



VELUX®

Rénovation d'une maison à Morangis

ANNEXE – Rapport détaillé : simulation thermique dynamique

VELUX – LIVING PLACES - RENOVATION

SOMMAIRE

PRÉAMBULE	4
1.1. LABEL ACTIVE HOUSE.....	4
1.2. OBJET DE L'ETUDE.....	4
1.3. METHODOLOGIE DE L'ETUDE DU CONFORT THERMIQUE.....	4
2. HYPOTHÈSES GÉNÉRALES DE MODÉLISATION	6
2.1. DONNEES METEO – TEMPERATURE D'AIR SECHE	6
3. APPORTS INTERNES ET SCÉNARIO DE FONCTIONNEMENT.....	6
4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES DE FANGER	7
4.1. TEMPERATURES DE CONSIGNE	7
4.2. ACTIVITE	7
4.3. HABILLEMENT.....	7
4.4. VITESSE DE L'AIR.....	8
4.5. METHODOLOGIE D'ANALYSE.....	8
4.5.1. PÉRIODE HIVERNALE ET MI- SAISON	8
4.5.2. PÉRIODE ESTIVALE	8
5. CRITÈRES DU CONFORT THERMIQUE DANS ACTIVE HOUSE ...	9
5.1. VARIATIONS DE TEMPERATURE	9
6. ETUDE AVANT TRAVAUX	10
6.1. HYTPOTHESE SPECIFIQUES.....	10

6.1.1. PROPRIÉTÉS D'ENVELOPPE	10
Performance des parois opaques	10
Performance des façades vitrées.....	10
Infiltration	10
6.1.2. IDENTIFICATION DES ZONES D'ÉTUDE	10
6.2. RESULTATS DE L'ETUDE DE BASE SELON LA NORME NF EN 16798-1	11
6.3. REPRESENTATION GHRAPHIQUE DES RESULTATS...	11
6.4. PISTES POUR ATTEINDRE LE CONFORT THERMIQUE	13
7. ETUDES APRÈS TRAVAUX	14
7.1. HYTPOTHESE SPECIFIQUES	14
7.1.1. PROPRIÉTÉS D'ENVELOPPE	14
Performance des parois opaques	14
Performance des façades vitrées.....	14
Infiltration	14
7.1.2. IDENTIFICATION DES ZONES D'ÉTUDE	14
7.2. VARIANTES ET RESULTATS	15
7.3. RESULTATS DU SCENARIO FINAL	19
7.3.1. RÉSULTATS DE L'ÉTUDE SELON LA NORME NF EN 16798-1 19	
7.3.2. REPRESENTATION GHRAPHIQUE DES RESULTATS	19

PREAMBULE

1.1. LABEL ACTIVE HOUSE

Le label Active House est un standard volontaire de construction durable qui vise à équilibrer le **confort**, l'**énergie**, et l'**impact environnemental** dans les bâtiments.

Active House impose que les bâtiments offrent un environnement intérieur agréable et stable toute l'année, en minimisant les risques de surchauffe en été et en optimisant la température intérieure en hiver, tout en limitant la consommation d'énergie.

Il ne fixe pas de seuils de température rigides : il considère que le confort dépend aussi du comportement des usagers. La priorité est donnée à un bâtiment naturellement confortable, sans dépendance excessive aux systèmes actifs de chauffage ou de climatisation.

1.2. OBJET DE L'ETUDE

La simulation présentée dans ce document doit permettre l'évaluation du confort thermique selon la norme EN 16798-1 (méthode adaptative pour les bâtiments sans climatisation).

Plages de confort adaptatif :

Quand il n'y a pas de climatisation mécanique, la norme utilise une approche adaptative : elle accepte que la température intérieure suive légèrement la température extérieure.

Exemple : s'il fait très chaud dehors, l'occupant accepte naturellement une température intérieure plus élevée.

Les niveaux de confort définis par la norme seront évalués.

1.3. METHODOLOGIE DE L'ETUDE DU CONFORT THERMIQUE

La présente étude a été réalisée avec le logiciel *Design Builder* version 7.3.0.

Le confort hygrothermique dépend de nombreux paramètres comme la température de l'air, la température radiante, la vitesse de l'air, le niveau d'habillement, le degré d'activité physique, etc. Plusieurs modèles existent pour quantifier le niveau de confort en fonction de ces paramètres.

Le modèle retenu pour la présente étude est l'un des plus utilisés, le modèle de Fanger, et consiste en la détermination d'une valeur de PMV (Predicted Mean Vote) correspondant à une valeur de PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Le PMV représente le résultat moyen d'un vote d'occupants dans l'ambiance thermique considérée, 0 correspondant à « ni trop chaud, ni trop froid », -3 à beaucoup trop froid et +3 à beaucoup trop chaud. Le PPD, directement relié au PMV, représente le pourcentage d'occupants susceptibles de se déclarer insatisfait de l'ambiance thermique considérée.

L'étude se déroule donc selon les étapes suivantes :

- Modélisation 3D, attribution des matériaux (parois, menuiseries et vitrage) et saisie des masques sous DesignBuilder
- Saisie des charges thermiques
- Saisie des scénarios d'utilisation (occupation, éclairage, ...)
- Simulation annuelle et analyse du confort hygrothermique

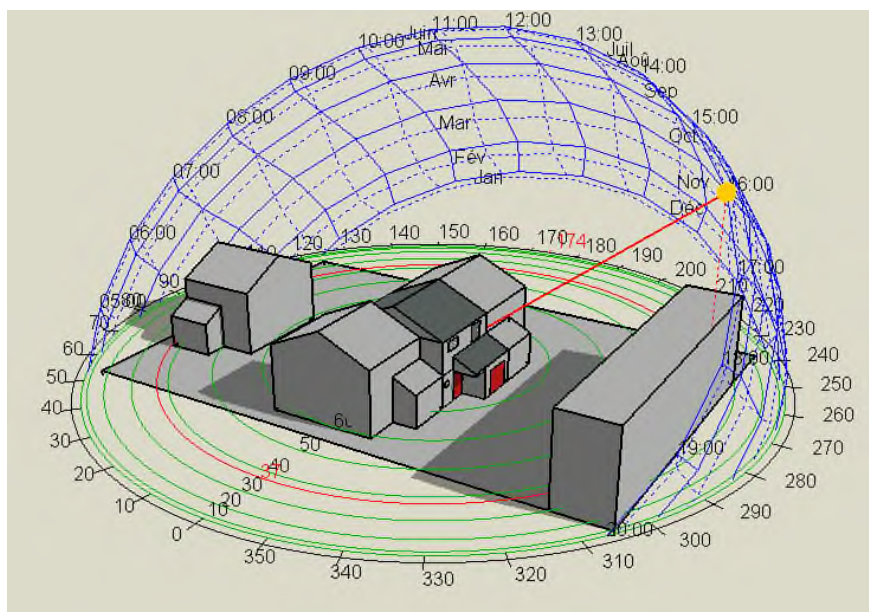


Fig. 1. *Modélisation 3D du Projet et de son environnement proche*

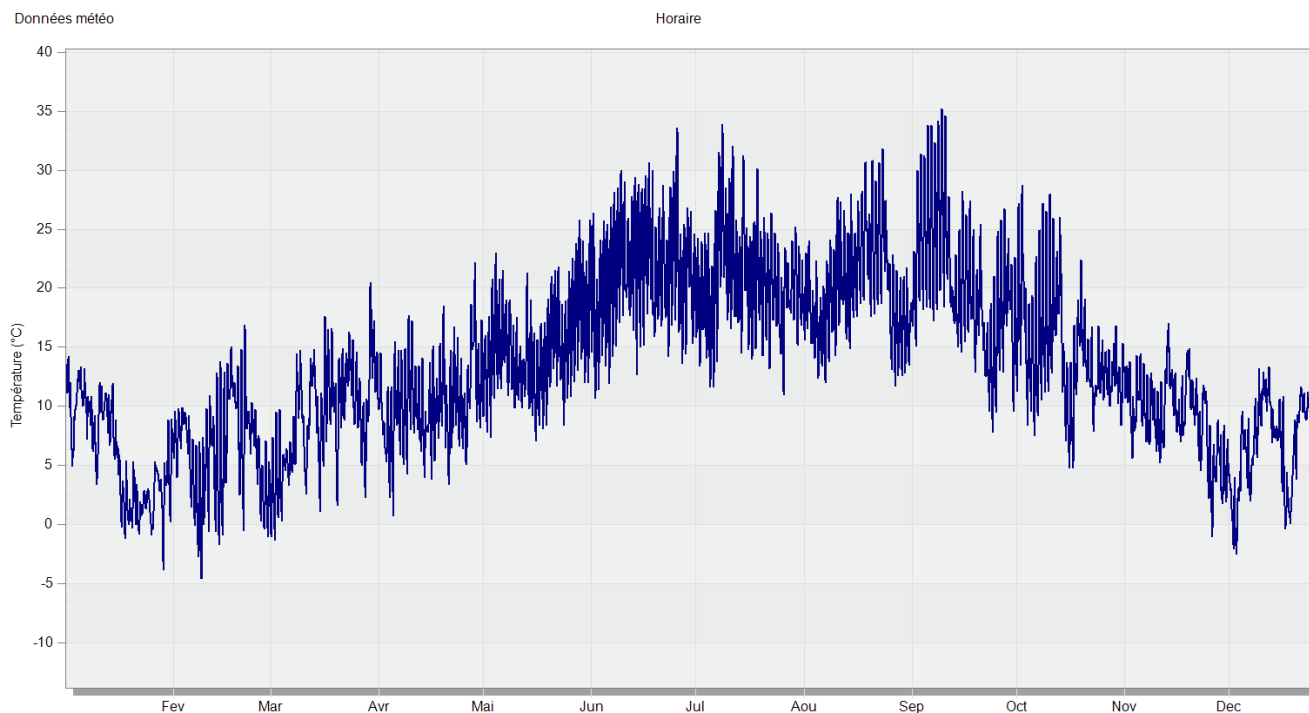
Les simulations ont été réalisées dans plusieurs espaces représentatifs selon leur typologie et leur sensibilité au rayonnement solaire.

2. HYPOTHESES GENERALES DE MODELISATION

2.1. DONNEES METEO – TEMPERATURE D’AIR SECHE

La STD a été réalisée avec le fichier météorologique de Paris Orly (Année 2021).

La distribution horaire de température de ce fichier météo est la suivante



3. APPORTS INTERNES ET SCENARIO DE FONCTIONNEMENT

Pour chaque zone présentant un usage propre, un « Template » est créé regroupant l'ensemble des hypothèses suivantes et leur fonctionnement au cours de la journée : densité d'occupation, température de consigne/réduit pour le chauffage et la climatisation, débit d'air neuf et extraction, puissance d'éclairage et gestion associée, apports internes de chaleur liés aux équipements.

	Chambre	Séjour	Cuisine
Occupation	0,02 Per/m ²	0,02 Per/m ²	0,02 Per/m ²
Métabolisme	130 W/pers	130 W/pers	130 W/pers
Eclairage	2 W/m ²	2 W/m ²	2 W/m ²
Apports internes	2 W/m ²	90 W/m ²	

4. HYPOTHESES D'ETUDES DE FANGER

4.1. TEMPERATURES DE CONSIGNE

Les jours ouvrés en occupation la température de consigne de chauffage est de 20°C.

4.2. ACTIVITE

Métabolisme

Le niveau d'activité d'un individu se mesure en « met » et est égale à 58.2 W/m² de surface corporelle en position assise inactive (une personne adulte possède une surface corporelle moyenne de 1.8 m² pour les hommes et 1.6 m² pour les femmes). La chaleur métabolique est essentiellement dégagée sous forme de chaleur sensible et le reste sous forme de chaleur latente et de rayonnement.

L'évolution du métabolisme du corps en fonction de l'activité se traduit par une augmentation ou diminution de chaleur à évacuer. Plus l'activité est physique, plus la chaleur à évacuer est importante. On quantifie la chaleur échangée par un flux thermique (met).

Dans notre cas, les occupants auront un métabolisme de type « Activité sédentaire », on peut considérer que celui-ci est d'environ 1,2 met (72 W/m²).

Activité			Homme	Femme
	met	W/m ²	W	W
Repos couché	0,8	48	86	77
Repos assis	1	60	108	96
Activité sédentaire (bureau, domicile, école, laboratoire)	1,2	72	130	115
Activité légère debout (achat, industrie légère)	1,6	96	173	154
Activité moyenne debout (vendeur, travail, ménage, travail sur machine)	2	120	216	192
Marche à plat <2km/h	2	120	216	192
Marche à plat <3km/h	2,4	144	259	230
Marche à plat <4km/h	2,8	168	302	269
Marche à plat <5km/h	3,4	204	367	326
Travail physique soutenu	3,8	228	410	364

4.3. HABILLEMENT

La résistance thermique des vêtements joue un rôle important dans le bilan thermique d'un individu. D'un point de vue du confort thermique du corps humain, les habits sont l'équivalent de l'isolation thermique d'une maison. On quantifie le niveau d'habillement avec une résistance thermique (clo).

Niveau d'habillement		Résistance thermique [clo]
Nu	-	0,0
Maillot de bain	-	0,1
Tenue tropicale	Short, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et sandales	0,3
Tenue d'été	Pantalon léger, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et chaussures	0,5
Tenue légère	Chemise de travail en coton à manches longues, pantalon de travail, chaussettes de laine et chaussures	0,7
Tenue intérieure en hiver	Chemise à manches longues, pantalon, pull-over à manches longues, chaussettes épaisses et chaussures	1,0

4.4. VITESSE DE L'AIR

La quantification du confort hygrothermique nécessite également la connaissance de la vitesse de l'air.

En hiver, conformément aux dimensionnement des système, l'étude sera réalisée avec **0.15 m/s** en période hivernale et estivale.

4.5. METHODOLOGIE D'ANALYSE

4.5.1. Période hivernale et mi- saison

Pour cette période, la consigne de température est fixée à 20°C, le confort de l'occupant est maintenu en ajustant son niveau d'habillement, choisi en fonction de la température extérieure (1.1 clo à 0.7 clo). L'occupant peut-être en mesure d'enlever ou ajouter une couche de vêtement pour un maintien du confort (+/- 0.1 clo en hiver et +/- 0.2 en mi-saison).

4.5.2. Période estivale

Pour cette période, un clo minimal de 0.5 est fixé.

5. CRITERES DU CONFORT THERMIQUE DANS ACTIVE HOUSE

5.1. VARIATIONS DE TEMPERATURE

L'objectif est de limiter les variations brusques de température à l'intérieur :

- Éviter les surchauffes en été grâce à une conception bioclimatique (ombrages, ventilation naturelle, inertie thermique).
- Réduire les pertes thermiques en hiver par une bonne isolation et une étanchéité à l'air optimales.
- Les plages de températures recommandées sont décrites ci-dessous

Pour les pièces/espaces des bâtiments sans climatisation mécanique et disposant de possibilités adéquates de ventilation naturelle (transversale ou par cheminée), **les températures intérieures maximales de fonctionnement sont :**

1. $T_{i,o} < 0,33 \times T_{rm} + 20,8 \text{ °C}$
2. $T_{i,o} < 0,33 \times T_{rm} + 21,8 \text{ °C}$
3. $T_{i,o} < 0,33 \times T_{rm} + 22,8 \text{ °C}$
4. $T_{i,o} < 0,33 \times T_{rm} + 23,8 \text{ °C}$

(T_{rm} est la température extérieure moyenne glissante, telle que définie au paragraphe 3.12 "Température extérieure moyenne glissante" de la norme EN 16798-1.)

Les températures intérieures minimales de fonctionnement sont :

1. $T_{i,o} > 21\text{°C}$
2. $T_{i,o} > 20\text{°C}$
3. $T_{i,o} > 19\text{°C}$
4. $T_{i,o} > 18\text{°C}$

La plage de tolérance augmente à mesure que la catégorie de confort diminue :

Catégorie	Niveau de confort	Explication
Catégorie I	Très élevé	Pour des espaces sensibles (crèches, hôpitaux, maisons de retraite) où le confort doit être excellent.
Catégorie II	Élevé	Confort pour la majorité des occupants, dans les bâtiments neufs et rénovés.
Catégorie III	Acceptable	Niveau acceptable pour les bâtiments existants ou certaines conditions climatiques plus sévères.
Catégorie IV	Toléré	Niveau de confort très large, utilisé seulement en cas de situations exceptionnelles (limitations techniques, coût élevé, rénovation difficile).

6. ETUDE AVANT TRAVAUX

6.1. HYPOTHESE SPECIFIQUES

6.1.1. Propriétés d'enveloppe

Performance des parois opaques

Les caractéristiques techniques de l'enveloppe utilisées dans l'étude de confort sont renseignées ci-dessous :

Surface concernée	Composition	Résistance thermique (m ² .K/W)	Performance
Mur extérieur	Brique (22cm) Sans isolation rapportée	0.43	●
Plancher bas	Structure béton sans isolation	2.33	●
Combles	Structure bois Isolation faible de 100 mm âgée de plus de 10 ans	2.72	●

Performance des façades vitrées

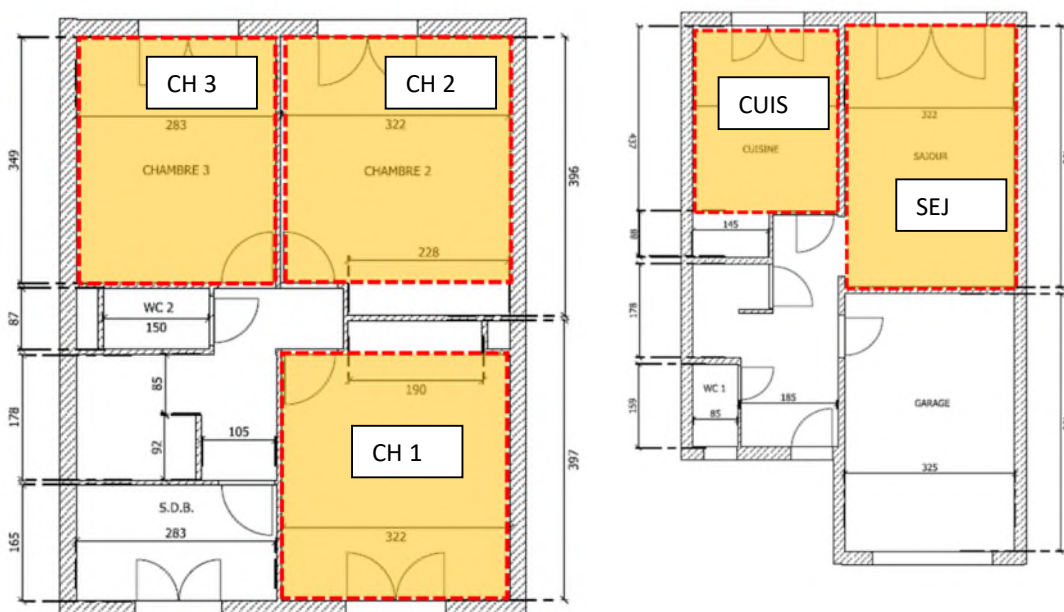
Surface concernée	Uw (W/m ² .K)	TLg	Fg	Protection solaire	Visuel	Performance
Menuiseries extérieures (Double vitrage)	2,4	80	70	Stores ext	/	●

Infiltration

- Perméabilité à l'air de l'enveloppe sous 4 Pa : 1.7 m³/h.m²

6.1.2. Identification des zones d'étude

Les zones d'études sont identifiées ci-après :

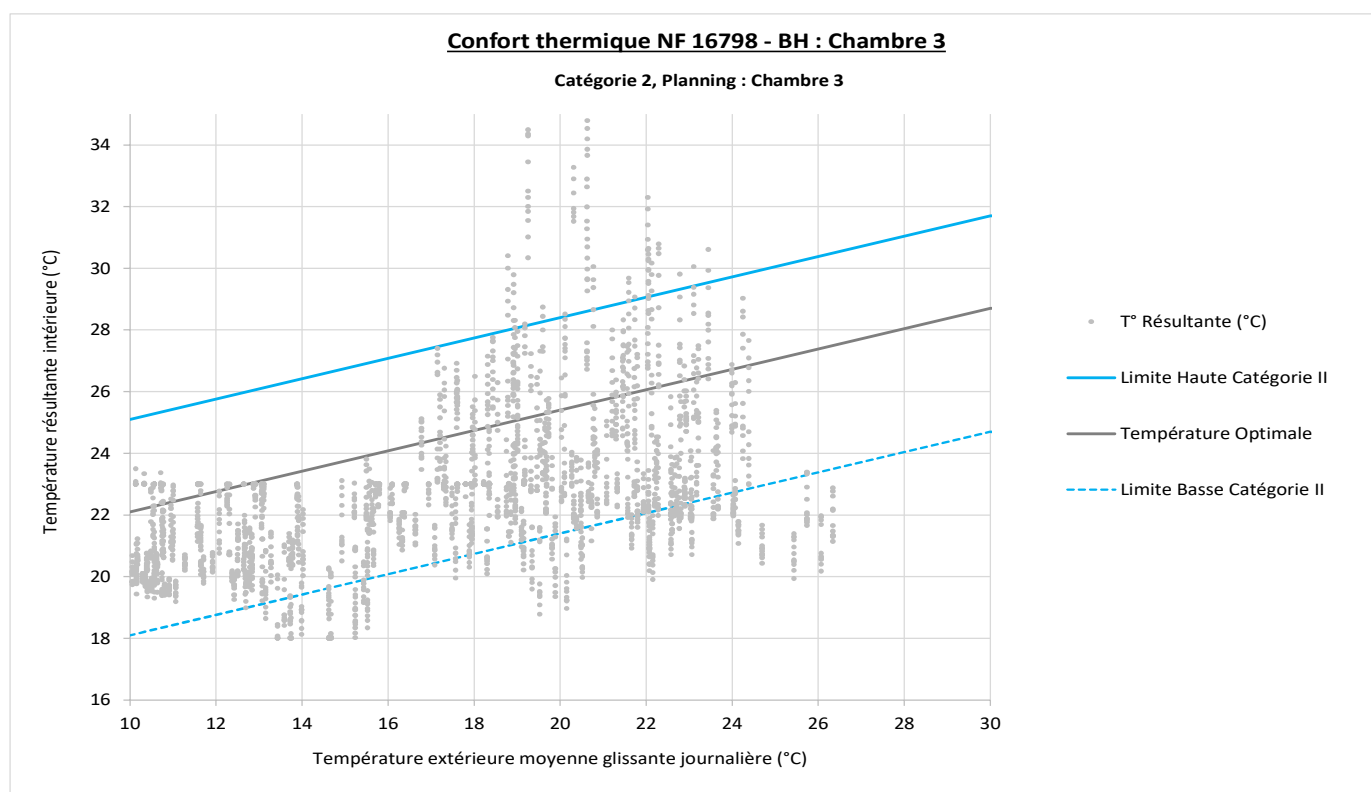


6.2. RESULTATS DE L'ETUDE DE BASE SELON LA NORME NF EN 16798-1

Zone représentative	Surface (m²)	Catégorie de référence	Dépassement (%)				Catégorie Active House
			Limite haute	Limite basse	Limite haute	Limite basse	
Chambre 1	12,0	2	71 h	407 h	3,1%	17,8%	4
Chambre 2	13,0	2	65 h	549 h	2,6%	22,1%	4
Chambre 3	11,0	2	68 h	323 h	3,3%	15,6%	4
Séjour	18,0	2	62 h	44 h	2,5%	1,4%	4
Cuisine	12,0	2	19 h	9 h	2,9%	1,3%	4

6.3. REPRESENTATION GHRAPHIQUE DES RESULTATS

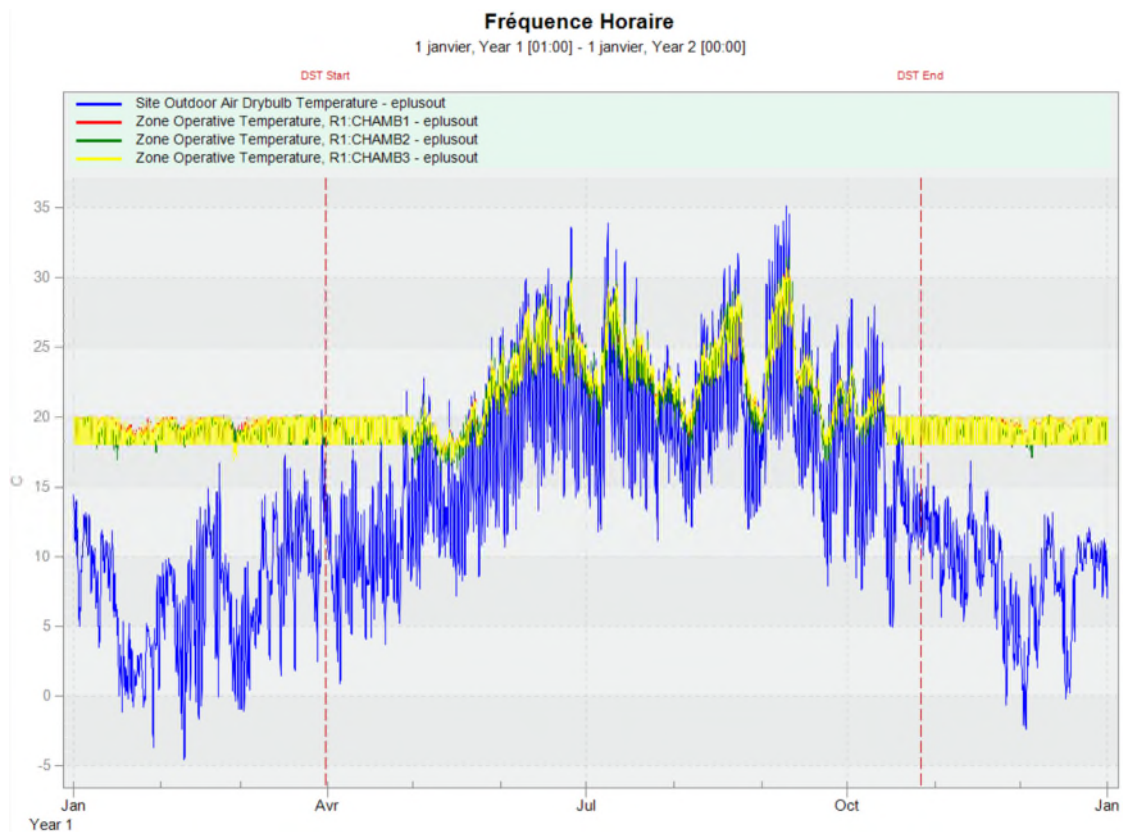
Exemple de représentation des températures sur la Chambre 3 :



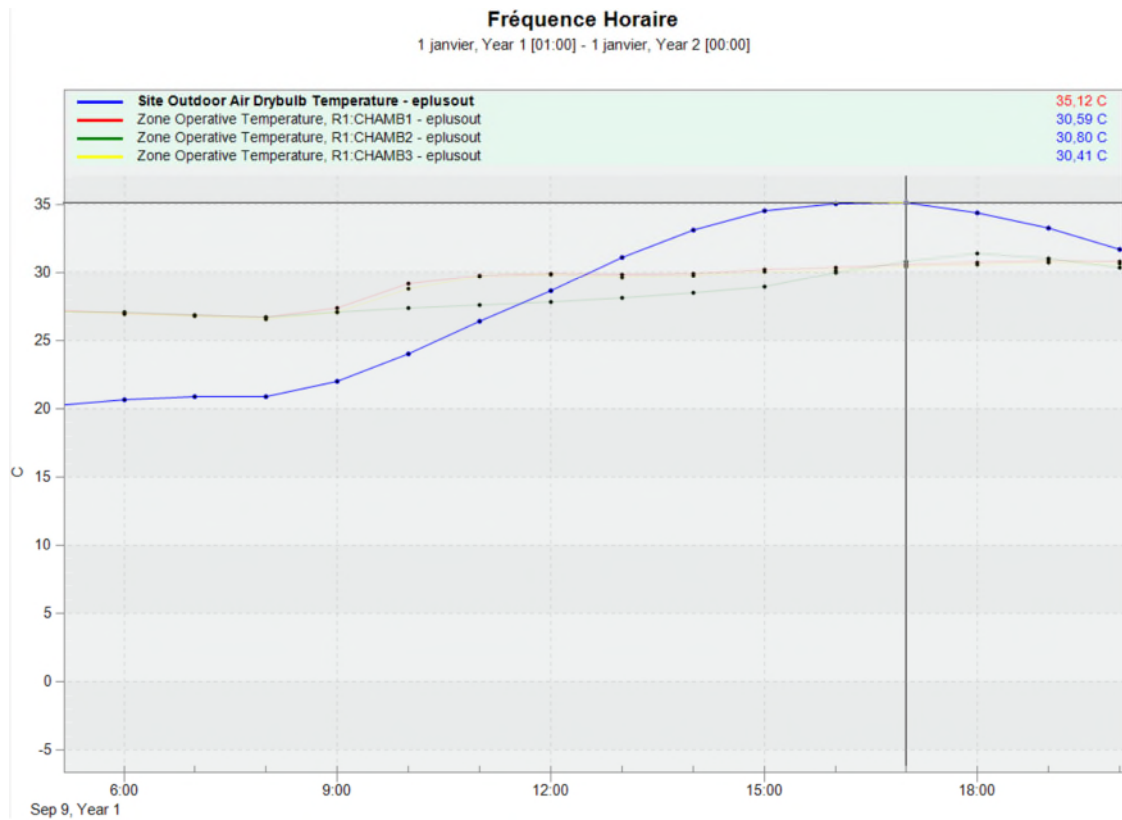
Lignes de référence :

- La courbe grise représente la température intérieure optimale attendue selon la température extérieure.
- La courbe bleue pleine représente la limite haute de confort Catégorie II.
- La courbe bleue pointillée représente la limite basse de confort Catégorie II.

L'analyse des températures opératives montre que le niveau de confort thermique requis n'a pas été atteint pour respecter les critères de la Catégorie II définis par la norme NF EN 16798-1. En effet, les écarts observés dépassent les seuils de température recommandés, indiquant une sensation d'inconfort pour une part significative du temps d'occupation. Cette situation peut être due à des apports internes excessifs, une ventilation insuffisante ou une inertie thermique inadaptée.



Le graphique ci-dessus représente la température opérative dans les chambres en fonction de la température extérieure sur une année.



Le graphe ci-dessus représente le pique de la température opérative pendant la journée la plus chaude, la température est plus au moins homogène sur l'ensemble des chambres et atteint 30 °C quand il fait 35 °C à l'extérieur, avec un écart de 5°C.

6.4. PISTES POUR ATTEINDRE LE CONFORT THERMIQUE

1. Isolation et étanchéité
 - Utilisation de systèmes d'isolation performants.
 - Réduction des infiltrations d'air froid ou chaud grâce à une bonne étanchéité à l'air.
2. Gestion des apports solaires
 - Optimisation des apports de lumière naturelle tout en réduisant les gains thermiques excessifs en été.
 - Utilisation de vitrages à haute performance (double ou triple vitrage) pour réduire les pertes thermiques.
3. Ventilation et refroidissement passif
 - Intégration de systèmes de ventilation mécanique contrôlée (VMC) ou naturelle pour maintenir une température agréable tout en assurant la qualité de l'air.
 - Priorité donnée aux techniques de refroidissement passif (ventilation traversante, puits canadien, etc.) avant de recourir à la climatisation active.
4. Systèmes de contrôle intelligents
 - Mise en place de capteurs et d'automatisations pour réguler la température intérieure en fonction des conditions extérieures.
 - Exemples : volets motorisés, thermostat intelligent, gestion des stores en fonction de l'ensoleillement.

7. ETUDES APRES TRAVAUX

7.1. HYTPOTHESE SPECIFIQUES

7.1.1. Propriétés d'enveloppe

Performance des parois opaques

Les caractéristiques techniques de l'enveloppe utilisées dans l'étude de confort sont renseignées ci-dessous :

Surface concernée	Résistance Thermique ($m^2.K/W$)	Performance
Mur extérieur	4.5	●
Plancher bas	3	●
Combles	7.4	●

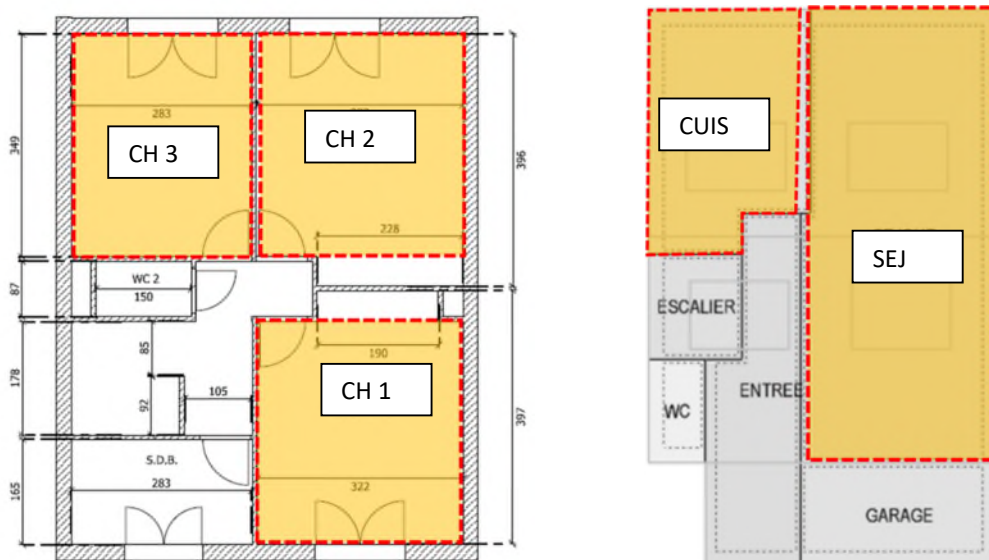
Performance des façades vitrées

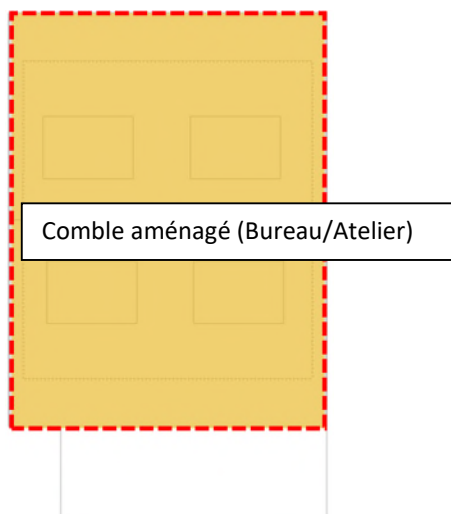
Surface concernée	Uw ($W/m^2.k$)	TLg	Fg	Protection solaire	Performance
Menuiseries extérieures (Double vitrage)	1,3	70	40	Store Ext	●
Ouvrants zénithaux (4 velux FFKF08)	1,3	63	30	Store Ext	●

Infiltration

- Perméabilité à l'air de l'enveloppe sous 4 Pa : 0.6 m³/h.m²

7.1.2. Identification des zones d'étude





7.2. VARIANTES ET RESULTATS

Dans le cadre de l'aménagement des combles, un véritable enjeu de **confort visuel** et **thermique** s'est posé, du fait de l'aménagement de nouveaux espaces de vie en toiture. Conscients de l'impact direct que peuvent avoir les **apports lumineux zénithaux** sur la qualité de l'ambiance intérieure (éblouissement, surchauffe, déficit de lumière selon l'orientation), nous avons mené plusieurs **simulations ciblées**.

Celles-ci ont porté sur des **paramètres clés** tels que le **taux de surface vitrée**, la **taille des ouvrants**, les **orientations Est/Ouest**, ainsi que les **mécanismes de protection solaire**.

L'objectif était de rechercher le **meilleur compromis** entre un **bon niveau d'éclairement naturel** pour maintenir une autonomie lumineuse acceptable, et une **maîtrise des apports solaires** pour éviter l'inconfort thermique. Ce travail d'ajustement fin, mené en parallèle des exigences techniques et architecturales, vise à garantir une **sensation de confort durable** pour les futurs occupants de ces combles nouvellement créés.

Dans ce processus d'optimisation par variantes, nous avons porté une attention particulière à la notion de **confort d'été**, un aspect essentiel dans des espaces situés sous toiture comme les combles. Pour cela, nous avons utilisé la **méthode réglementaire de dépassement de température**, telle que définie dans le cadre de la **RE 2020** et des évaluations thermiques **HQE**.

Cette méthode consiste à calculer, sur l'année, le **nombre d'heures pendant lesquelles la température intérieure dépasse certains seuils de confort** : notamment **26°C** (seuil de vigilance) et **28°C** (seuil d'inconfort marqué). Ces indicateurs permettent d'évaluer le risque de **surchauffe estivale** et l'exposition prolongée des occupants à des températures potentiellement inconfortables, voire problématiques.

En complément, nous avons également observé la **température intérieure maximale atteinte lors de la journée la plus chaude de l'année**, ce qui permet de juger l'efficacité de l'enveloppe thermique (isolation, protection solaire, inertie) et de la stratégie de ventilation.

Ces analyses nous ont permis de tester différentes **configurations d'occultation, d'ouverture, de ventilation naturelle** pour aboutir à une solution équilibrée qui garantit à la fois **une bonne autonomie lumineuse et un confort thermique d'été maîtrisé**.

Le tableau ci-dessous regroupe l'ensemble des variante testées dans le cadre de ce projet.

N°	Élément	Base	Variante	T ≥ 26°C (h/an)	T ≥ 28°C (h/an)	Tint Max (°C)
A	BASE	- 4 velux FFKF08 - Ventilation manuelle (30% combles, R+1 et RDC) - Volet manuel sur consigne 400W/m²	-	412 (16%)	180 (6%)	31,1 2
1	Ventilation nocturne	Ventilation manuelle (30% combles, R+1 et RDC)	Ouverture auto combles (30%) + RDC (3 cm) + manuel R+1 (30%)	387 (14%)	164 (6%)	30,5
2	Ajout masse sol comble	-	Plaques de Fermacell au sol	376 (13%)	150 (5%)	29
3	Ajout masse toit	-	Plaques de placo en plafond des combles	—	—	—
4	Isolation toiture INT	Pas d'ITI sous toiture	Ajout 8 cm laine de bois	404 (14%)	164 (6%)	30
5	Occultation fenêtres de toit	Volets manuels sur consigne 400W/m²	Volets automatiques fermés à 80% (si T° intérieure > 25°C)	409 (15%)	175 (6%)	30,6
6	Isolation façade (ITE)	Polystyrène sur plots (140 mm)	Laine de verre Isoconfort Isover (160 mm)	407 (14%)	175 (6%)	31
B	PROPOSITION B	Ensemble de variantes 1 à 6 avec le vitrage comble 4 velux FFKF08	2× FFKF06 Ouest (1 motorisé + 1 à projection) + 2× MK06 Est (1 motorisé + 1 à projection)	90 (3%)	0 (0%)	27,4
C	PROPOSITION FINALE	PROPOSITION B	Ouverture auto + ouverture manuelle baie salon 19h–22h + volets automatiques	90 (3%)	0 (0%)	27,4
D	PROPOSITION FINALE adaptée	PROPOSITION FINALE	Même scénario que ci-dessus + fichier météo 2019 (plus chaud)	125 (4%)	0 (0%)	28,6
D1	Variante store 1	Volets extérieurs	Occultation velux Ouest : store extérieur (Sws = 0,12 au lieu de 0,06)	151 (4%)	0 (0%)	28,8
D2	Variante store 2	Volets extérieurs	Occultation tous velux : stores extérieurs (Sws = 0,12)	163 (4%)	0 (0%)	28,8
D3	Variante store 3	Volets extérieurs	Occultation velux Est : store extérieur (Sws = 0,12)	132 (4%)	0 (0%)	28,8

Commentaires sur les variantes réalisées :

Variante 1 : Ventilation nocturne - Ouverture automatique des ouvrants combles (30%) + RDC (séjour : 3 cm) + manuel R+1 (30%)

L'automatisation de la ventilation des combles permet un **gain modéré** : -25 h à 26°C, -16 h à 28°C. Température max a baissée à 30,5°C.

- Un système automatique s'assure que les fenêtres s'ouvrent pendant ces heures clés (souvent entre 22h et 6h).
- En manuel, il est rare que les habitants ouvrent toutes les fenêtres la nuit, les automatismes fonctionnent tous les jours, sans dépendre du comportement des usagers.

Variante 2 : Plaques de Fermacell au sol

Amélioration légèrement plus marquée que la ventilation nocturne : -36 h à 26°C, -30 h à 28°C. La température max chute significativement à 29°C. Un bon levier passif.

- Les plaques de Fermacell augmentent l'**inertie thermique** du bâtiment en stockant la chaleur pendant la journée, ce qui **retarde la montée en température** dans les combles. Cette chaleur est ensuite **libérée plus lentement** la nuit, ce qui améliore l'efficacité de la **ventilation nocturne** et réduit les pics de chaleur

Variante 3 : Plaques de placo en plafond des combles

Une amélioration notable du confort d'été grâce à l'augmentation de l'inertie thermique en plafond. Les heures >26°C passent de 412 h (base) à 376 h, et celles >28°C de 180 h à 150 h, soit une réduction de 36 h et 30 h respectivement. La température maximale baisse également de 31,1°C à 29°C, traduisant une atténuation significative des pics de chaleur dans les combles

- **Plaques de placo** augmentent la **masse thermique sous la toiture**, ce qui permet de **ralentir la transmission de chaleur** vers l'intérieur. Cela contribue à **réduire les pics de température** en journée

Variante 4 : Ajout d'ITI sous toiture 8 cm laine de bois

Cette action limite la pénétration de la chaleur extérieure grâce à ses bonnes propriétés isolantes et de déphasage. Elle retarde ainsi le moment où la chaleur atteint l'intérieur, réduisant la surchauffe en journée.

Variante 5 : Volets automatiques fermés à 80% (si T° intérieure > 25°C)

Gain modeste : -3 h à 26°C, -5 h à 28°C. Mais automatisation utile pour garantir l'activation. La température max descend légèrement. Utile en complément, mais effet limité seul.

- Cette action permet de réagir directement au besoin thermique réel du logement. Cette gestion automatique est plus précise, réactive et constante, évitant les oublis ou retards humains, et permet de réduire les apports solaires au bon moment, limitant ainsi la surchauffe.

Variante 6 : Isolation façade (ITE) Laine de verre Isoconfort Isover (160 mm)

Le confort est meilleur car l'inertie thermique plus élevée. Masse volumique très faible 30 kg/m³ contre 110 kg/m³ pour la laine de verre (une capacité meilleure à stocker et restituer de la chaleur)

PROPOSITION B : Ensemble de variantes 1 à 6 avec le vitrage de type 2× FFKF06 Ouest (1 motorisé + 1 à projection) + 2× MK06 Est (1 motorisé + 1 à projection)

Seulement 90 h > 26°C et aucune heure > 28°C. Température maximale réduite à 27,4°C. Très bonne association, d'occultation + orientation + ventilation efficace.

PROPOSITION C : Nous rajoutons à la PROPOSITION B l'ouverture manuelle de la baie salon entre 19h–22h quand les gens sont sur place, cette ouverture améliore peut-être la ventilation, mais effet non mesurable ici.

PROPOSITION D : C'est la **PROPOSITION C (scénario final)** simulé avec le fichier **météo de 2019 plus caniculaire**, plus représentatif d'épisodes de fortes chaleurs : Hausse légère du nombre d'heures > 26°C (+35 h), mais aucune > 28°C, et température max à 28,6°C.

Variante D1 : Remplacement des volets extérieurs par des store extérieur (Sws = 0,12 au lieu de 0,06) à l'Ouest
En remplaçant les volets par des stores, la lumière naturelle est améliorée, mais le confort thermique se dégrade légèrement, surtout sur la façade Ouest très exposée en fin de journée.

Variante D2 : Remplacement des volets extérieurs par des store extérieur (Sws = 0,12 au lieu de 0,06) sur tous les velux
L'impact thermique est accentué, mais de façon modérée car la surface vitrée à l'est est plus petite que celle orientée Ouest.

Variante D3 : Remplacement des volets extérieurs par des store extérieur (Sws = 0,12 au lieu de 0,06) à l'Est uniquement
L'impact est marginal sur le confort car des petites surfaces vitrées à l'Est, et le soleil pénètre le matin à l'est est encore relativement bas, et les températures extérieures sont fraîches.

Hypothèses de la proposition D (finale) :

- **Type de vitrage :** 2× FFKF06 Ouest (1 motorisé + 1 à projection) + 2× MK06 Est (1 motorisé + 1 à projection)
- **Ventilation nocturne :** la ventilation naturelle est activée lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure et que celle-ci est supérieure à 24°C.

Les ouvrants des combles seront ouverts automatiquement à 30% de la surface maximale d'ouverture, ce qui représente 0,56 m². Les ouvrants du R+1 (chambres) s'ouvrent manuellement à 30% de la surface d'ouverture, ce qui représente 0,57 m². L'ouvrant du séjour au RDC s'ouvre automatiquement de 3 cm, ce qui représente une surface de 0,14 m² d'ouverture et manuellement à 50% entre 19h et 22h quand les occupants sont présents, représentant une surface d'ouverture d'environ 2,4 m².

- **Protections solaire extérieures :** Ces volets sont motorisés et pilotés par une sonde de température intérieure. Lorsqu'elle détecte que la température intérieure dépasse un seuil de 25°C, elle déclenche automatiquement la fermeture partielle des volets à 80%.

80% de fermeture permet de réduire significativement les apports solaires directs (ceux qui pénètrent à travers le vitrage et surchauffent l'intérieur). En même temps, cela conserve un apport de lumière naturelle, et maintient une certaine ventilation si les fenêtres sont ouvertes.

7.3. RESULTATS DU SCENARIO FINAL

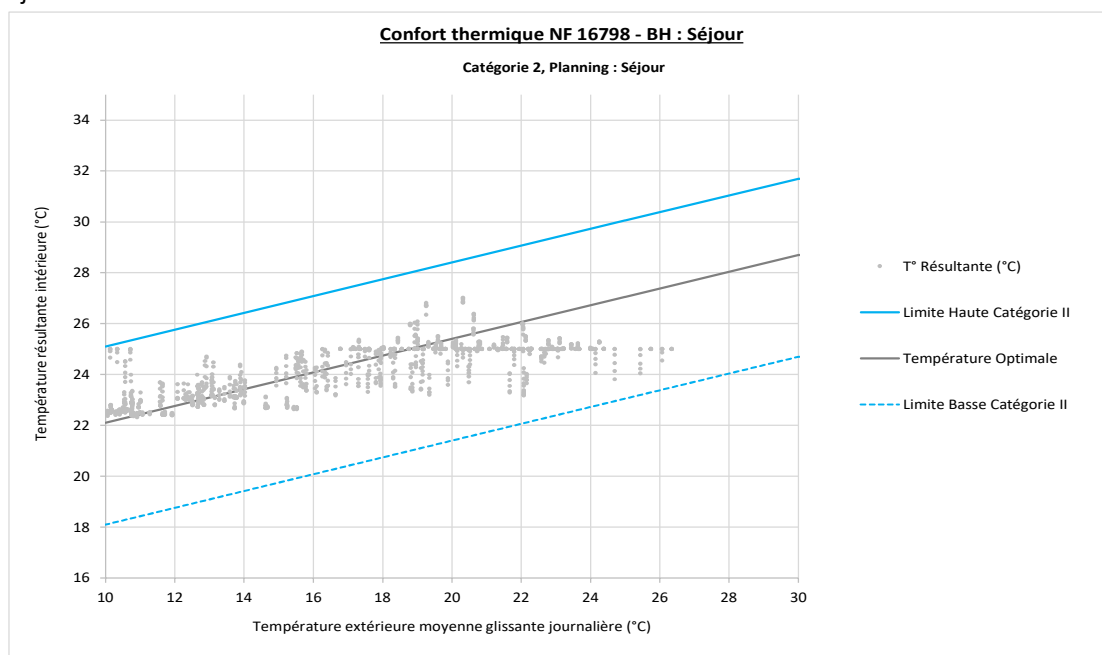
Les résultats ci-dessous sont donnés pour le scénario retenu à l'issu des différentes études, à savoir la proposition D décrite dans la partie précédente.

7.3.1. Résultats de l'étude selon la norme NF EN 16798-1

Zone représentative	Surface (m²)	Catégorie de référence	Dépassement (%)				Catégorie Active House
			Limite haute	Limite basse	Limite haute	Limite basse	
Chambre 1	12,0	2	3 h	0 h	0,1%	0,0%	2
Chambre 2	13,0	2	2 h	0 h	0,1%	0,0%	2
Chambre 3	11,0	2	3 h	0 h	0,1%	0,0%	2
Séjour	26	2	0 h	0 h	0,0%	0,0%	1
Cuisine	12,0	2	0 h	0 h	0,0%	0,0%	1
Comble	25	2	11 h	0 h	0,7%	0,0%	3

7.3.2. Representation graphique des resultats

Exemple : Séjour



Lignes de référence :

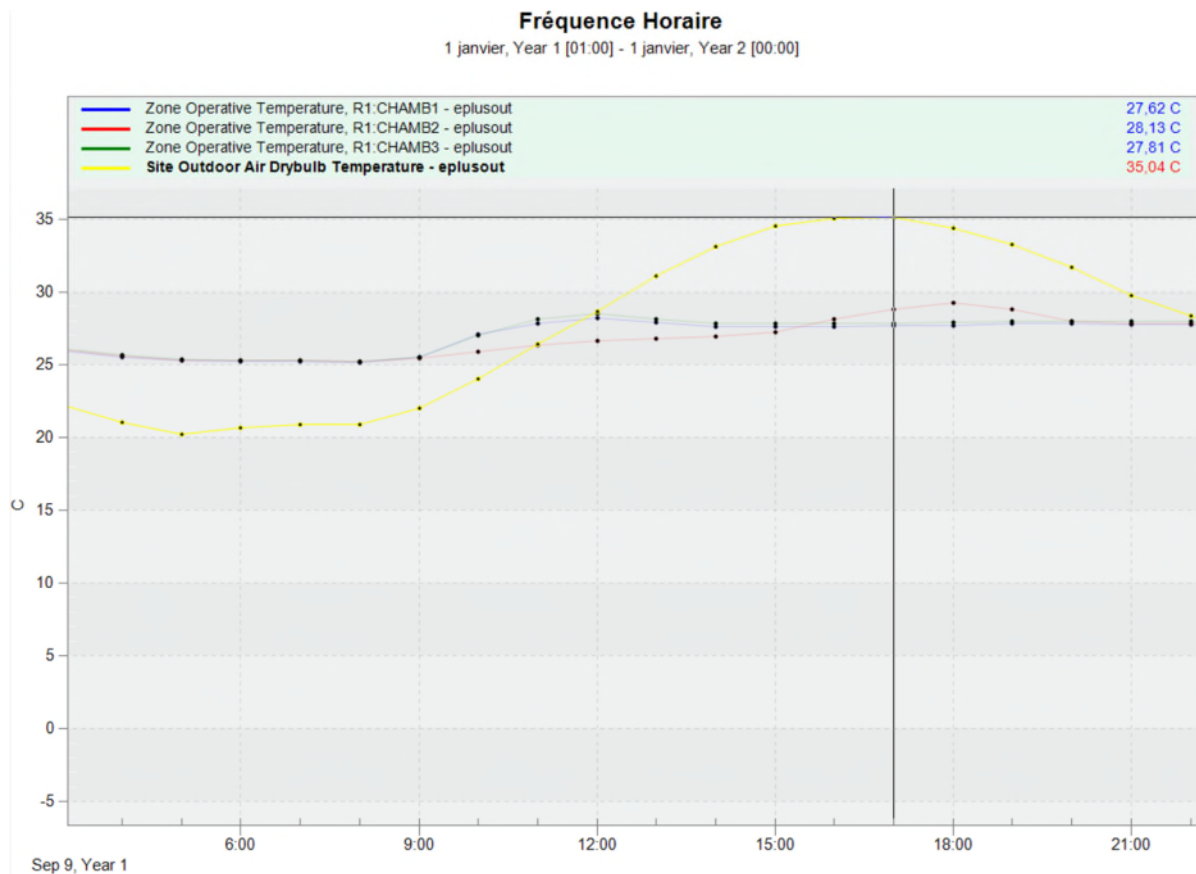
- La courbe grise représente la température intérieure optimale attendue selon la température extérieure.
- La courbe bleue pleine représente la limite haute de confort Catégorie II.
- La courbe bleue pointillée représente la limite basse de confort Catégorie II.

Sur les simulations après rénovation lourde de la maison, le confort thermique a été considérablement optimisé et répond désormais aux critères de la **Catégorie II** définis par la **norme NF EN 16798-1**. Grâce aux améliorations apportées, notamment une isolation renforcée, une meilleure gestion du chauffage et une ventilation optimisée, l'environnement intérieur offre des conditions thermiques plus stables et agréables.

Durant la **majorité du temps d'occupation**, les températures ressenties varient entre **20°C et 26°C**, garantissant un confort thermique conforme aux exigences de la norme. Ces ajustements assurent un bien-être optimal aux occupants en maintenant une température homogène et régulée.

De plus, les solutions mises en place permettent d'éviter toute surchauffe estivale, assurant ainsi un confort optimal en toute saison.

Le graphe ci-dessus représente la température opérative dans les chambres en fonction de la température extérieure sur une année.



Le graphe ci-dessus représente la température opérative dans les combles en fonction de la température extérieure pendant la journée la plus chaude dans l'année.

Après les travaux de rénovation, les températures ressenties ont nettement diminué de **2°C à 2,5°C**, permettant ainsi de limiter la **surchauffe estivale**. Désormais, la température opérative dans les chambres ne dépasse plus 27,8°C, améliorant significativement le confort thermique des occupants.