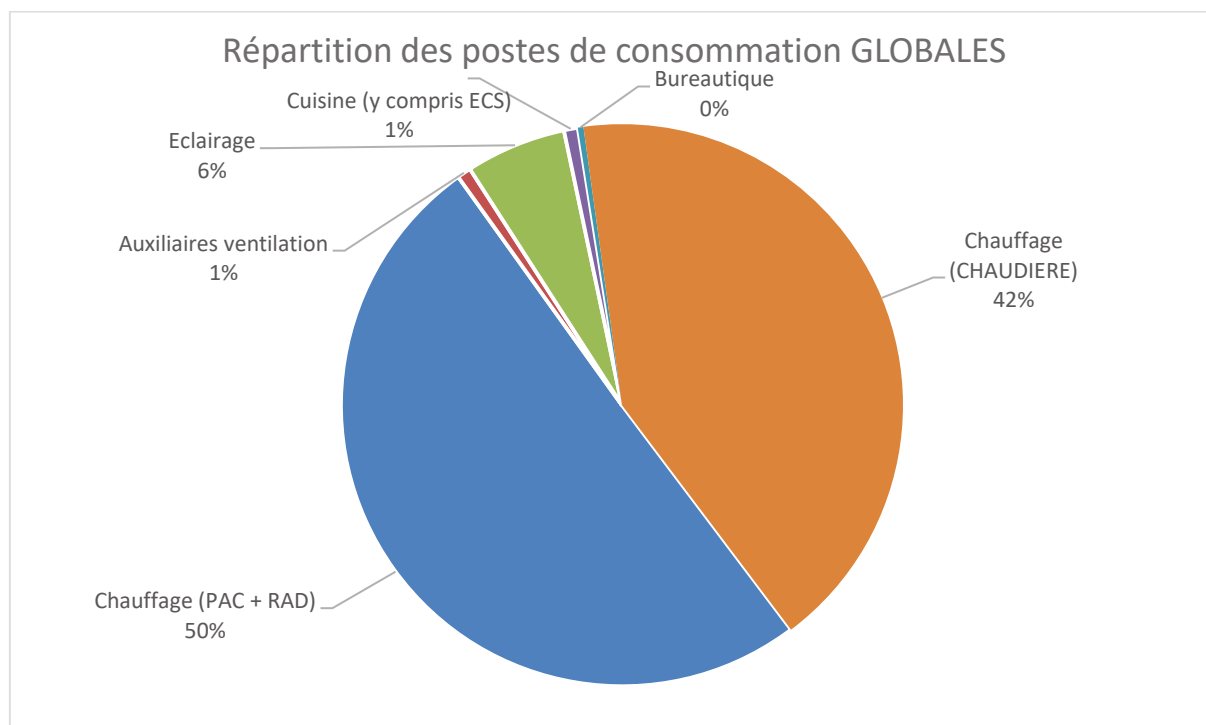
ENERGIE	POSTES	ESTIMATIONS BRUTES (kWh/an)	ESTIMATIONS CORRIGÉES / DJU (kWh/an)	PART partielle	PART globale	CONSOS. Factures (kWh/an)	ECART
ELECTRICITE	Chauffage (PAC + RAD)	34950	35845	87%	50%	130 300	68%
	Auxiliaires ventilation	570	570	1%	1%		
	Eclairage	4 120	4120	10%	6%		
	Cuisine (y compris ECS)	570	570	1%	1%		
	Bureautique	230	230	1%	0%		
TOTAL			41335	100%	58%		
GAZ	Chauffage (CHAUDIERE)	29080	29824	100%	42%	33 000	10%
TOTAL			29824	100%	42%		
TOTAL GAZ + ELECTRICITE			71 159	-		163 300	56%

L'école n'est pas le seul bâtiment raccordé sur les compteurs de gaz et d'électricité étudiés : la salle polyvalente Owen Morvan y est également raccordée.

Ce bâtiment étant exclu de l'étude et en l'absence de sous-compteurs, nous ne pouvons pas recoller le modèle aux factures.

On notera que d'après le modèle ainsi établi, les consommations d'électricité de la salle polyvalente représentent environ 68% de la consommation totale. Pour ce qui est du gaz, elle représente environ 10% de la consommation totale.

On note (voir graph suivant) l'importance des consommations de chauffage sur la facture totale : 91% !



Répartition du chauffage par bâtiment :

BATIMENT	Conso CH (kWh)	% site	Surface (m ²)	Conso CH (kWh/m ²)
MATERNELLE	32778	60%	382.06	86
PRIMAIRE	22213	40%	520.55	43

On remarque que la partie maternelle consomme deux fois plus d'énergie pour le chauffage que la partie primaire.

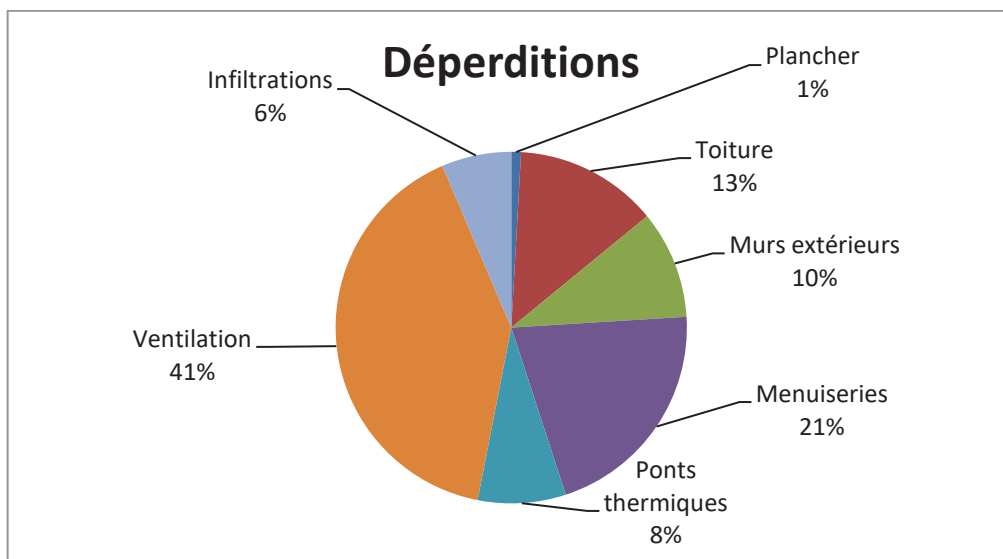
XIII. TRAITEMENT DES CONSOMMATIONS

XIII.1 Bilan de déperditions

Hormis les pertes systèmes, les déperditions du bâtiment s'élèvent à environ 70 kW dans son état actuel.

La répartition des déperditions est donnée dans le graphique suivant.

On remarque en particulier la prédominance de la ventilation (41%) et des menuiseries (21%), puis des toitures (13%). Suivent les déperditions liées aux murs extérieurs, aux ponts thermiques, aux infiltrations et aux planchers étant respectivement de 10, 8, 6 et 1 %.



Cette répartition est à nuancer cependant :

- pour ce qui concerne les menuiseries : en effet elles engendrent également des apports solaires, positifs dans le bilan énergétique des bâtiments.
- pour ce qui concerne la ventilation et les infiltrations : en effet ces deux postes ne se cumulent pas purement et simplement dans le fonctionnement réel du bâtiment.

XIII.2 Variantes d'optimisations

En analysant les données des consommations ainsi que des déperditions du bâtiment, nous avons déterminé les variantes qui nous semblent avoir un intérêt énergétique, économique et (ou) d'hygiène et de confort pour chaque partie du site :

Maternelle :

- Mise en place d'une ventilation réglementaire (simple flux et double flux)
- Optimisation de la régulation du plancher chauffant
- Mise en place de radiateurs (électriques et eau chaude) afin de supprimer les pertes du plancher chauffant existant

- Remplacement de l'éclairage actuel par des ampoules LED
- Remplacement des menuiseries

Primaire :

- Réparation de la régulation du système de chauffage existant
- Remplacement des PAC géothermiques par de nouvelles plus performantes
- Isolation des toitures béton actuellement non isolés
- Optimisation de la régulation CO2 de la ventilation dans les classes

XIV. VARIANTES D'OPTIMISATIONS

XIV.1 Travail sur les systèmes

XIV.1.1 Mise en place d'une ventilation dans la partie maternelle

On modélise une variante de base intégrant **une ventilation mécanique** avec les débits réglementaires, uniquement le jour, mais toute l'année.

Les débits à mettre en œuvre sont estimés dans le tableau suivant :

Zones	Débit réglementaire d'air neuf (m3/h)
Classes	375 par pièce
Sanitaires total	255
Total	1005

OPTIMISATIONS	CONSO ELEC (kWh)	CONSO GAZ (kWh)	CONSO TOTAL (kWh)	Gains ELEC (kWh)	Gains GAZ (kWh)	Gains CONSOS (%)
BASE	34 950	29 080	64 030			
Mise en place d'une ventilation simple-flux réglementaire	35 260	34 470	69 730	-310	-5 390	-9%
Mise en place d'une ventilation double-flux réglementaire	35 060	29 960	65 020	-110	-880	-2%

XIV.1.2 Optimisation de la régulation par sonde CO2 dans la partie primaire

La régulation CO2 des classes primaires n'étant pas optimisée, on modélise une variante optimisant les débits permettant un gain d'énergie

OPTIMISATIONS	CONSO ELEC (kWh)	CONSO GAZ (kWh)	CONSO TOTAL (kWh)	Gains ELEC (kWh)	Gains GAZ (kWh)	Gains CONSOS (%)
BASE	34 950	29 080	64 030			
Optimisation de la régulation par sonde CO2	32 300	29 080	61 380	2 650	0	4%

XIV.1.3 Remplacement des PAC géothermique

Remplacement des pompes à chaleur géothermique datant de 2006. Cela permet d'avoir des caractéristiques plus performantes.

OPTIMISATIONS	CONSO ELEC (kWh)	CONSO GAZ (kWh)	CONSO TOTAL (kWh)	Gains ELEC (kWh)	Gains GAZ (kWh)	Gains CONSOS (%)
BASE	34 950	29 080	64 030			
Remplacement des PAC géothermique	22 960	29 080	52 040	11 990	0	19%

XIV.1.4 Optimisation de la régulation

Pour la partie maternelle, on a vu précédemment que pour le plancher chauffant, seuls 4 départs sur 14 sont régulés. Cela ne permet pas d'obtenir des températures intérieures proches des températures de consigne. On modélise une variante où la régulation est remplacée et on saisit des températures de 20°C lors des heures de cours et 16°C sinon.

Pour la partie primaire, on a vu précédemment que la régulation des plancher chauffant ne semble plus bien fonctionner. On modélise une variante où la régulation est remplacée et on saisit des températures de 20°C lors des heures de cours et 16°C sinon.

OPTIMISATIONS	CONSO ELEC (kWh)	CONSO GAZ (kWh)	CONSO TOTAL (kWh)	Gains ELEC (kWh)	Gains GAZ (kWh)	Gains CONSOS (%)
BASE	34 950	29 080	64 030			
Optimisation de la régulation (maternelle)	33 920	24 760	58 680	1 030	4 320	8%
Optimisation de la régulation (primaire)	26 790	29 080	55 870	8 160	0	13%
Optimisation de la régulation (maternelle et primaire)	26 270	25 410	51 680	8 680	3 670	19%

XIV.1.5 Remplacement du plancher chauffant par des radiateurs

Le plancher de la partie maternelle n'étant pas isolé, il y a des pertes importantes. Le remplacement de ce plancher chauffant par des radiateurs permet de ne plus avoir de pertes.

OPTIMISATIONS	CONSO ELEC (kWh)	CONSO GAZ (kWh)	CONSO TOTAL (kWh)	Gains ELEC (kWh)	Gains GAZ (kWh)	Gains CONSOS (%)
BASE	34 950	29 080	64 030			
Mise en place de radiateurs à eau chaude (maternelle)	34 890	22 220	57 090	60	6 880	11%
Mise en place de radiateurs électriques (maternelle)	53 990	0	53 990	-19 040	29 080	16%

XIV.1.6 Eclairage LED

Dans cette variante, on remplace les luminaires existants par des luminaires LED

OPTIMISATIONS	Base Eclairage (kWh)	Gains Eclairage (kWh)	Gains CONSOS (%)
Eclairage LED	4 120	1 030	25%

XIV.2 Travail sur l'enveloppe

XIV.2.1 Menuiseries

On modélise le remplacement de l'ensemble des menuiseries de la partie existante de la maternelle avec pour hypothèse $U_w = 1.3 \text{ W/m}^2.K$.

OPTIMISATIONS	CONSO ELEC (kWh)	CONSO GAZ (kWh)	CONSO TOTAL (kWh)	Gains ELEC (kWh)	Gains GAZ (kWh)	Gains CONSOS (%)
BASE	34 950	29 080	64 030			
Remplacement des menuiseries	34 950	18 290	53 240	0	10 790	16%

XIV.2.2 Isolation des toitures béton

On modélise l'isolation des toitures béton en façades des classes.

OPTIMISATIONS	CONSO ELEC (kWh)	CONSO GAZ (kWh)	CONSO TOTAL (kWh)	Gains ELEC (kWh)	Gains GAZ (kWh)	Gains CONSOS (%)
BASE	34 950	29 080	64 030			
Isolation des toitures béton <u>sans</u> traitement du pont thermique	35 040	29 080	64 120	négligeable		
Isolation des toitures béton <u>avec</u> traitement du pont thermique	35 040	29 080	64 120	négligeable		

XIV.2.3 Ré-isolation des murs extérieurs

On modélise le remplacement de l'ensemble des doublages déjà isolés. Hypothèse : 140mm de TH32

OPTIMISATIONS	CONSO ELEC (kWh)	CONSO GAZ (kWh)	CONSO TOTAL (kWh)	Gains ELEC (kWh)	Gains GAZ (kWh)	Gains CONSOS (%)
BASE	34 950	29 080	64 030			
Ré-isolation des murs	34 350	26 610	60 960	600	2 470	5%

XV.OPTIMISATIONS

XV.1 Variantes indépendantes

OPTIMISATIONS		CONSO chauffage ELEC (kWh)	CONSO chauffage GAZ (kWh)	CONSO chauffage TOTAL (kWh)	GAINS CONSO ELEC (kWh)	GAINS CONSO GAZ (kWh)	GAINS CONSO TOTAL (kWh)	Gains CONSO (%)	Gains conso (€)	Investissement (€ HT)				TRI BRUT (ans)	TRI ACTUALISE (ans)	ARGUMENT COMPLEMENTAIRE	Etiquette Carbone (kgCO2/m²/an)	Gain CO2	CEE (kWh/CUMAC)	CEE (€)
										U	Qté	PU	Total							
	BASE	34950	29080	64030													19.66			
1	VENTILATION SIMPLE-FLUX (MATERNELLE)	35260	34470	69730	-310	-5390	-5700	-9%	- 450 €	Ens.	1	10 000 €	10 000 €	négatif	négatif	Confort, hygiène, réglementation	14.96	23.9%	219 360	1 536
2	VENTILATION DOUBLE-FLUX (MATERNELLE)	35060	29960	65020	-110	-880	-990	-2%	- 90 €	Ens.	1	25 000 €	25 000 €	négatif	négatif		10.7	45.6%	/	/
2b	= 2 (DF) - 1 (SF)			0	200	4510	4710	7%	370 €				15 000 €	41	22	/	/	/	/	
3	OPTIMISATION DE LA REGULATION PAR SONDE CO2 (PRIMAIRE)	32300	29080	61380	2650	0	2650	4%	410 €	Ens.	4	300 €	1 200 €	3	3	Confort, economies d'énergie	19.66	0.0%	0	0
4	MENUISERIES UW = 1.3 (MATERNELLE)	34520	17860	52380	430	11220	11650	18%	900 €	m²	85	475 €	40 375 €	45	24	Confort, valorisation du bâti	16.89	14.1%	229 500	1 607
4b	MENUISERIES UW = 1.3 & INF-10% (MATERNELLE)	34450	17360	51810	500	11720	12220	19%	940 €	m²	85	475 €	40 375 €	43	23		16.89	/	/	/
5	ISOLATION DES TOITURES BETON (PRIMAIRE) sans traitement du pont th	35040	29080	64120	négligeable			négligeable		m²	40	28 €	1 128 €	négligeable			18.88	4.0%	/	/
5b	ISOLATION DES TOITURES BETON (PRIMAIRE) avec traitement du pont th	35040	29080	64120	négligeable			négligeable		m²	40	56 €	2 257 €	négligeable			18.88	4.0%	/	/
6	RE-ISOLATION DES MURS EXTERIEURS (140mm de TH32) (PARTOUT)	34350	26610	60960	600	2470	3070	5%	280 €	m²	891	74 €	65 934 €	>50	>50	17.79	9.5%	/	/	
6b	RE-ISOLATION DES MURS EXTERIEURS (140mm de TH32) (PARTOUT) & INF - 10%	34290	26130	60420	660	2950	3610	6%	320 €	m²	891	74 €	65 934 €	>50	48	17.79	9.5%	/	/	
7	OPTIMISATION DE LA REGULATION (MATERNELLE)	33920	24760	58680	1030	4320	5350	8%	480 €	Ens.	1	2 000 €	2 000 €	4	4	Economies d'énergie	19.66	0.0%	17 686	124
8	OPTIMISATION DE LA REGULATION (PRIMAIRE)	26790	29080	55870	8160	0	8160	13%	1 250 €	Ens.	1	4 400 €	4 400 €	4	3		19.66	0.0%	11 880	83
9	OPTIMISATION DE LA REGULATION (PRIMAIRE+MATERNELLE)	26270	25410	51680	8680	3670	12350	19%	1 600 €	Ens.	1	6 400 €	6 400 €	4	4		19.66	0.0%	29 566	207
10	REMPLACEMENT DES PAC GEOTHERMIQUES (DEPERDITIONS PRIMAIRE 43kW)	22960	29080	52040	11990	0	11990	19%	1 830 €	Ens.	1	30 000 €	30 000 €	16	12		18.25	7.2%	140 800	986
11	MISE EN PLACE DE RADIATEURS EAU CHAUDE (MATERNELLE)	34890	22200	57090	60	6880	6940	11%	520 €	Nb	12	1 500 €	18 000 €	35	20		17.43	11.3%	/	/
12	MISE EN PLACE DE RADIATEURS ELECTRIQUES (MATERNELLE)	53990	0	53990	-19040	29080	10040	16%	- 770 €	Nb	12	300 €	3 600 €	négatif	négatif		11.11	43.5%	/	/
13	ECLAIRAGE LED (6W/m²)	34950	29080	64030	1030	0	1030	25%	160 €	Nb	135	70 €	9 450 €	>50	27		19.32	1.7%	/	/
14	INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE (12 kWc)	34950	29080	64030	11047	0	11047	17%	1 690 €	Nb	12 000	2.5 €	30 000 €	18	13		17.69	10.0%	0	0
15	INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE (30 kWc)	34950	29080	64030	27619	0	27619	43%	4 210 €	Nb	30 000	2.5 €	75 000 €	18	13	14.73	25.1%	0	0	

Les coûts de travaux calculés ici sont des coûts assez standardisés. Si certains coûts de travaux sont très proches de la réalité (menuiseries extérieures par exemple), certains travaux, plus difficiles à estimer (comme l'isolation par exemple) peuvent être revus à la hausse dans une mission de maîtrise d'œuvre qui prendrait en compte tous les paramètres nécessaires à une estimation plus aboutie en fin d'APD (Avant-Projet Définitif).

XV.2 Scenarios

OPTIMISATIONS		CONSO chauffage ELEC (kWh)	CONSO chauffage GAZ (kWh)	CONSO chauffage TOTAL (kWh)	GAINS CONSO ELEC (kWh)	GAINS CONSO GAZ (kWh)	GAINS CONSO TOTAL (kWh)	Gains CONSOS (%)	Gains conso (€)	Investissement (€ HT)				TRI BRUT (ans)	TRI ACTUALISE (ans)	Etiquette Carbone (kgCO2/m²Sth.an)	Gain CO2	CEE (kWhCUMAC)	CEE (€)
										U	Qté	PU	Total						
	BASE	34950	29080	64030												19.66			
SC 1	OPTIMISATION DE LA REGULATION (PRIMAIRE + MATERNELLE) + VENTILATION SIMPLE-FLUX (MATERNELLE) + OPTIMISATION DE LA REGULATION PAR SONDE CO2 (PRIMAIRE) + MENUISERIES UW = 1.3	21640	19170	40810	13310	9910	23220	36%	2 760 €	ens	1	-	56 775 €	21	14	12.69	35.5%	478 426	3 349
SC 2	SC1 + REMPLACEMENT DES PAC GEOTHERMIQUES (DEPERDITIONS PRIMAIRE 43kW)	13810	19170	32980	21140	9910	31050	48%	3 960 €	ens	1	-	86 775 €	22	15	11.75	40.2%	619 226	4 335
SC BBC	SC2 + INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE (12 kWc)	13810	19170	32980	32187	9910	42097	66%	5 640 €	ens	1	-	116 775 €	21	14	9.8	50.3%	619 226	4 335
SC F4	SC2 + INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE (30 kWc)	13810	19170	32980	48759	9910	58669	92%	12 100 €	ens	1	-	161 775 €	13	10	6.8	50.3%	619 226	4 335

Les aides calculées ici sont les aides CEE (Certificat d'Economie d'Energie). Il existe également d'autres aides mobilisables qui ne sont pas décrites.

XVI. THCEX

XVI.1 Variantes indépendantes

Le moteur de calcul réglementaire ne prend pas en compte les mêmes hypothèses que la Simulation Thermique Dynamique. C'est pourquoi il y a des différences et notamment ici on remarque que la mise en place d'une ventilation réglementaire diminue le CEP (Coefficient d'Energie Primaire) alors que les consommations augmentent en STD.

Cela est dû au fait que le bâtiment initial est considéré comme non ventilé au regard de l'état des systèmes sur le toit. Le calcul prend donc en compte une ventilation par "ouverture des fenêtres". Les débits par défaut pris en compte par cette hypothèse à parfois des débits nettement supérieurs aux débits réglementaires. Ce qui explique le gain au niveau du CEP pour certaines variantes.

OPTIMISATIONS		THCEX		OBJECTIFS			Etiquette Energétique	Etiquette Carbone (kgCO2/m²Shan)	GainCO2	CEE (MWh/MAC)	CEE (€)
		CEP	CEP REF	CEP REF	BBC RENO	FACTEUR 4 (33.5)					
	BASE	141.6			⊗	⊗	C	19.66			
1	VENTILATION SIMPLE-FLUX (MATERNELLE)	122.8	127.9	76.7	✓	⊗	C	14.96	23.9%	219 360	1 536
2	VENTILATION DOUBLE-FLUX (MATERNELLE)	105.2	127.9	76.7	✓	⊗	C	10.7	45.6%	/	/
2b	= 2 (DF) - 1 (SF)	17.6						/	/	/	/
3	OPTIMISATION DE LA REGULATION PAR SONDÉ CO2 (PRIMAIRE)	141.6	127.9	76.7	⊗	⊗	C	19.66	0.0%	0	0
4	MENUISERIES UW = 1.3 (MATERNELLE)	128.2	127.9	76.7	⊗	⊗	C	16.89	14.1%	229 500	1 607
4b	MENUISERIES UW = 1.3 & INF-10% (MATERNELLE)	128.2	127.9	76.7	⊗	⊗	C	16.89	/	/	/
5	ISOLATION DES TOITURES BETON (PRIMAIRE) sans traitement du pont th	134.5	127.9	76.7	⊗	⊗	C	18.88	4.0%	/	/
5b	ISOLATION DES TOITURES BETON (PRIMAIRE) avec traitement du pont th	134.5	127.9	76.7	⊗	⊗	C	18.88	4.0%	/	/
6	RE-ISOLATION DES MURS EXTERIEURS (140mm de TH32) (PARTOUT)	131.4	126.5	75.9	⊗	⊗	C	17.79	9.5%	/	/
6b	RE-ISOLATION DES MURS EXTERIEURS (140mm de TH32) (PARTOUT) & INF - 10%	131.4	126.5	75.9	⊗	⊗	C	17.79	9.5%	/	/
7	OPTIMISATION DE LA REGULATION (MATERNELLE)	141.6	127.9	76.7	⊗	⊗	C	19.66	0.0%	17 686	124
8	OPTIMISATION DE LA REGULATION (PRIMAIRE)	141.6	127.9	76.7	⊗	⊗	C	19.66	0.0%	11 880	83
9	OPTIMISATION DE LA REGULATION (PRIMAIRE+MATERNELLE)	141.6	127.9	76.7	⊗	⊗	C	19.66	0.0%	29 566	207
10	REMPLACEMENT DES PAC GEOTHERMIQUES (DEPERDITIONS PRIMAIRE 43kW)	126.3	132.1	79.3	✓	⊗	C	18.25	7.2%	140 800	986
11	MISE EN PLACE DE RADIATEURS EAU CHAUDE (MATERNELLE)	128.5	127.8	76.7	⊗	⊗	C	17.43	11.3%	/	/
12	MISE EN PLACE DE RADIATEURS ELECTRIQUES (MATERNELLE)	189.2	159.5	95.7	⊗	⊗	D	11.11	43.5%	/	/
13	ECLAIRAGE LED (6W/m²)	135.0	127.9	76.7	⊗	⊗	C	19.32	1.7%	/	/
14	INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE (12 kWc)	113.3	127.9	76.74	✓	⊗	C	17.69	10.0%	0	0
15	INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE (30 kWc)	70.9	127.9	76.74	✓	⊗	B	14.73	25.1%	0	0

XVI.2 Scénarios

OPTIMISATIONS		THCEX		OBJECTIFS			Etiquette Énergétique	Etiquette Carbone (kgCO2/m²Sth.an)	Gain CO2	CEE (kWhCUMAC)	CEE (€)
		CEP	CEP REF	CEP REF	BBC RENO	FACTEUR 4 (33.5)					
	BASE	141.6		✗	✗	✗	C	19.66			
SC 1	OPTIMISATION DE LA REGULATION (PRIMAIRE + MATERNELLE) + VENTILATION SIMPLE-FLUX (MATERNELLE) + OPTIMISATION DE LA REGULATION PAR SONDE CO2 (PRIMAIRE) + MENUISERIES UW = 1.3	112.5	127.9	76.7	✓	✗	C	12.69	35.5%	478 426	3 349
SC 2	SC1 + REMPLACEMENT DES PAC GEOTHERMIQUES (DEPERDITIONS PRIMAIRE 43kW)	99.2	129.7	77.8	✓	✗	C	11.75	40.2%	619 226	4 335
SC BBC	SC2 + INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE (12 kWc)	70.9	129.7	77.82	✓	✓	B	9.8	50.3%	619 226	4 335
SC F4	SC2 + INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE (30 kWc)	28.5	129.7	77.82	✓	✓	A	6.8	50.3%	619 226	4 335