



RAPPORT D'ÉTUDE THERMIQUE DYNAMIQUE

Faisabilité – Rénovation de l'école BENOIT

Rue Hauterive - 90200 GIROMAGNY



Architecte : ARCHITECTURE SPIRIT
Guillaume PERROS / Margaux KALANQUIN

Date de la visite :
02 / 12 / 2020

Opérateur / rédacteur :
Vincent SENAC



Sommaire

Introduction	1
Simulation thermique dynamique (STD)	1
Système d'évaluation	2
Lexique technique	2
Partie A	4
Analyse de l'existant	4
I. Chaufferie – Production du chauffage	5
II. Production d'eau chaude sanitaire	8
III. Ventilation	9
IV. Eclairage	11
V. Les parois.....	12
VI. Les ouvertures	16
VII. Résumé de l'existant	18
Partie B	19
Solutions préconisées	19
I. Calorifugeage des réseaux chauds	20
II. Installation d'un chauffe-eau instantané	21
III. Mise en place d'une ventilation performante	22
IV. Isolation thermique par l'extérieur	24
V. Isolation du plancher bas	25
VI. Isolation du plafond sur comble.....	26
VII. Résumé des solutions.....	27
Partie C	28
Résultats d'étude thermique	28
I. Introduction.....	29
II. Etat existant	30
III. Etat projeté.....	32
IV. Comportement du bâtiment	34
V. Conclusion de l'étude	36

Annexes

Annexe A : Lexique	38
Annexe B : Exemple de chauffe-eau instantané	41



Introduction

Une étude thermique est un outil de conception qui permet de modéliser un bâtiment, ou un projet de bâtiment, afin d'évaluer sa performance énergétique et son confort.

L'étude thermique est donc également devenue un outil réglementaire nécessaire à toute construction / rénovation.

A travers l'analyse des plans, fournis par l'architecte, et des observations techniques du bâtiment, notre mission consiste à :

- Mettre en évidence les problématiques actuelles du bâtiment
- Chercher les solutions techniques les plus indiquées
- Préserver la durabilité du bâtiment
- Améliorer le confort des occupants
- Réduire les consommations énergétiques

Ce rapport permettra de définir les besoins et posera les bases du cahier des charges techniques pour la rénovation énergétique de l'école BENOIT.

Simulation thermique dynamique (STD)

Une modélisation thermique cherche à refléter le bâtiment dans son comportement vis-à-vis des échanges d'énergies avec son environnement. Malheureusement, comme toutes simulations, la précision des estimations laisse une place à l'erreur.

Afin d'obtenir un résultat plus précis, une simulation thermique dynamique (STD) a été réalisée. Ce type de d'étude, plus précise et plus complète permet une meilleure analyse du confort et des besoins en énergie du bâtiment.

Comparée à une étude classique, dans une STD, l'opérateur est libre de :

- Définir des scénarios d'utilisation du bâtiment (chauffage, présence, ventilation, ...)
- Géolocaliser précisément le projet pour évaluer les apports solaires
- Sélectionner un scénario météo local, au plus proche de la réalité du projet

L'étude thermique a été réalisée sur le logiciel Pléiade + Comfie version 5.20.3.2.



Système d'évaluation

Afin de mieux comprendre le bâtiment, des notes seront attribuées aux divers éléments du projet. Ces notes seront basées sur un code couleur (ci-après).



Très performant



Performant



Moyen ou insuffisant



Mauvais ou inexistant

Lexique technique

Le présent document se veut le plus accessible possible, pour cela nous nous efforçons de commenter, expliquer les informations qui y figurent. Néanmoins, certaines valeurs exprimées dans ce rapport utilisent des unités peu connues, propres à la thermique du bâtiment.

Afin de tirer le meilleur de ce rapport, un lexique technique est disponible en fin de rapport (Cf. Annexe A).





PARTIE A

ANALYSE DE L'EXISTANT

- ▶ Présentation des systèmes et des parois
- ▶ Evaluation des parois
- ▶ Mise en évidence des défauts à corriger
- ▶ Liste des équipements à conserver



I. Chaufferie – Production du chauffage

I.1 Les chaudières gaz



Figure n° 1 - Chaudière gaz OERTLI

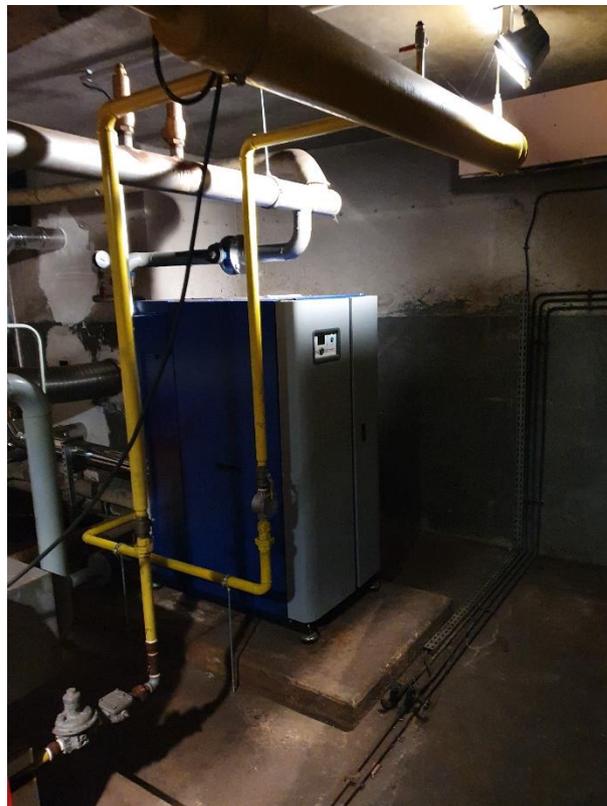


Figure n° 2 - Chaudière gaz ATLANTIC

► Caractéristiques techniques



Type	Chaudières au sol à condensation gaz	
Energie	Gaz de ville	
Marque / Modèle	OERTLI – GSR 230 S	ATLANTIC - Varmax
Puissance	Jusqu'à 117 kW	120 à 450 kW
Entretien	Entretien assuré par l'entreprise MDTE	
Date d'installation	Information non disponible	
Service(s)	Les chaudières gaz ne sont utilisées que pour le chauffage du bâtiment	

► Analyse

Les chaudières sont relativement récentes, notamment la chaudière Atlantic. La technologie gaz condensation permet d'obtenir des rendements satisfaisants. Un changement d'énergie serait également très coûteux. Il est donc recommandé de conserver ces générateurs.



I.2 Réseaux et distribution



Figure n° 3- Réseaux de chauffage partiellement isolés



Figure n° 4 - Circulateur principaux

► Caractéristiques techniques



Type	Circulateur chauffage haut rendement
Marque / Modèle	SALMSON - Sirius
Energie	Electricité
Calorifugeage	Réseaux partiellement isolé
Date d'installation	Information non disponible

► Analyse

Les pompes et circulateurs de l'installation sont récents et relativement économes en énergie. En revanche, une partie des réseaux d'eau chaude ne sont pas calorifugés ce qui entraîne une perte d'énergie dans un local non chauffé et réduit l'efficacité du chauffage dans le bâtiment. Seul ce point est à améliorer, la distribution est à conserver.



I.3 Emission et régulation



Figure n° 5 - Radiateur acier avec vanne thermostatique ancienne



Figure n° 6 - Réseau d'eau chaude non calorifugé

► Caractéristiques techniques



Type	Radiateur Acier
Régulation	Vannes thermostatique
Calorifugeage	Réseaux non isolé
Date d'installation	Information non disponible

► Analyse

Les radiateurs présents dans le bâtiment sont, pour la plupart, munis de vannes thermostatiques récentes. Ces vannes permettent de maintenir la température de consigne dans la pièce en régulant le débit d'eau chaude. Cette solution permet de « coller » à la température souhaitée ce qui a pour effet de maintenir le confort tout en réduisant les consommations. En revanche, les réseaux intérieurs ne sont pas isolés.

Les radiateurs peuvent être conservés mais il est conseillé de généraliser l'installation de vannes thermostatiques et le calorifugeage des réseaux intérieurs.



II. Production d'eau chaude sanitaire



Figure n° 7 - Ballon d'eau chaude sanitaire



Figure n° 8 - plaque signalétique du Ballon

► Caractéristiques techniques



Type	Ballon d'eau chaude électrique
Marque / Modèle	THERMOR - Pacific
Energie	Electricité
Capacité	200 L
Date d'installation	Information non disponible

► Analyse

Le ballon d'eau chaude a été ajouté par la suite, avec un raccordement approximatif.

La présence de stockage d'eau chaude dans un établissement recevant du public pose la question de la légionellose. Surtout que le bâtiment n'est pas utilisé durant une longue période l'été, ce qui laisse le temps aux bactéries de se développer dans une eau stagnante.

Il est conseillé de remplacer ce ballon par un ou plusieurs chauffe-eaux instantanés. Couplé avec des mousseurs pour réduire le débit d'eau des robinets, cela permettra de réduire la facture énergétique lié à l'eau chaude tout en réduisant les risques sanitaires pour les occupants.



III. Ventilation

III.1 VMC Simple flux sanitaires



Figure n° 9 - Bouches d'extraction dans les sanitaires



Figure n° 10 - Bouche d'extraction dans une salle adjacente

► Caractéristiques techniques



Type	Ventilation Mécanique Contrôlée
Fonctionnement	Simple flux - Autoréglable
Marque / Modèle	Information non disponible
Energie	Electricité
Date d'installation	Information non disponible

► Analyse

. Le système simple flux permet d'extraire l'air vicié. Les bouches autoréglables aspirent, en continu, la même quantité d'air. Les bouches d'extraction doivent être couplée à des entrées d'air, absentes dans le bâtiment.

Des nouveaux systèmes simple flux hygroréglables et hygroréglables avec détection de présence permettraient de faire varier le débit d'air en fonction des besoins. Les ventilateurs actuels ont des consommations réduites ce qui permet de réaliser des économies supplémentaires en cas de remplacement du bloc.



Ce système peut donc être remplacé par une ventilation plus performante.

III.2 Ventilation par ouverture de fenêtre

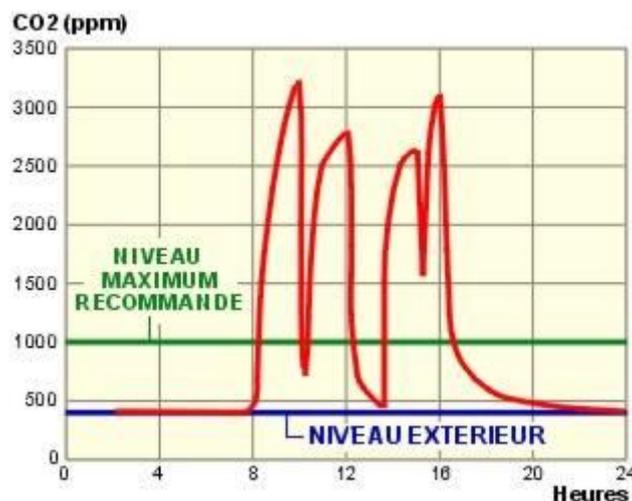
Actuellement, seuls les sanitaires du RDC sont ventilés mécaniquement. Le reste de la ventilation est donc gérée par simple « ouverture des fenêtres ».



► Efficacité de la ventilation

La ventilation par ouverture des fenêtres est le moyen de ventilation utilisé dans la majorité des écoles actuelles, bien qu'elle ne réponde pas aux critères d'hygiène et de confort :

- Le confinement de l'air d'une salle de classe normalement occupée et ventilée par ouverture des fenêtres aux intercourts est atteint après seulement un quart d'heure d'occupation. De plus, la ventilation est totalement liée à la bonne volonté des occupants.
- L'ouverture des fenêtres engendre d'importants mouvements d'air froid, ce qui rend quasiment impossible la ventilation continue en période d'occupation, c'est-à-dire pendant la production des polluants. Durant cette période les inétanchéités des fenêtres sont, par contre, insuffisantes pour assurer les débits d'air recommandés ($8,6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$).



Taux de CO₂ mesuré dans une salle de classe dans laquelle on ventile par ouverture de fenêtre lors des intercourts.

Source : Energieplus-lesite.be

Finalement, en plus de son action commune à tous les bâtiments : l'évacuation de l'humidité et la préservation du bâti, la ventilation en milieu scolaire permet une meilleure concentration des élèves et une meilleure performance dans leur apprentissage.

Une solution de ventilation efficace sera proposée dans les solutions techniques préconisées pour le projet.



IV. Eclairage



Figure n° 11 – Eclairage d'une salle de classe

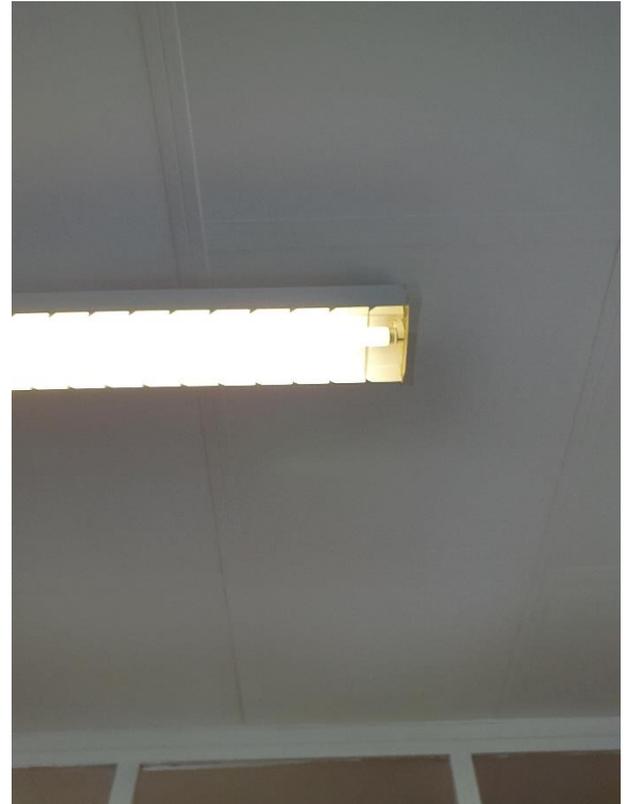


Figure n° 12 – Luminaire avec tube néon

► Caractéristiques techniques



Type	Tube néon
Luminaire	Luminaire avec ailettes
Energie	Electricité
Efficacité	Non mesurée
Date d'installation	Information non disponible

► Analyse

La technologie de lampe utilisé est dépassée, peu confortable et énergivore.

Néanmoins, l'éclairage peut être conservé en l'état si besoin. Bien qu'il soit recommandé d'investir dans des luminaires LED plus agréables et plus efficace en énergie.

Les niveaux d'éclairement n'ont pas été mesurés aussi, il n'est pas possible de savoir si l'éclairage artificiel apporte assez de lumière. Une amélioration forfaitaire sera implémentée dans la version projet. Le faux plafond et les luminaires seront rénovés mais une étude d'éclairagisme est nécessaire pour évaluer les gains.



V. Les parois

V.1 Les murs



Figure n° 13 - Façade OUEST bardée



Figure n° 14 - Dégradation de la façade SUD

► Caractéristiques



Type de parois	Paroi en béton
Isolant	Pas d'isolation
Date de construction	≈ 1960
Humidité	Pas d'humidité visible lors de la visite
Type de façade	Enduit / peinture et bardage sur la façade Ouest
Etat des façades	Les façades sont dégradées à l'exception de la façade qui a été bardée récemment

► Analyse

Les murs ne présentent pas de trace d'humidité mais les enduits sont dégradés.

Le soucis principal reste l'absence d'isolation, qu'il faut intégrer au projet de rénovation.



V.2 Le plancher bas



Figure n° 15 - Jonction préau/bâtiment

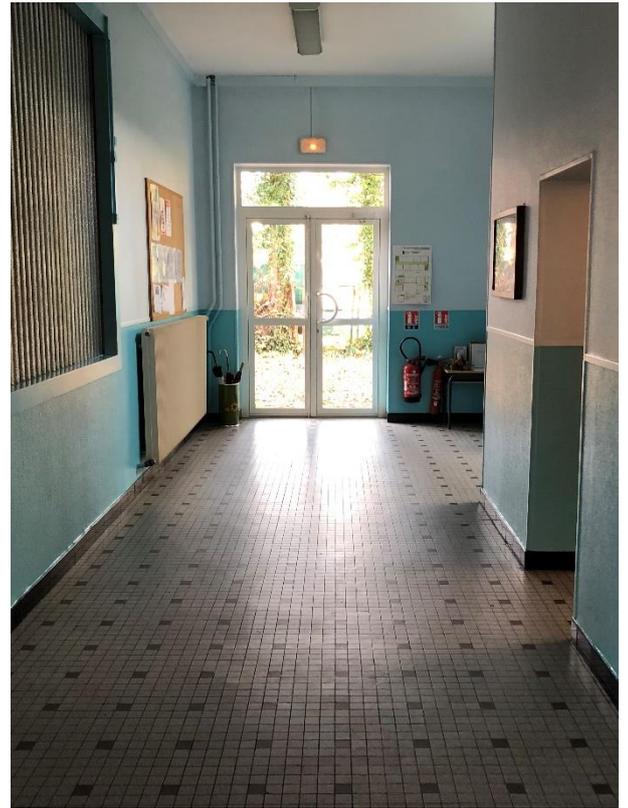


Figure n° 16 - Sol carrelé au RDC

► Caractéristiques



Type de parois	Plancher sur terre-plein
Isolant	Pas d'isolant
Date de construction	≈ 1960

► Analyse

Le plancher bas remplit son rôle structurel et ne présente pas de fissures ou de dégradations.

L'absence d'isolant est un défaut majeur, cette absence sera d'autant plus marquée si les autres parois, plus faciles à isoler, bénéficient d'une isolation.

L'isolation du plancher est généralement couteuse et entraîne des frais supplémentaires :

- Ouverture, modifications d'ouvertures dans les murs porteurs
- Menuiseries intérieures et extérieures
- Accessibilité

Il est conseillé d'isoler cette paroi, si la solution est financièrement réalisable.



V.3 Le plafond



Figure n° 17 - Faux plafond dans une salle de classe R+1



Figure n° 18 - Faux plafond avec trace d'humidité - couloir Nord R+1

► Caractéristiques



Type de parois	Faux plafond sur comble
Isolant	Pas d'isolant
Date de construction	≈ 1960
Humidité	Présence d'infiltration d'eau de pluie au R+1

► Analyse

Comme le reste des parois, la toiture n'est pas isolée.

L'air chaud monte et s'accumule au contact du faux plafond, accentuant les déperditions de la toiture. C'est pour cette raison que l'isolation en toiture est généralement renforcée.

La présence d'infiltration d'eau, à divers endroits du bâtiment, montre l'état de dégradation de la toiture Bac acier.

Il est indispensable d'isoler le faux plafond donnant sur les combles et de remplacer la toiture afin de protéger l'isolant.



V.4 Sous-face du préau



Figure n° 19 - Plancher suspendu du R+1 sur préau



Figure n° 20 - Décollement d'une partie de l'isolant

► Caractéristiques



Type de parois	Plancher béton suspendu
Isolant	Isolation laine de verre 5 cm + parement
Date de construction	Information non disponible

► Analyse

Le plancher suspendu est faiblement isolé par rapport aux standards actuels.

Cette paroi est amenée à disparaître avec l'extension de l'école sur le préau.



VI. Les ouvertures

VI.1 Les portes



Figure n° 21 - Porte en bois donnant sous le préau



Figure n° 22 - Porte entrée Façade NORD

► Caractéristiques



Type d'ouvrant	Porte Bois	Porte PVC
Type de vitrage	Simple vitrage	Double vitrage 4/16/4
Fermeture / occultation	Sans occultation	
Date de pose	Information non disponible	

► Analyse

Le bâtiment dispose de plusieurs types d'entrée :

- Les entrées anciennes en bois avec ou sans vitrage
- Les portes rénovées en PVC double vitrage

Les portes anciennes sont amenées à disparaître avec l'extension de l'école dans le préau. Il n'y a donc pas d'action à prévoir sur les ouvertures en PVC qui sont suffisamment récentes et performantes.



VI.2 Les fenêtres



Figure n° 23 - Détail sur une fenêtre PVC 4/20/4



Figure n° 24 - Ouvertures sans occultation - RDC Façade OUEST

► Caractéristiques



Type d'ouvrant	Ouvrant PVC
Type de vitrage	Double vitrage 4/20/4 Isolation renforcé
Fermeture / occultation	Volet roulant sur la façade Est et au R+1 côté Ouest
Date de pose	Information non disponible

► Analyse

Les ouvrants sont récents et qualitatifs. Ils sont munis de volet roulant permettant une occultation.

Ces ouvertures peuvent être conservées en l'état.



VII. Résumé de l'existant

Systèmes

Chaufferie		La chaufferie est en bon état et la technologie gaz condensation est performante. <i>Pas de modification à prévoir</i>
Distribution		Circulateur récent et efficace mais calorifugeage incomplet des réseaux. <i>Améliorations possibles</i>
Radiateurs / Emission		Vannes thermostatiques ancienne à certains endroits et réseau non-isolé <i>Améliorations possibles</i>
Eau chaude sanitaire		Installation approximative et risque de légionellose. <i>Modifications nécessaires</i>
Ventilation		VMC Simple flux mise en place dans les sanitaires mais pas de ventilation dans les classes <i>Modifications nécessaires</i>
Eclairage		Eclairage peu performant <i>Etude d'éclairagisme nécessaire</i>

Parois

Murs		Pas d'isolation et dégradation des façades <i>Modifications nécessaires</i>
Plancher		Pas d'isolation <i>Modifications préconisées</i>
Toiture		Pas d'isolation et infiltrations en toiture <i>Modifications nécessaires</i>

Ouvertures

Portes		Les portes peu performantes seront retirées dans la version projetée <i>Pas de modification à prévoir</i>
Fenêtres		Les fenêtres sont récentes et qualitatives <i>Pas de modification à prévoir</i>



PARTIE B

SOLUTIONS PRECONISEES

- ▶ Présentation des solutions
- ▶ Surfaces à traiter
- ▶ Estimation des coûts (prix non contractuels)



I. Calorifugeage des réseaux chauds

► Présentation de la solution :

Les réseaux d'eau chaude sont généralement métalliques. Or, le métal conduit très bien la chaleur et diffuse la chaleur contenue dans l'eau.

Notamment lorsque la chaufferie est éloignée ou située dans un local non chauffé, comme c'est le cas à l'école BENOIT.

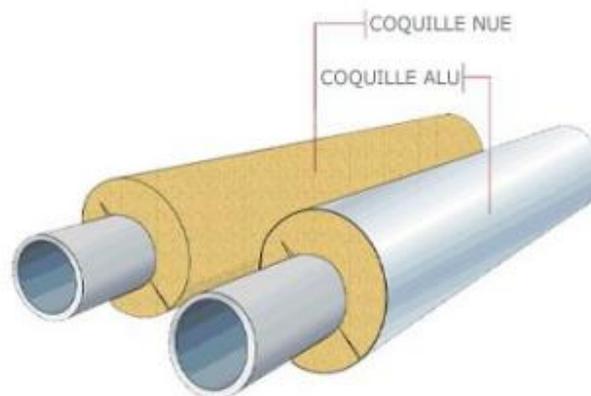


Figure n° 25 - Schéma de calorifugeage

Le calorifugeage est mis en place pour isoler thermiquement les réseaux ce qui permet :

- De réduire par environ 6 les déperditions linéaires des réseaux
- Réduire jusqu'à 10% la consommation globale (suivant configuration)
- Permet de réduire la température de distribution
- Permet une meilleure répartition de la chaleur dans le bâtiment et un meilleur confort

► Estimation des coûts :

Calorifugeage en chaufferie	
Forfait estimatif :	750,00 €
Calorifugeage en volume chauffé	
Prix unitaire moyen :	35 €/ml
Longueur estimée :	260 m
Coût de la solution :	9 100 €

Ces travaux de calorifugeage sont éligibles aux certificats d'économies d'énergie (CEE)

► Recommandation

L'isolation manquante en chaufferie est primordiale car la chaleur est « perdue » si elle est diffusée dans un local non-chauffé et non-occupé.

Le calorifugeage des réseaux en volume chauffé, plus couteuse car le bâtiment est grand, est moins indispensable mais conseillée. Cette action permet d'introduire la réflexion qui devra avoir lieu lors du redimensionnement et l'équilibrage du réseau de chauffage.

En effet, si la géométrie du bâtiment change et si ses besoins sont réduits par l'isolation alors le dimensionnement des radiateurs et l'équilibrage du réseau devront être modifiés en conséquence.



II. Installation d'un chauffe-eau instantané

► Présentation de la solution

Un chauffe-eau instantané permet de produire l'eau chaude à la demande.

Electrique ou à gaz, il permet de réduire la consommation car l'eau chaude n'est pas stockée et qu'elle est produite à proximité des points d'eau.

Dans les ERP ou le tertiaire, cette solution permet également de s'affranchir de la présence d'eau chaude stagnante et du risque de légionelle qu'elle entraîne.

Un exemple de chauffe-eau instantané est disponible en **annexe B**.



Figure n° 26 - exemple de chauffe-eau instantané

Dans un ballon d'eau chaude classique, comme celui actuellement installé. L'eau est généralement stockée à 50 °C et des « chocs thermiques » réguliers permettent de détruire les bactéries. Néanmoins, sans un débit régulier, l'eau reste stagnante dans le ballon. C'est notamment le cas en été où l'école n'est pas ou peu utilisée.

En association avec des mousseurs pour réduire le débit d'eau par robinet, ce système peut alimenter jusqu'à 4 robinets simultanément.



Figure n° 27 - Exemple de mousseur

► Estimation des coûts

Coûts chauffe-eau instantané	500 € / sanitaire
Coûts mousseurs	20 € / robinet
Estimation de la solution :	2500 €

► Recommandation

Cette solution est fortement recommandée.



III. Mise en place d'une ventilation performante

► Introduction

Comme cela a été précisé dans la partie A, la ventilation en milieu scolaire est primordiale.

L'école est un lieu particulier du point de vue du renouvellement d'air car la concentration de personne au m² entraîne une production rapide de polluants :

- Humidité
- Composés organiques volatiles (COV)
- Dioxyde de carbone (CO₂)

Il faut donc une ventilation performante qui permet d'évacuer efficacement ces polluants et qui puisse s'adapter aux changements rapides d'occupation.

► Présentation de la solution

Il existe plusieurs types de ventilation mécanique contrôlée (VMC). La solution la plus indiquée reste la VMC double flux avec détection de CO₂.

L'école rénovée permettra d'accueillir 200 personnes. Une ventilation efficace nécessite 20 m³ d'air neuf / personne.

Soit un minimum de 4000 m³/h.

Bien que ce soit nécessaire et obligatoire, l'apport d'air frais, à température extérieure, entraîne une déperdition d'énergie importante.



Figure n° 28 - Bloc ventilation CIAT - Floway

La VMC double flux permet de réduire la consommation de chauffage nécessaire pour réchauffer cet air frais en recyclant une partie de la chaleur de l'air extrait.

La détection de CO₂ permettra d'adapter la ventilation aux besoins et de ne consommer que ce qui est nécessaire.



► Fonctionnement double flux

La VMC double flux possède deux réseaux différents : un pour l'extraction de l'air vicié et une entrée d'air centralisée. Ces deux « flux » se croisent au sein d'un échangeur afin de préchauffer l'air neuf avec les calories contenue dans l'air extrait.

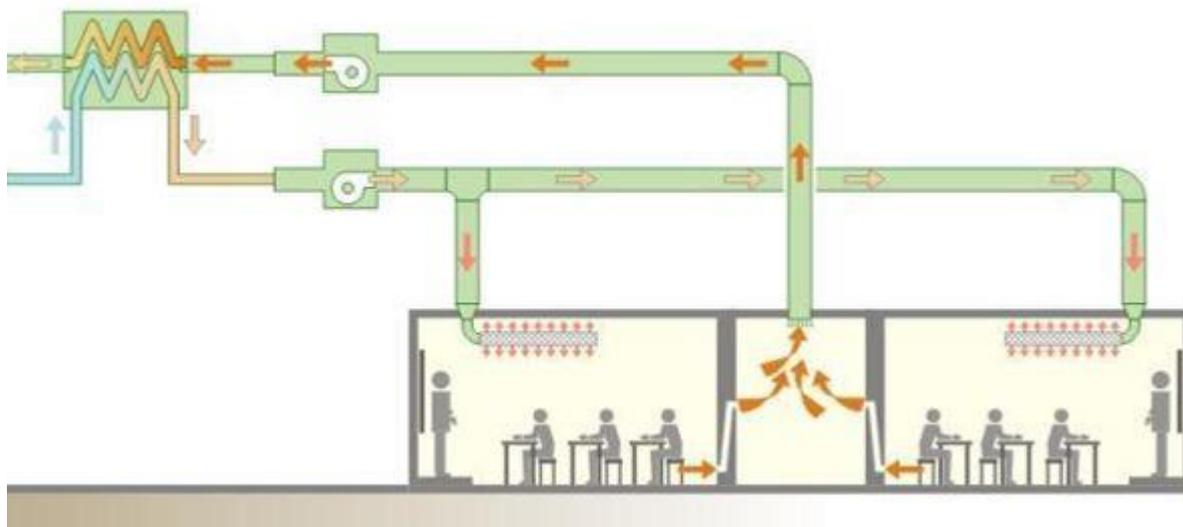


Figure n° 29 - schéma de fonctionnement d'une VMC DF

► Impact énergétique

L'échangeur permet de récupérer jusqu'à 80 % de l'énergie perdue avec une ventilation classique. Dans le projet, la présence de l'échangeur permet de réduire de 40 % les déperditions du bâtiment et de 47 % la consommation globale.

► Estimation des coûts

Ce type d'installation nécessite un dimensionnement précis pour faire l'objet d'un chiffrage.

Estimation de débit :	5000 m ³ /h
Estimation longueur de réseau :	380 m
Estimation de la solution :	35000 €

► Recommandation

Le bâtiment dans sa configuration actuelle n'est pas étanche à l'air ce qui permet une ventilation « passive ». Il faut savoir que plus le bâtiment est perméable plus il est sec, fruit de cette ventilation importante non maîtrisée.

Dans sa configuration future, l'isolation supplémentaire permettra d'atteindre un niveau d'étanchéité supérieur et si le taux d'occupation augmente alors la VMC double flux sera essentielle pour éviter les problèmes liés à l'humidité.

La solution est fortement recommandée.

IV. Isolation thermique par l'extérieur

► Présentation de la solution :

Les murs existants ne sont pas isolés, ce qui entraîne une déperdition importante et des problèmes de confort en période hivernale. Compte tenu de la forme du bâtiment et de la dégradation des façades, la solution la plus indiquée est l'isolation par extérieur.

L'isolation préconisée est une isolation extérieure en polystyrène de 160 mm.

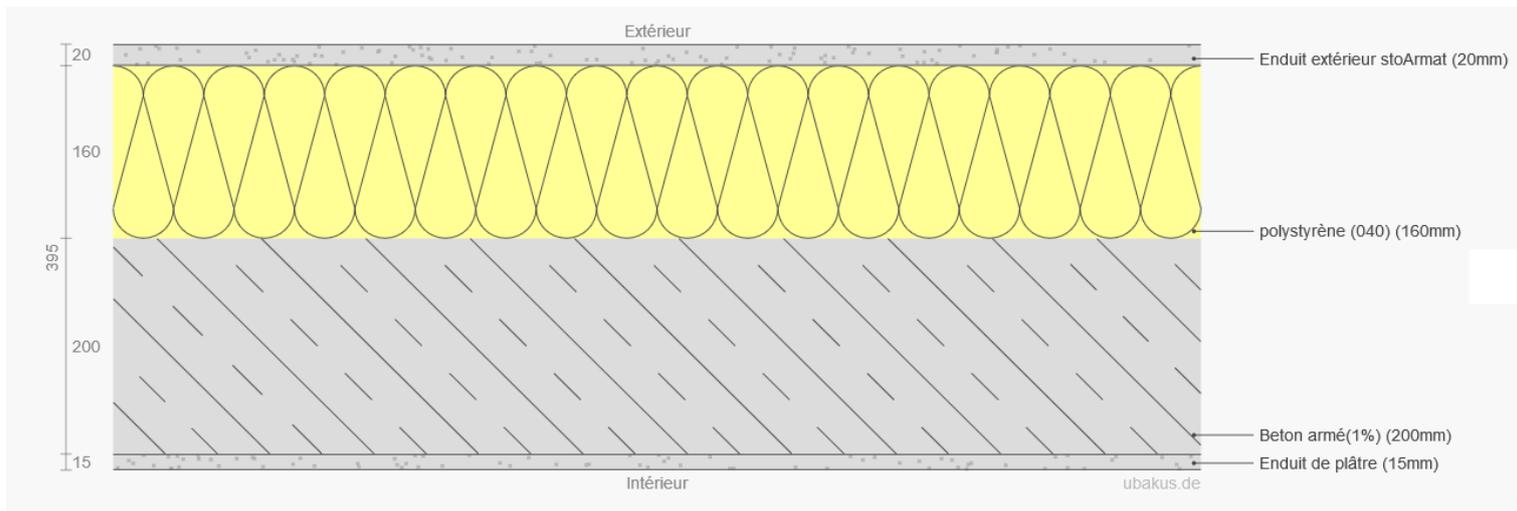


Figure n° 30 - Coupe du mur avec une isolation ITE de 16 cm en Polystyrène (PSE)

L'isolation thermique par extérieur (ITE) possède plusieurs avantages :

- Elle permet d'éviter les problèmes d'humidité dans les murs
- Elle isole efficacement le pont thermique du plancher intermédiaire
- Elle permet de rafraîchir les façades du bâtiment
- Elle améliore le confort thermique en période estivale
- Elle peut être réalisée en occupation

► Impact énergétique

Les murs sont les parois les plus déperditives du projet avec 46,3 % des déperditions des parois.

Lorsque les consommations sont aussi élevées, le gisement d'économie est conséquent l'isolation en polystyrène de 16 cm permet de réduire la consommation globale de 21,9 %

► Estimation des coûts :

Prix estimatif au m² :	140 €/m ²
Surface à isoler	656 m ²
Estimation de la solution :	91 840 €

► Recommandation

Sur le plan thermique, l'isolation des murs est l'étape la plus importante de la rénovation.

Cette action est donc indispensable.



V. Isolation du plancher bas

► Présentation de la solution :

L'isolation du plancher en rénovation est toujours une étape délicate car elle n'est pas toujours réalisable. Il faut avoir une hauteur sous plafond suffisante et la possibilité mécanique de mettre en place une chape, qui alourdi la structure.

Dans le cadre de ce projet, toutes les conditions sont réunies pour pouvoir mettre en place une isolation du sol avec 10 cm de polyuréthane sous une chape de 5 cm.

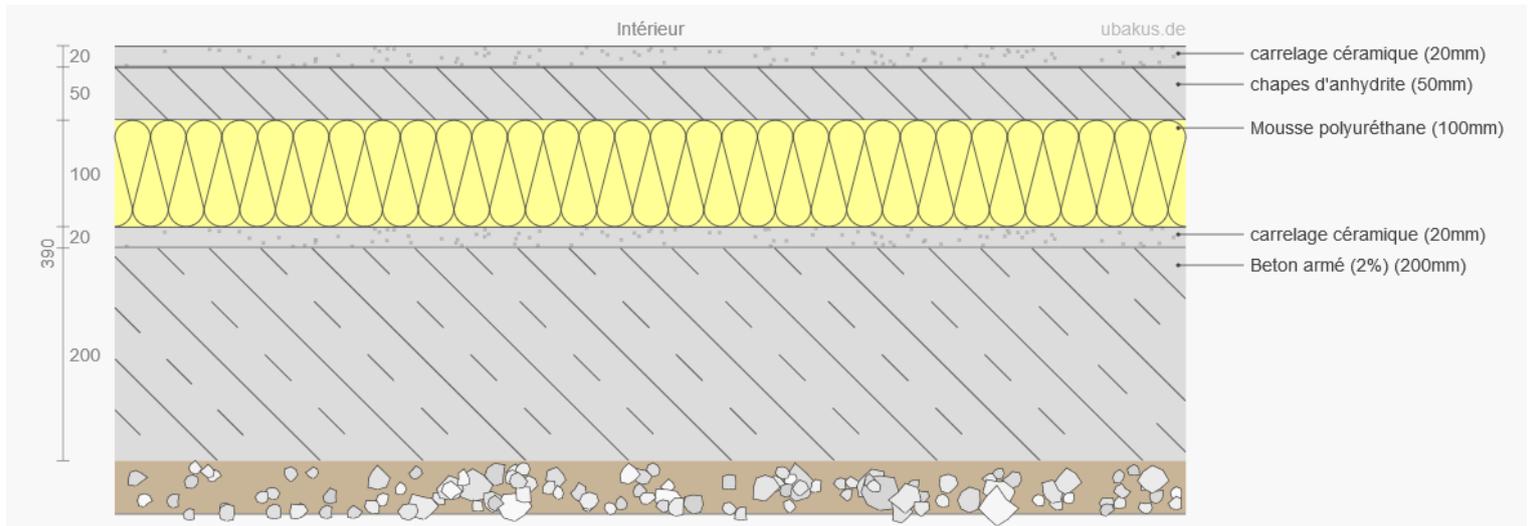


Figure n° 31 - Coupe sur le plancher bas avec une isolation sous chape de 10 cm de polyuréthane (PUR)

► Impact énergétique

Dans la configuration actuelle, le plancher bas est la surface la moins déperditive. En effet, le plancher n'est pas en contact avec l'air extérieur mais avec le sol, généralement plus chaud de 5 à 10 °C.

Initialement, le plancher représente 14,1 % des consommations et son isolation seule permet de réduire de 5% la consommation globale.

► Estimation des coûts :

Prix estimatif au m² :	45 €/m ²
Surface à isoler	586 m ²
Estimation de la solution :	26 370 €
Travaux induits :	15 000 €

Travaux induits : L'isolation du plancher réhausse le niveau du sol, ce qui entraîne des modifications. Ouvertures dans des porteurs, de menuiseries intérieur, déplacement des radiateurs,

► Recommandation

Une fois le bâtiment rénové et isolé, les déperditions par le plancher bas pourront représenter plus de 48% des déperditions totales. Ainsi, bien que contraignant et coûteux au premier abord, le traitement de cette paroi est fortement conseillé.

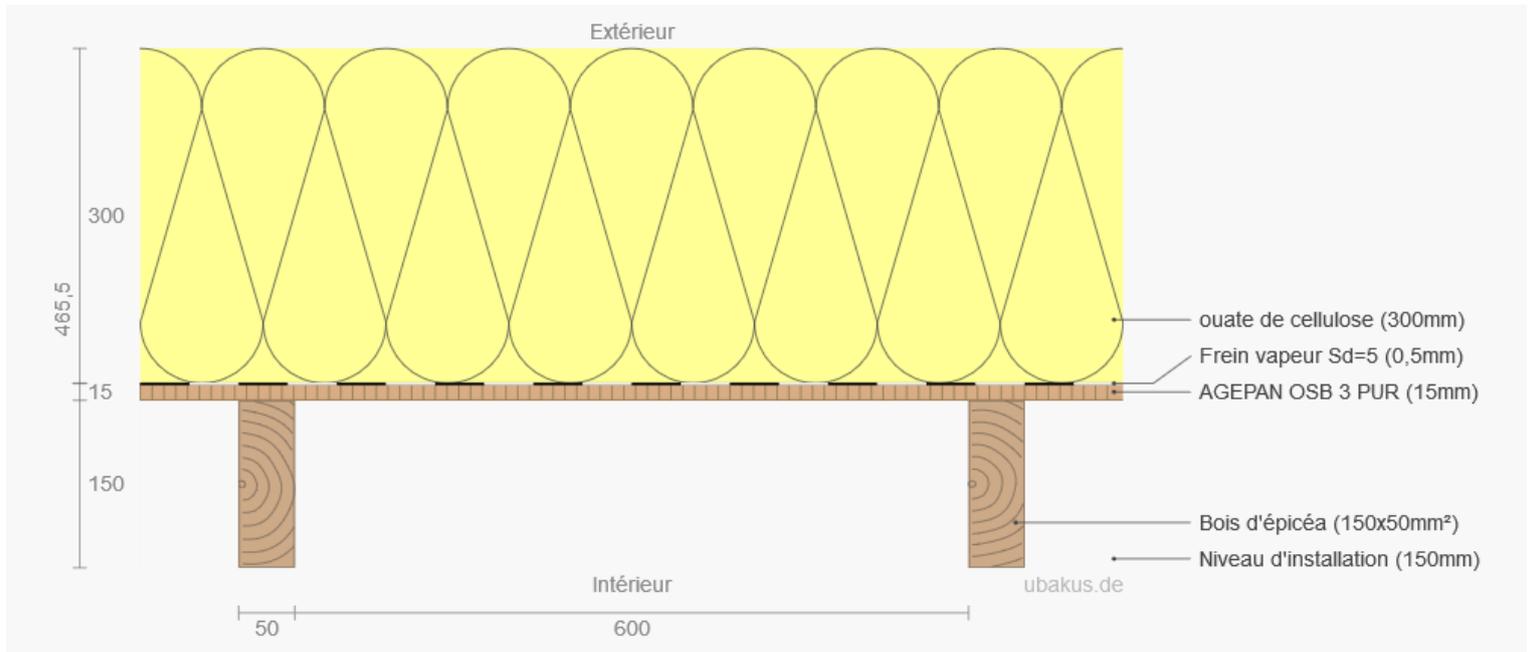


VI. Isolation du plafond sur comble

► Présentation de la solution :

L'isolation de la toiture est essentielle, on l'a vu avec l'exemple du plancher bas, il n'est pas possible de ne pas isoler une paroi. L'isolation ne fait pas exception et nécessite même des « aménagements » dans ce cas précis :

- Reprise de la toiture pour protéger l'isolation des infiltrations d'eau
- La construction d'un plancher pour la création d'un plénum nécessaire à la ventilation



► Impact énergétique

Le plafond représente 30,9 % des consommations et son isolation seule permet de réduire de 17,8% la consommation globale.

► Estimation des coûts :

Prix estimatif au m² :	65 €/m ²
Surface à isoler	593 m ²
Estimation de la solution :	38 545 €

Estimation comprenant le coût de la structure bois + OSB pour rendre les combles « visitables » pour la maintenance technique entre autres.

La réfection de la toiture n'est pas intégrée à cette estimation.

► Recommandation

L'isolation du plancher sous comble est fortement conseillée



VII. Résumé des solutions

<i>Solution</i>	<i>Coût estimatif en €</i>	<i>Economies d'énergie en %</i>	<i>Importance</i>
Calorifugeage chaufferie	750 €	5 à 10 %	Recommandée
Calorifugeage réseau d'eau	9 100 €		Conseillée
Chauffe-eau instantané	2 500 €	Négligeable	Recommandée
Ventilation double flux	35 000 €	47 % du projet après isolation	Indispensable
Isolation des murs	91 840 €	21,90%	Indispensable
Isolation du plancher bas	41 370 €	5%	Recommandée
Isolation du plafond sur comble	38 545 €	17,80%	Indispensable

<i>Type de travaux</i>	<i>Coût cumulé en €</i>
Conseillées	9 100 €
Recommandés	44 620 €
Indispensables	165 385 €
TOTAL	219 105 €



PARTIE C

RESULTATS D'ETUDE THERMIQUE

- ▶ Introduction
- ▶ Consommation actuelle
- ▶ Situation énergétique post-travaux
- ▶ Confort des occupants

Important :

Ce bâtiment ne réunit pas les critères de la réglementation thermique pour être soumis à une étude « RT globale » assortie d'une valeur de consommation limite à ne pas dépasser. Ce projet est donc soumis à la RT « élément par élément » et doit respecter les résistances thermiques suivantes :

	Résistance réglementaire
Murs en contact avec l'extérieur	2,9 m ² .K/W
Murs en contact avec un local non-chauffé	2,0 m ² .K/W
Toiture terrasse	3,3 m ² .K/W
Plafond sur combles	4,8 m ² .K/W
Rampants	4,4 m ² .K/W
Plancher bas	2,7 m ² .K/W



I. Introduction

Une étude thermique correspond à une modélisation du bâtiment existant et de ses variantes futures afin d'évaluer les sources de déperditions ainsi que les potentielles améliorations à apporter.

Pour obtenir le plus d'informations possibles et faire les bons choix, le projet a été modélisé avec deux logiciels et deux méthodologies distinctes : l'étude thermique statique et l'étude thermique dynamique.



Figure n° 32 - Modélisation du bâtiment sur le logiciel d'étude thermique dynamique

► Etude thermique statique

L'étude thermique statique possède un scénario d'utilisation non modifiable qui permet de comparer les bâtiments entre eux : c'est ce qui permet de générer une étiquette énergétique.

Le terme « statique » correspond à la méthode utilisée pour les calculs : on considère que les températures intérieure et extérieure sont fixes et ne varient pas.

On évalue ensuite les déperditions et les consommations que cet écart de température entraîne.

► Etude thermique dynamique

L'étude thermique dynamique permet d'analyser le comportement spécifique du bâtiment. L'objectif n'est plus de comparer les projets entre eux mais d'observer l'évolution, heures par heures des températures dans chaque pièce.

Pour cela, des scénarios météo, de présence, chauffage, ventilation, ... sont créés spécifiquement pour chaque projet.



II. Etat existant

II.1 Consommation actuelle

Sans relevés précis des consommations, nous devons nous fier aux estimations du logiciel.

La consommation de chauffage estimée par simulation est de :

	Consommation	Coût annuel
Simulation statique	160 531 kWh	16 000 €
Simulation dynamique	144 654 kWh	14 500 €

La simulation dynamique prend en compte les vacances et le mercredi où l'école n'est pas occupée ce qui permet d'avoir une information plus précise de la consommation.

L'estimation de consommation annoncée par la maîtrise d'ouvrage est du même ordre de grandeur mais significativement plus faible : environ 100 000 kWh et 10 000€. Mis à part l'imprécision générale d'une modélisation, seul le taux d'occupation des locaux peut expliquer l'écart de consommation.

Afin de pouvoir comparer une situation initiale et projetée comparables, nous utiliserons les données fournies par les logiciels pour l'évaluation des économies. Tout en gardant à l'esprit que ces dernières sont peut-être surévaluées.

II.2 Répartition des déperditions

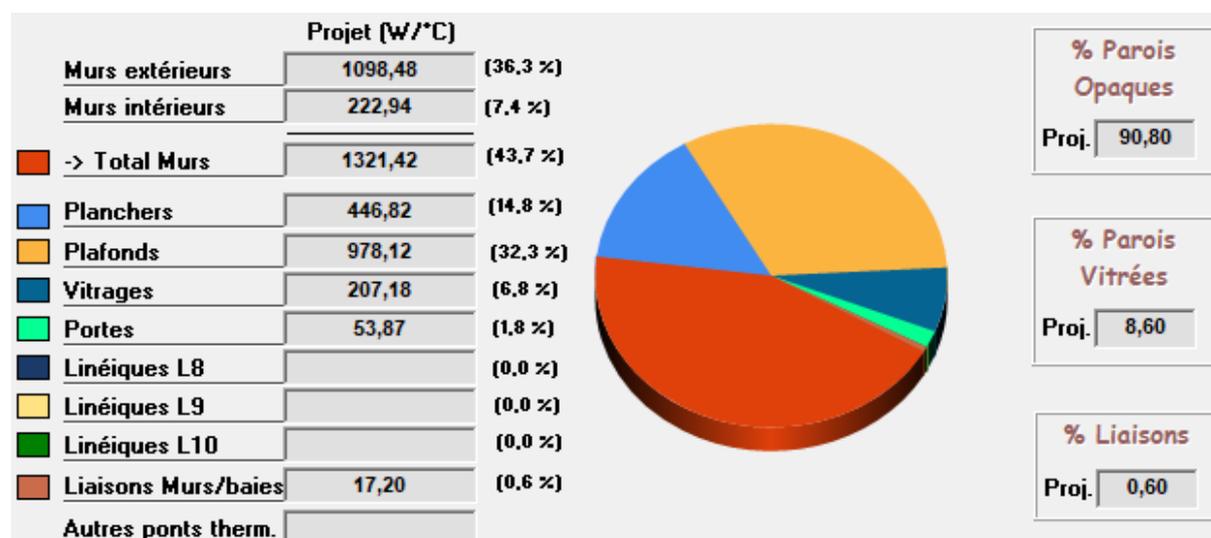


Figure n° 33 - Extrait du logiciel Perrenoud - Répartition des déperditions

Sans surprise, faute d'isolation, les parois représentent la quasi-totalité des déperditions avec 90,80 %. Ce graphique montre bien l'importance de mettre en place les solutions d'isolation préconisées dans la partie B.



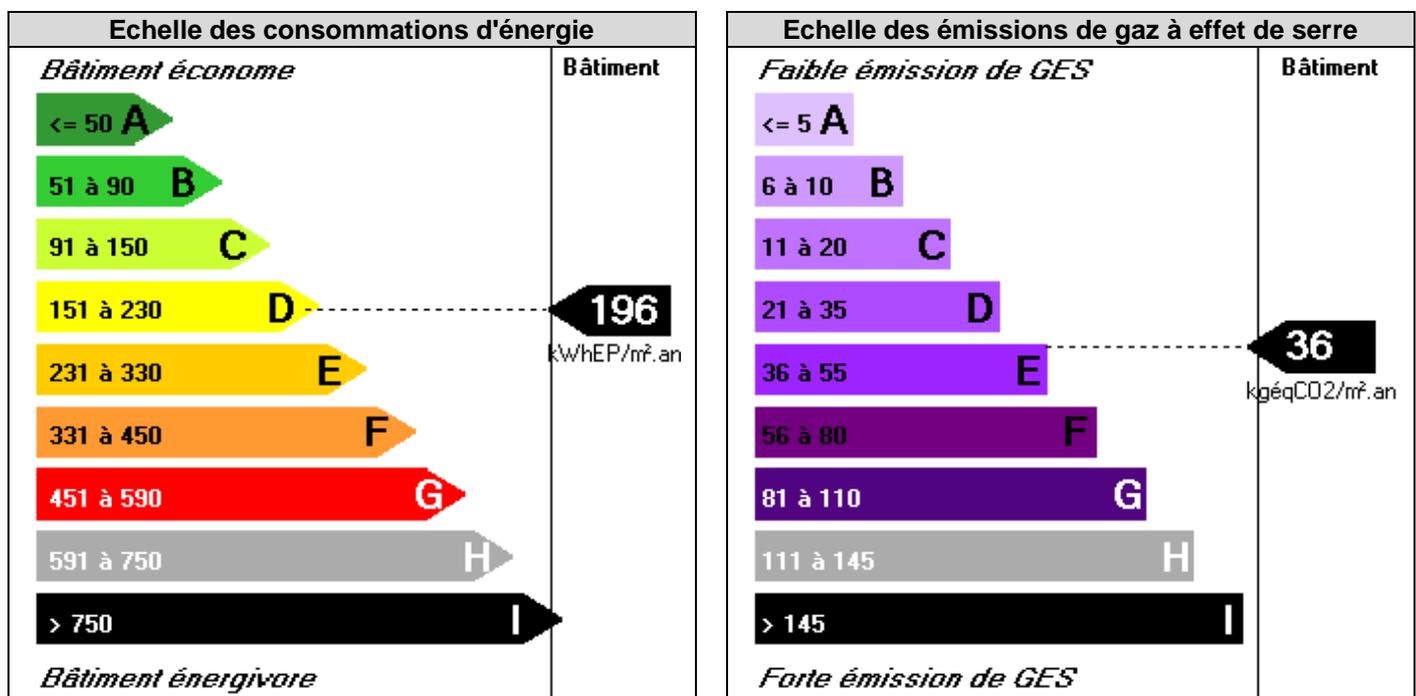
II.3 Puissance de chauffage

Afin de maintenir une température confortable, l'ensemble des déperditions doivent être combattues avec la même puissance de chauffage.

Le logiciel estime la puissance de chauffage nécessaire actuelle à 150 000 kW.

Cette valeur n'a pas vocation à servir de dimensionnement, le BET Ursae intervient uniquement en tant que bureau d'étude thermique et non fluide. Le dimensionnement exact de l'installation devra faire l'objet d'une étude spécifique.

II.4 Etiquette énergétique



Compte tenu de la compacité du bâtiment et de sa taille, et malgré son absence d'isolation, l'étiquette énergétique est classée D.

La compacité caractérise le ratio de surfaces déperditives par rapport au volume chauffé qu'elles abritent. Plus le bâtiment possède une forme simple, plus la compacité sera favorable. De plus, les consommations sont ramenées au m² de surface, les bâtiments de grande taille sont donc avantagés.

L'étiquette énergétique est moins favorable car le bâtiment utilise une énergie fossile pour son chauffage.



III. Etat projeté

III.1 Consommation projetée et économie d'énergie

Après isolation, les consommations diminueront. Bien que l'estimation soit difficilement comparable à la réalité du projet, on peut néanmoins connaître le % de gain que l'on pourrait obtenir.

	Consommation	Coût annuel	Gain
Simulation statique	47 766 kWh	4 780 €	70,2%
Simulation dynamique	69 253 kWh	6 930 €	52,1%

L'écart de consommation est en partie expliqué par la prise en compte plus précise des apports solaires. En effet, dans la simulation dynamique entre la version existante et version projeté il y a une baisse de 31,2 % des apports solaires. La raison de cette baisse est multiple :

- Préau
- Surface vitrée réduite
- Retrait des vitrages (l'épaisseur d'isolant extérieur empêche le vitrage de recevoir la chaleur du soleil).

La simulation dynamique est plus précise et généralement plus proche de la réalité. On peut donc espérer réduire la consommation d'environ 50 % après travaux.

III.2 Répartition des déperditions

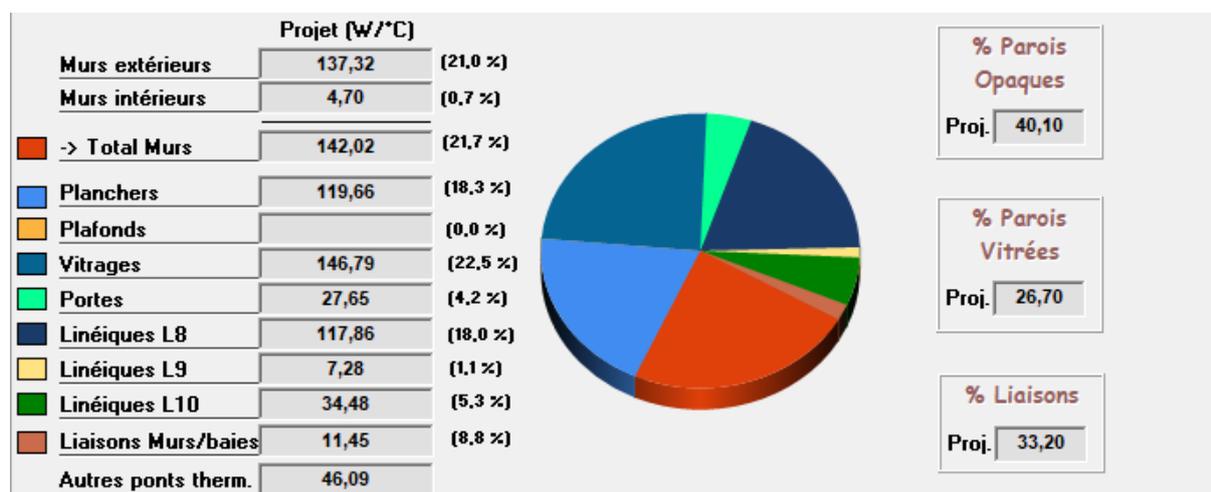
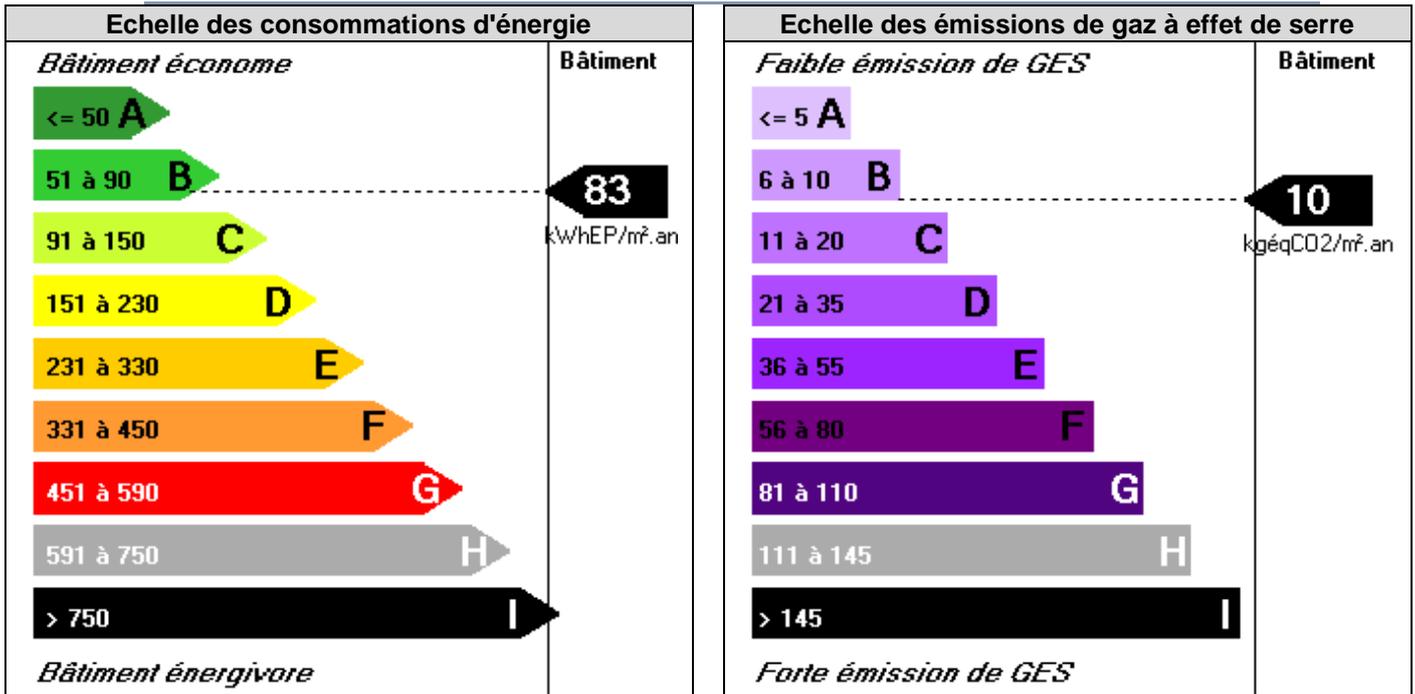


Figure n° 34 - Extrait du logiciel Perrenoud - Répartition des déperditions après travaux

Après travaux, les déperditions sont plus équilibrées et on voit apparaître les ponts thermiques, les zones mal ou non isolée. Notamment le pont thermique L8 entre les murs et le plancher bas. Impossible à traiter car il faudrait isoler sous le niveau du sol.



III.3 Etiquette énergétique



► Concernant l'énergie

Etiquette énergétique passe de D à C et de 196 à 96. Le niveau de consommation du bâtiment après travaux est équivalent à un bâtiment neuf.

► Concernant les GES

Les émissions de gaz à effet de serre passent de E à B et de 36 à 10.

La pollution du bâtiment, principalement liée à la combustion du gaz, a été fortement réduite, plus que la consommation. Cette baisse s'explique par la répartition des énergies : après travaux, la consommation de gaz devient plus faible que la consommation d'électricité (éclairage, ventilation, auxiliaires,).

La consommation électrique a augmenté suite à l'implémentation de la ventilation.

III.4 Eclairage

Grâce à la réduction de la puissance installer forfaitaire, la consommation pour l'éclairage est réduite de 38 à 23,1 kWh/m².

Ce qui permet d'abaisser l'étiquette énergétique.

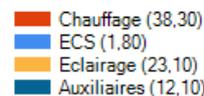
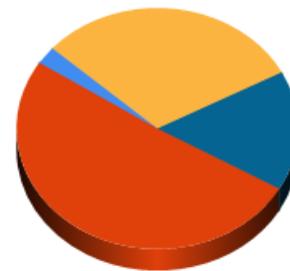


Figure n° 35 - Répartition des postes de dépense



IV. Comportement du bâtiment

IV.1 Introduction

Lorsque l'on change l'isolation d'un bâtiment on change également son comportement. Sans prise en compte de tout les paramètres on peut voir apparaitre des problèmes qui n'existaient pas avant. Il faut donc prendre en compte :

- L'étanchéité à l'air
- La gestion de l'humidité
- La gestion de la surchauffe

IV.2 Etanchéité à l'air

Le bâtiment actuel est ventilé par ouverture de fenêtre. Le retour du directeur n'indique pas de problème d'odeur ni d'humidité. On peut donc considérer que la ventilation actuelle est suffisante soit par l'ouverture des fenêtres soit par l'inétanchéité à l'air du bâtiment.

Après travaux le projet sera plus étanche à l'air mais les problèmes seront évités avec la ventilation double flux qui ventilerait efficacement le bâtiment.

IV.3 Gestion de l'humidité

La production d'eau dans le bâtiment, sous forme de vapeur d'eau, est essentiellement issue de la respiration des occupants. Cette vapeur d'eau n'entraîne pas de pathologie du bâtiment s'il elle ne condense pas en eau liquide.

Il faut donc éviter que la vapeur d'eau soit en contact avec des surfaces froides.

Pour cela on maintient l'humidité dans l'air chaud avec des freins/pares vapeurs et on l'évacue avec la ventilation.

Dans ce projet, la membrane est mise en place en plafond sur comble et la structure en béton, étanche, permet de maintenir l'humidité dans le volume chauffé et la VMC Double flux évacuera l'humidité.



IV.4 Gestion de la surchauffe

La simulation de l'état actuel corrobore les retours des enseignants sur l'absence d'inconfort lié à la surchauffe. L'orientation du bâtiment, la présence d'occultation et l'absence de présence en été permet d'obtenir ce confort.

Le logiciel de thermique dynamique donne les informations suivantes :

Situation	Heures d'inconfort	Taux d'inconfort	Température max.
Avant travaux	37 h	8,15 %	30,78 °C
Après travaux	17 h	2,87 %	28,77 °C

Le taux d'inconfort correspond au ratio de temps passé en situation d'inconfort soit une température supérieure à 27°C.

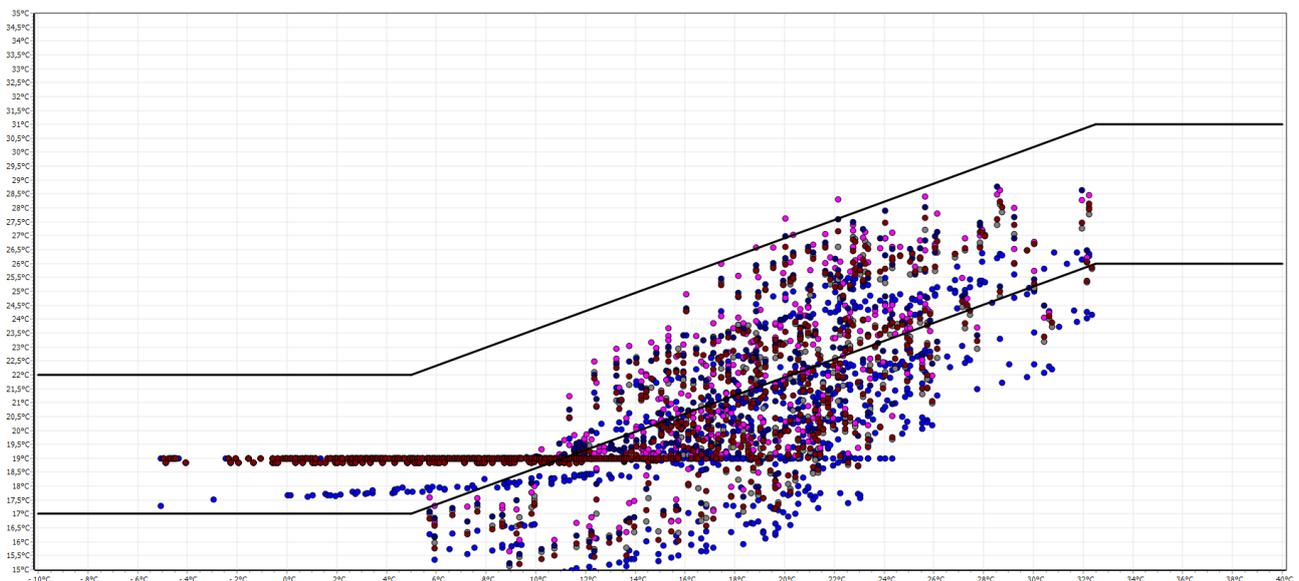


Figure n° 36 - Diagramme "zone de Brager"

Le diagramme zone de Brager permet de valider le confort du bâtiment après travaux. Chaque point correspond à la température du local (en ordonné à gauche) et à la température extérieure (en abscisse en bas). Si les points sont situés entre les deux courbes, on est en situation de confort, au-dessus c'est la surchauffe et en dessous un manque de chauffage.

On peut observer l'absence de surchauffe et un inconfort léger par manque de chauffage qui dépend uniquement du réglage de la consigne de température.

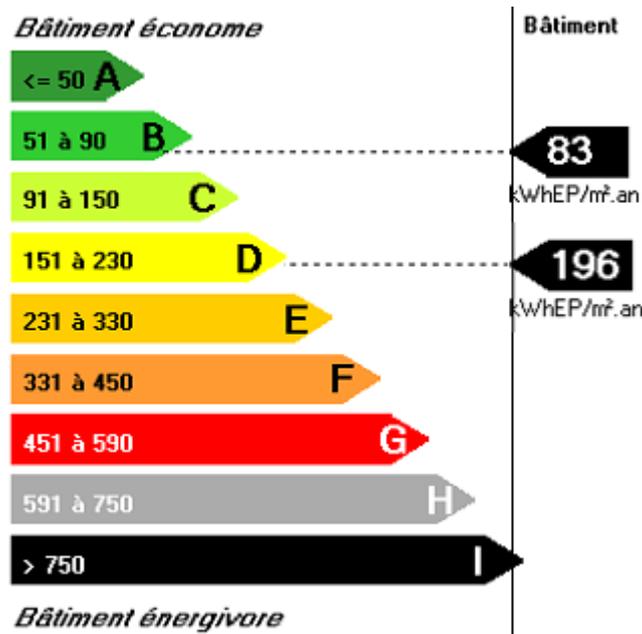


V. Conclusion de l'étude

Le projet de rénovation est très ambitieux du point de vue énergétique.

L'ensemble des actions permettront d'atteindre un niveau de consommation équivalent à un projet neuf soumis à la RT2012 ou d'une rénovation BBC.

L'économie d'énergie permet de passer d'une étiquette D à une Etiquette B :



Le bâtiment après travaux sera confortable, économique et bénéficiera d'une qualité de l'air intérieure, indispensable dans les établissements scolaires.



ANNEXES



Annexe A : Lexique

ITI et ITE : Isolation Thermique par l'Intérieur ou l'Extérieur. Ces acronymes désignent le fait d'isoler à l'intérieur ou à l'extérieur de la structure porteuse.

Rsi : Résistance superficielle intérieure.

Cela correspond à la résistance de l'air à la surface de la paroi côté intérieur.

Rse : Résistance superficielle extérieure.

Cela correspond à la résistance de l'air à la surface de la paroi côté extérieur.

COP : Coefficient de Performance. Ex : COP de 3 signifie que l'on consomme 1 kW d'électricité pour chauffer le bâtiment à 3 kW.

COV : Composés Organiques Volatiles. Les COV sont des dégagements gazeux produits par les vernis, les colles, l'activité humaine, ... ils sont considérés comme des polluants de l'air intérieur.

Point de rosée : En traversant le mur, la vapeur d'eau contenue dans l'air se refroidit et condense. De l'eau sous forme liquide se dépose dans le mur et crée des problèmes d'humidité : c'est le phénomène de point de rosée.

C'est la pathologie du bâtiment la plus fréquemment observée.

Pont thermique : Les ponts thermiques sont les zones « moins isolées » dans l'enveloppe du bâtiment.

Ils sont généralement liés à une jonction structurelle : liaison entre les murs, cadres des fenêtres, plancher intermédiaire, ... La configuration du projet ne permet pas toujours de conserver une isolation continue sur l'ensemble du projet.

Lorsque l'isolation est réduite et/ou absente : cela crée un pont thermique. La chaleur à l'intérieur du bâtiment aura plus de facilités à s'échapper vers l'extérieur.

Conductivité thermique :

La conductivité notée « λ » est exprimée en W/m.K. Elle traduit la capacité à transmettre la chaleur d'un matériau. La réglementation déclare qu'un matériau est dit « isolant » si sa conductivité est inférieure à 0.060 W/m.K.

À titre de comparaison, l'aluminium possède une conductivité de 237 W/m.K.



Résistance Thermique « R » :

La résistance thermique est exprimée en $m^2.K/W$. Elle exprime la capacité isolante d'une épaisseur de matière. Sa valeur n'est pas très représentative physiquement mais très parlante car les résistances s'additionnent. Ainsi, plus le mur est isolé, plus le R est important.

Conductivité surfacique « U » :

La conductivité surfacique est exprimée en $W/m^2.K$. Elle correspond à la quantité d'énergie (en Watt) qui traverse $1 m^2$ de parois lorsqu'il y a une différence de $1 ^\circ C$ entre la température intérieure et extérieure.

C'est cette valeur qui est la plus importante pour les calculs thermiques. Plus le U est faible plus la paroi sera isolante.

Le U est décliné en plusieurs dénominations en fonction du type de paroi qu'il caractérise :

Uw = « U window » ou U fenêtre en français

Ug = « U glass » ou U vitrage en français

Uf = « U Frame » ou U structure de la fenêtre en français

Up = U porte

Uc = U coffre (coffre de volet roulant)

Ue = U équivalent (lorsque le mur donne sur le sol et pas directement dans l'air extérieur)

Remarque :

Lorsque la résistance thermique n'est pas bonne, les fabricants donnent généralement la conductivité : c'est le cas pour les fenêtres. Le R d'une fenêtre standard est de $0.75 m^2.K/W$. La comparaison à l'isolation des murs est impossible si les unités sont différentes mais en faisant la conversion, on observe que les vitrages sont 4 à 5 fois moins isolants que les murs.

Facteur solaire (Sw) et Facteur de transmission lumineuse (Tlw)

Ces indicateurs, compris entre 0 et 1, correspondent à la qualité d'un vitrage vis-à-vis de la transmission d'énergie solaire (Sw) et de la transmission lumineuse (Tlw).

Plus le facteur solaire est grand, plus l'énergie des rayons du soleil pénètre le vitrage.

Un Sw élevé permet de maximiser les apports solaires en hiver mais peut entraîner une surchauffe en été.

Le facteur de transmission lumineuse (Tlw) donne la quantité de lumière naturelle qui traverse le vitrage.



PCI et PCS : Pouvoir Calorifique Inférieur et Supérieur

Le pouvoir calorifique est la quantité d'énergie qu'il est possible d'extraire de la matière, généralement par combustion. Alors pourquoi une valeur inférieure et une supérieure ?

Lors d'une combustion, l'hydrogène du combustible se mélange à l'air pour créer de l'eau : cette eau consomme de l'énergie de combustion pour se vaporiser.

Cette vapeur d'eau était considérée comme une énergie irrécupérable et a été enlevée du pouvoir calorifique du combustible pour gonfler les rendements. Mais l'avancée technologique des chaudières « condensation » a permis d'exploiter cette énergie et, afin de pouvoir comparer les rendements de toutes les chaudières, les deux versions ont été conservées :

- Sans l'énergie contenue dans la vapeur d'eau : Pouvoir calorifique Inférieur
- Avec cette énergie : Pouvoir calorifique supérieur.

Ainsi, les rendements des chaudières condensation dépassent 100% sur PCI alors que c'est scientifiquement impossible.



Annexe B : Exemple de chauffe-eau instantané

Chauffe-eau électrique instantané

PPE2
electronic LCD

Chauffe-eau avec la commande électronique et l'affichage LCD à un prix imbattable.



Application



Avantages



Afficheur LCD
Afficheur à cristaux liquides pour voir la température de l'eau à l'entrée et à la sortie ainsi que le débit et la puissance actuellement absorbée.



Commande électronique
Régulation électronique avec la commodité de régulation de la température d'eau de 30°C à 60°C avec une exactitude de 1°C.

Trois puissances dans un seul chauffe-eau
Un choix de puissance maximale (ne concerne pas le modèle 27 kW)

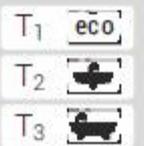
9/11/12/15 kW
17/18/21/24 kW



Possibilité de chauffer l'eau déjà préchauffée. La température maximale de l'eau entrante ne peut pas dépasser 70°C.



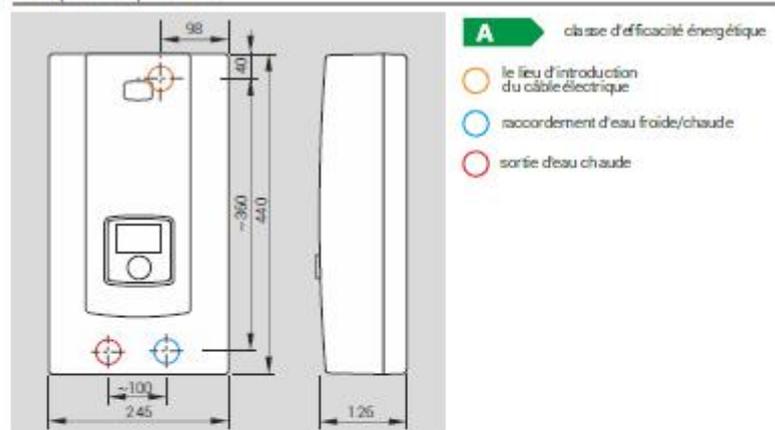
Verrouillage de température maximale
Température maximale peut être programmée, par exemple pour protéger les enfants contre les brûlures.



Mémoire des 3 températures les plus utilisées.

T₁ eco
T₂ +
T₃ -

Croquis du produit



Données techniques

Modèle du chauffe-eau	PPE2 électronique			
	kW	9 / 11 / 12 / 15	17 / 18 / 21 / 24	27
Puissance nominale	kW	9 / 11 / 12 / 15	17 / 18 / 21 / 24	27
Tension nominale		400 V 3~		
Consommation nominale	A	3 x 13,0 / 15,9 / 17,3 / 21,7	3 x 24,6 / 26,0 / 30,3 / 34,6	3 x 39,0
Disjoncteur	A	16 / 16 / 20 / 25	25 / 32 / 40 / 40	50
Section minimale des cordons d'alimentation	mm ²	4 x 1,5 / 2,5 / 2,5 / 2,5	4 x 4 / 4 / 4 / 6	4 x 6
Rendement pour l'échauffement à 30°C	l/min	4,3 / 5,7 / 5,8 / 7,2	8,1 / 8,7 / 10,1 / 11,6	13,0
Pression de l'eau entrante	Bar	1,0 - 6,0		
Dimensions	mm	440 x 245 x 126		
Poids	kg	~ 4,0		
Raccordement d'eau		F 1/2"		
Distance entre les tubulaires	mm	100		
Niveau de sécurité		IP 25		