

**Bureau de conseil coopératif spécialisé
dans l'accompagnement des démarches liées à la sobriété énergétique**

SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE -PHASE APD

*Rénovation et réorganisation des locaux du
Conservatoire des Espaces Naturels du Limousin
Partie maison existante rénovée*



Table des matières

Préambule.....	3
<i>Contenu du document.....</i>	3
Introduction.....	3
Méthode.....	3
<i>Objet de l'étude.....</i>	4
Contexte	4
Objectif de performance énergétique.....	4
Objectifs concernant la robustesse à la surchauffe	5
Localisation et caractéristiques du terrain.....	5
Masque lointain.....	5
Masques proches.....	6
Hypothèses de modélisation.....	7
<i>Caractéristiques énergétiques du bâti</i>	7
Parois.....	7
Complément d'isolation des murs extérieurs :.....	7
Isolation des planchers bas :.....	8
Isolations des toitures :.....	8
Vitrages	8
Ponts thermiques.....	9
<i>Scénarios d'apports internes</i>	9
Occupation moyenne du bâtiment.....	9
Scénario d'apports internes.....	10
<i>Autres hypothèses.....</i>	10
Température étudiée.....	10
Protections solaires.....	10
Infiltrations.....	10
Résultats – besoins de chauffage.....	11
<i>Répartition des déperditions.....</i>	11
<i>Besoin de chauffage.....</i>	12
Scénario de base – scénario +2°C.....	12
<i>Consommations énergétiques prévisionnelles.....</i>	13
Estimations des consommations par poste.....	13
Estimation des consommations par type d'énergie.....	13
Part des énergie renouvelables dans la consommation totale.....	13
Note de calcul thermique RT existante Th C-E ex.....	14
<i>Consommations énergétiques réglementaires avant et après travaux.....</i>	14
<i>Émissions de CO2 réglementaires avant et après travaux.....</i>	15
<i>Synthèse standardisée de l'étude thermique réglementaire.....</i>	15
Résultats – robustesse à la surchauffe.....	16
<i>Résultats généraux.....</i>	16
<i>Comportement avec actions correctives.....</i>	17
Bureaux dans les combles ouest.....	17
Occultation des velux en toiture.....	18
Surventilation nocturne.....	18
Accès à l'éclairage naturel.....	20
Synthèse.....	21
<i>Conclusion.....</i>	21

Contenu du document

Introduction

Nous tenons à souligner que les résultats présentés dans ce rapport correspondent à des hypothèses de modélisation. Un bâtiment est un système thermique dynamique sensible aux sollicitations extérieures et intérieures, c'est à dire principalement aux conditions météorologiques et aux apports internes des logements. Des sollicitations très différentes de celles modélisées dans cette étude entraînent inévitablement un comportement thermique du bâtiment très différent.

Ce document présente les principaux résultats concernant le confort d'été et les besoins de chauffage évalués sur le projet de rénovation des locaux du siège du CEN, afin de valider les niveaux de confort du bâtiment.

La démarche adoptée s'organise autour de deux éléments :

- En l'absence de données précises sur les puissances dissipées (équipements audio-visuels et électroménager par exemple), l'utilisation de scénarios « standards » basés sur notre expérience,

- Au lieu d'une tentative, par essence illusoire, de simulation de « cas réels », une approche des « pires cas » envisageables, que ce soit en termes de climat (utilisation de fichiers caniculaires) ou de puissances dissipées. La méthodologie générale répond aux règles de l'art en cours concernant les simulations thermiques dynamiques, réalisées grâce au logiciel Pleiades + Comfie (Izuba Energies). Nous faisons le choix de ne pas submerger le lecteur sous des chiffres inutiles à sa compréhension des enjeux.

Il va de soi que nous tenons à disposition tout complètement d'information, fichier de calcul pour vérification, etc.

Méthode

Cette étude a été menée par modélisation et simulation dynamique du projet à partir des plans architecte. Les simulations reposent sur l'utilisation du logiciel Pléiades-Comfie développé par Izuba.

Cet outil permet une saisie en 3 dimensions du projet, en respectant les finesses architecturales, casquettes, modénatures, ... et en prenant en compte les masques proches et lointains.

Le logiciel nécessite des données d'entrée regroupant l'ensemble des hypothèses prises pour le projet. Les hypothèses nécessaires au bon déroulement de la simulation sont :

- les caractéristiques d'enveloppe :
 - o isolation des parois,
 - o isolation des vitrages et des menuiseries,
 - o facteurs solaires des parois translucides,
 - o inertie
 - o ...
- les conditions d'occupation
 - o nombre de personnes et période d'occupation,
 - o puissance et gestion de l'éclairage,
 - o débit et gestion de ventilation,
- les conditions météorologiques :
 - o températures extérieures,
 - o rayonnement solaire direct et indirect,
- les conditions de chauffage (consignes et gestion du traitement thermique)

Les « données de sorties » fournies par le logiciel permettent de déterminer, dans l'ensemble du bâtiment, l'évolution horaire de diverses valeurs dont la température résultante moyenne pour l'étude du confort.

L'interprétation des résultats permet alors d'évaluer le confort thermique des locaux en référence au fichier météorologique de référence.

Objet de l'étude

Contexte

Le CEN, Conservatoire des Espaces Naturels Limousin souhaite réhabiliter son siège afin d'adapter le bâtiment au fonctionnement de la structure (accueil des salariés, bureaux plus fonctionnels, espace déjeuner adapté à la taille de l'équipe...).

Objectif de performance énergétique

Le projet s'inscrit dans une candidature à l'appel à projet de la Région Limousin « Réhabilitation énergétique des bâtiments publics ».

La maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre souhaite répondre au critère de performance énergétique « étiquette A ou B ». Ce qui correspond à une consommation conventionnelle du bâtiment inférieure à 110 kWh/m².an.

Objectifs concernant la robustesse à la surchauffe

Le programme ne précise aucune demande particulière concernant la robustesse à la surchauffe. Il est néanmoins courant que les bâtiments performants présentent une sensibilité particulière sur ce point. Nous utiliserons donc les règles classiques en la matière, à savoir :

- un critère « moins de 40 heures annuelles d'occupation à plus de 27°C » pour les surchauffes
- une simulation caniculaire spécifique
- si nécessaires, des simulations spécifiques de « crash test » pour les détections de surchauffes liées à l'usage.

Localisation et caractéristiques du terrain

Le bâtiment considéré est situé 6 ruelle du Theil à St Gence.

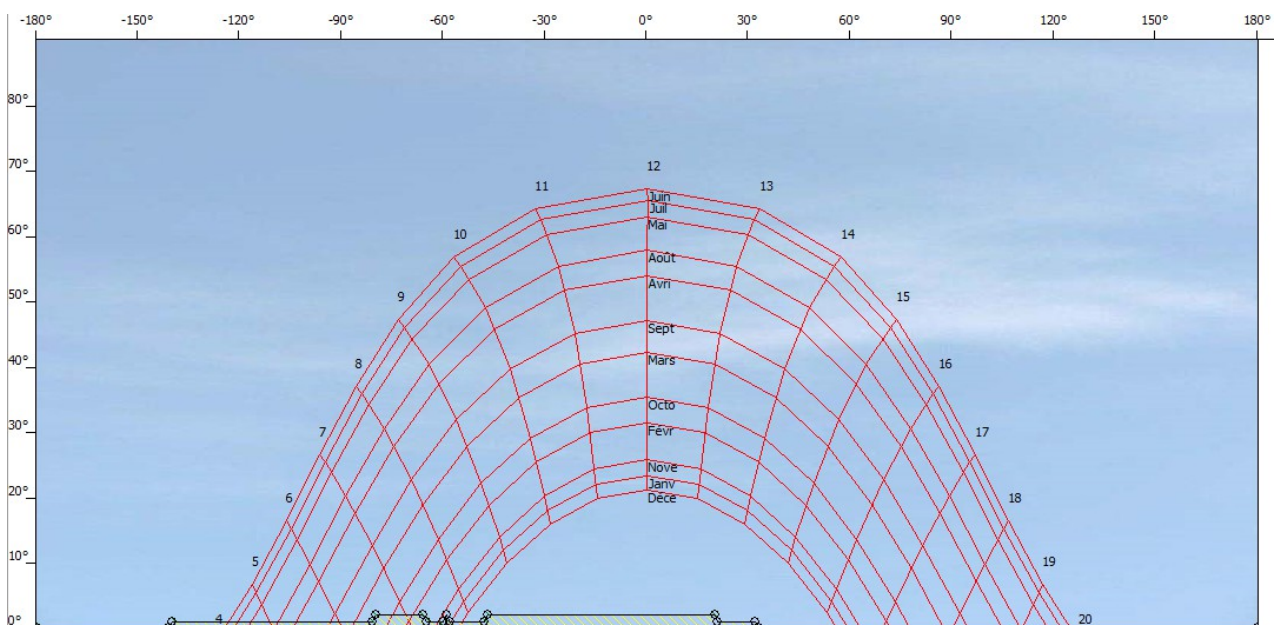
Les coordonnées géographiques du terrain sont :

- Latitude : 45° 53' 18" N
- Longitude : 1° 08' 08" E

Le terrain est situé à une altitude de 350 m.

Masque lointain

Ci dessous le masque lointain créé par le relief. Il est négligeable.



Masques proches

Les masques proches, pris en compte dans la simulation thermique dynamique sont très impactant.
Ils sont détaillés dans le diagnostic du bâtiment réalisé en août 2015.

Hypothèses de modélisation

Les hypothèses de modélisations nécessaires à une modélisation peuvent entrer dans trois catégories distinctes :

- Données constructives : elles correspondent aux éléments fournis par l'architecte et disponibles à ce stade du projet. Les principales caractéristiques sont rappelées ci-dessous. Lorsqu'elles ne sont pas connues, les données utilisées doivent être considérées comme des valeurs guides ;
- Données climatiques : le fichier météo de référence utilisé en base est le fichier climatique RT2012 pour la zone de Mâcon (zone H1c). Lorsque c'est nécessaire, nous utilisons un fichier spécifique caniculaire, et mentionnons alors son utilisation ;
- Données d'usage : les principales données concernant l'occupation sont issues de la visite de site et de l'échange avec les usagers du bâtiment : le scénario d'occupation est un modèle, il peut être évolutif et enrichi par la maîtrise d'ouvrage.

Caractéristiques énergétiques du bâti

Parois

R représente la résistance thermique de la paroi en m^2K/W .

e représente l'épaisseur de la paroi en cm.

Les compositions des parois du bâtiment existant sont détaillées suite à un relevé sur terrain dans le rapport de diagnostic.

La réhabilitation du bâtiment consiste en les aménagements suivants :

Complément d'isolation des murs extérieurs :

	Composition	e (cm)	R rapporté ($m^2.K/W$)
Isolation par l'extérieur du bâtiment principal sur les façades nord, ouest et sud	<i>Compositions existantes, dépose des isolants intérieurs existants.</i> <i>Laine de bois</i>	 <i>16</i>	 4.2

Isolation de la salle de réunion par l'intérieur (futur accueil et secrétariat) façades nord, est et sud	Composition existante laine de bois	16	4.2
Complément d'isolation par l'intérieur du bureau est en combles	Composition existante laine de bois	16	4.2

Isolation des planchers bas :

	Composition	e (cm)	R rapporté(m².K/W)
Tous les planchers	Dalle existante liège plancher bois	8	2.19

Isolations des toitures :

On ne touche pas à l'isolation de la toiture de l'ex-saloire (bureau nord 1er étage) ainsi qu'à celle du bureau ouest des combles, réhabilitées récemment et performantes.

	Composition	e (cm)	R rapporté(m².K/W)
Toiture archives (futurs WC)	Composition existante laine de bois déroulée	7 25	6.58
Toiture combles est	Composition existante complément d'isolation en laine de verre	1 10	3.12

Vitrages

Les menuiseries changées en 2012 sont conservées. Certaines menuiseries sont supprimées, les portes d'entrée sont remplacées.

Les menuiseries du bureau nord au premier étage sont également remplacées par des menuiseries aux caractéristiques suivantes :

	Ug (caractérise le vitrage)	Uw (caractérise l'ensemble vitrage + menuiserie)	Sw (facteur solaire moyen)	Psi intercalaire
	W/m².°C	W/m².°C		W/m.°C
Double vitrage 4/16/4 Argon Menuiseries bois à isolation renforcée (caractéristiques type Optimil de Millet)	1.1	1.4	0.37	0.04 (système Warm Edge, à bord chaud)

Ponts thermiques

Les ponts thermiques sont pris en compte dans l'étude, selon le catalogue réglementaire.

Scénarios d'apports internes

Ce que l'on appelle « apports internes » regroupe 2 types d'apport de chaleur dans le logement :

- les apports métaboliques sont liés à la présence des personnes. En effet les personnes dégagent de la chaleur
- les apports par équipements électriques et l'éclairage.

Occupation moyenne du bâtiment

Ci-dessous les occupations des lieux en période « normale » (hors congés).

Les cas « extrêmes » (occupation de la salle de réunion par 20 personnes pendant 4h seront étudiés dans les scénarios afin de servir de « crash test ».

Pièces	Effectifs	Période d'occupation
Bureau 1 personne	1 personne	7h/19h du lundi au vendredi
Bureau 2 personnes	2 personnes	7h/19h du lundi au vendredi
Bureau 3 personnes	3 personnes	7h/19h du lundi au vendredi
Salle de réunion/ réfectoire	10 personnes	12h/14h du lundi au vendredi 2 heures une fois par semaine

Scénario d'apports internes

Les scénarios d'apports internes sont des hypothèses ; ils sont basés sur les relevés de la visite sur site.

.En cas d'équipements prévus différents de ceux utilisés dans l'étude, cela devra être signalé à l'équipe de maîtrise d'œuvre car le comportement thermique des pièces est fortement conditionné par leur équipement.

Pièces	Appareillage	Période d'utilisation
Bureau 1 personne	1 ordinateur (150 W)	7h/19h du lundi au vendredi
Bureau 2 personnes	2 ordinateurs (300 W)	7h/19h du lundi au vendredi
Bureau 3 personnes	3 ordinateurs (450 W)	7h/19h du lundi au vendredi
Salle du serveur	1 photocopieur 1 serveur (300 W)	7h/19h du lundi au vendredi
Cuisine	1 four 1 frigo (500W)	12h/14h du lundi au vendredi

Autres hypothèses

Logiciel utilisé : PLEIADES-COMFIE (Izuba), version 3.5.9.1

Température étudiée

La température étudiée est la température résultante. Elle prend en compte la température de l'air et les températures de parois. Nous utilisons la température résultante car elle est plus proche de la température ressentie que la température de l'air.

Nous avons utilisé sur la STD une température en usage de 20°C, avec un réduit à 17°C en inoccupation.

Protections solaires

Les débords de toit, de balcons et casquettes sont pris en compte comme protections solaires fixes.

Infiltrations

On considère par ailleurs un débit d'infiltration constant de 0,1 vol/h, valeur prudente mais tout à fait réaliste au vu des expériences passées de la maîtrise d'œuvre sur des opérations similaires.

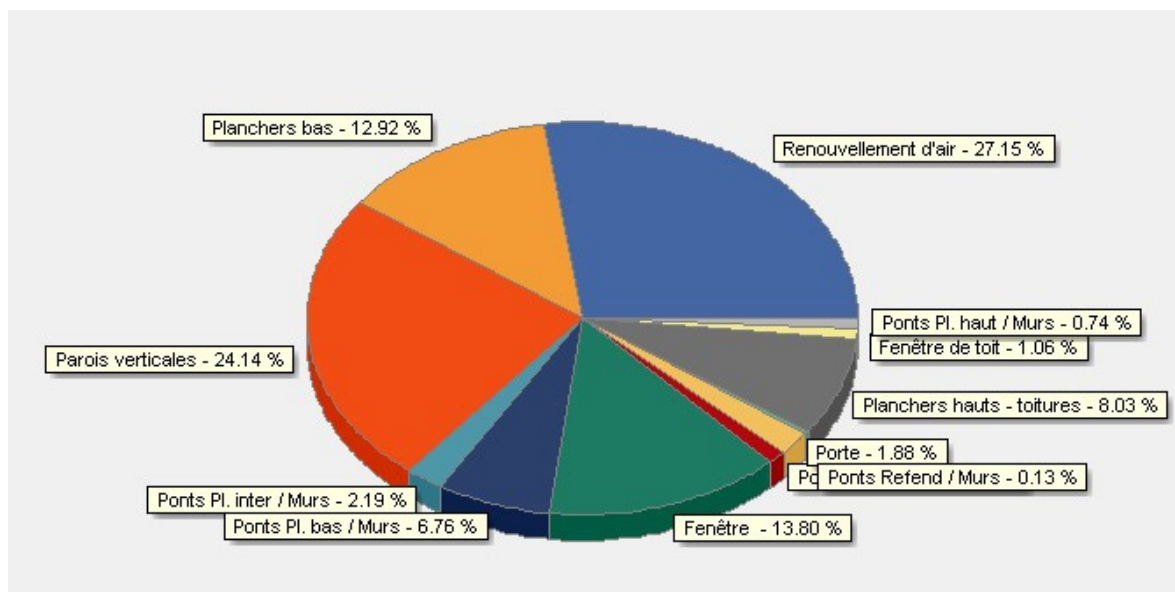
Résultats – besoins de chauffage

Les résultats présentés ici sont exprimés en besoin de chauffage, c'est à dire avant la prise en compte des rendements des systèmes. Ils représentent la performance du bâtiment.

Les valeurs peuvent différer des résultats issus d'une autre méthode de calcul type calcul réglementaire RT2012. En effet, chaque « type » de calcul prend en compte des hypothèses et méthodes de calcul qui leur sont propres. Ce qui compte c'est de regarder les ordres de grandeurs et les variations relatives entre différentes options.

Répartition des déperditions

Le graphique suivant présente la répartition des déperditions thermiques du bâtiment.



Les principales sources de déperditions sont :

- les fenêtres : 14 %
- le renouvellement d'air : 27 %
- les murs : 24 %
- le plancher bas : 12 %

La part des déperditions liée aux ponts thermiques est relativement restreinte ce qui témoigne de la cohérence de la rénovation.

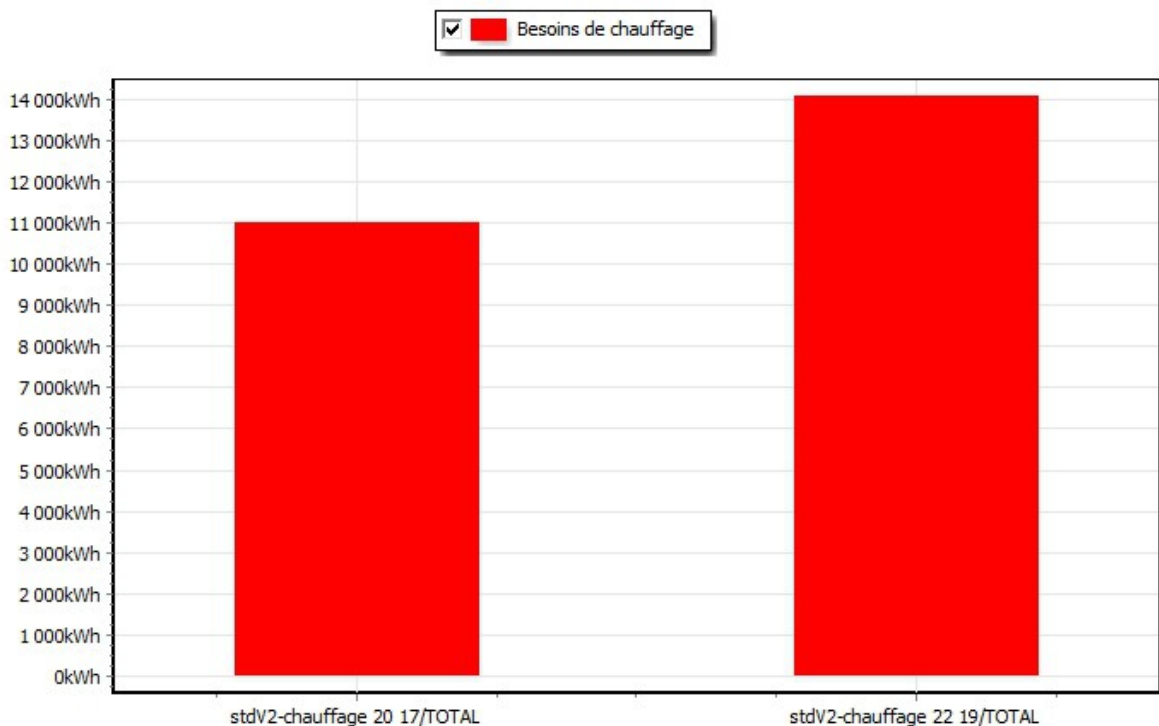
Besoin de chauffage

Scénario de base – scénario +2°C

Le scénario de base pour l'évaluation des besoins¹ de chauffage considère une température en occupation de 20°C, avec un réduit à 17° .

Le scénario +2° est un scénario similaire pour lequel les consignes sont supérieures de 2°C.

Pour l'ensemble de ces simulations, la puissance de chauffage disponible est plafonnée à la puissance calculée selon la norme EN 12831, incluant les renouvellements d'air, les rendements de récupération, les infiltrations et un coefficient de surpuissance de 5 %.



Les besoins de chauffage² sur le scénario de base sont de l'ordre de 29 kWh/m²/an sur les zones chauffées, soit 10 923 kWh/an sur la partie rénovée, valeur tout à fait cohérente avec les objectifs visés. (Rappelons que le programme imposait d'inscrire le projet dans l'étiquette énergétique A ou B).

- ¹ Rappelons que les « besoins de chauffage » expriment l'énergie utile, avant rendement de production et de distribution. Ils caractérisent donc uniquement la performance d'enveloppe, et diffèrent de la consommation par les rendements des systèmes.
- ² Rappelons que les besoins de chauffage expriment une énergie utile, ne prenant pas en compte les rendements de génération, production, régulation, etc. Une règle classique consiste à majorer de 20 à 30 % les besoins de chauffage pour obtenir une valeur indicative des consommations de chauffage (énergie finale).

A noter qu'une hausse de 2°C des consignes entraîne une hausse de 20 % des besoins (donc des consommations), soit une hausse de 10 % par degré d'écart. **Le domaine de la « maîtrise d'usage » est donc essentiel à la maîtrise des charges d'exploitation du bâtiment.**

Consommations énergétiques prévisionnelles

Estimations des consommations par poste

Chauffage	ECS	Eclairage	Aux ventil.	Aux. génér.	Total (kWh)	Total (kWh/m²)
12 437	1 160	7 000	260	170	21 000	55

Les consommations sont données à titre indicatif en énergie finale. Elles sont issues de calcul réglementaires et peuvent différer de la consommation réelle.

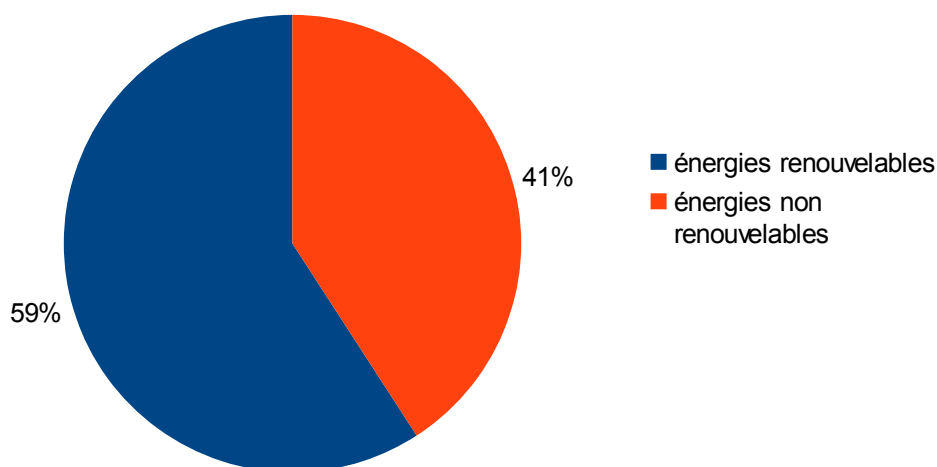
La consommation d'éclairage par exemple ne prend pas en compte le remplacement des équipements actuel par des équipements plus performants, ce qui sera le cas lors de la réhabilitation.

Estimation des consommations par type d'énergie

Bois	Electricité	Total (kWh)
12 437	8 590	21 000

Part des énergie renouvelables dans la consommation totale

Part des énergies renouvelables dans la consommation totale



Note de calcul thermique RT existante Th C-E ex

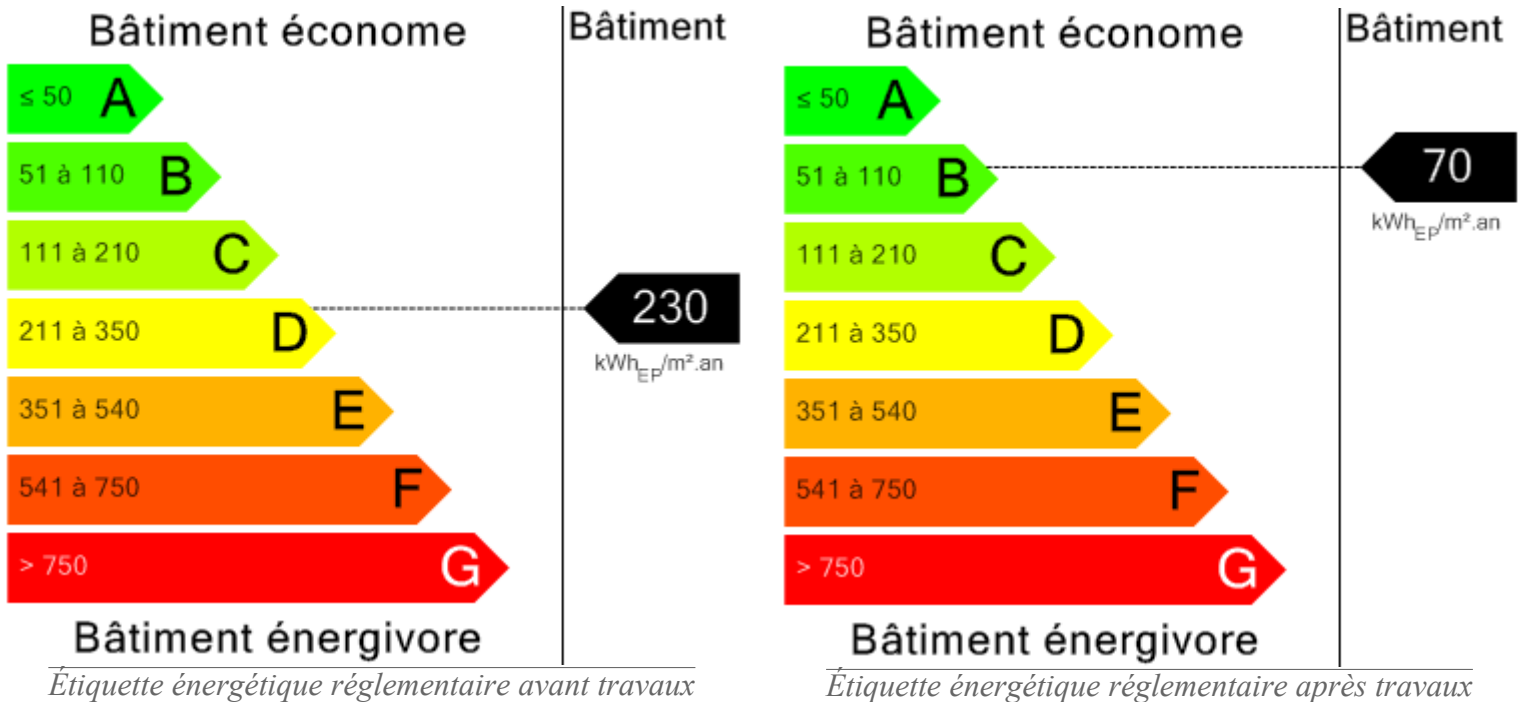
La situation énergétique du bâtiment rénové est comparé à la situation initiale via la méthode Th C-E ex.

Consommations énergétiques réglementaires avant et après travaux

D'après le calcul réglementaire, les Cep (éclairage, chauffage, auxiliaires de génération, auxiliaires de ventilation, l'ECS n'étant pas pris en compte pour un usage de bureaux) sont les suivants :

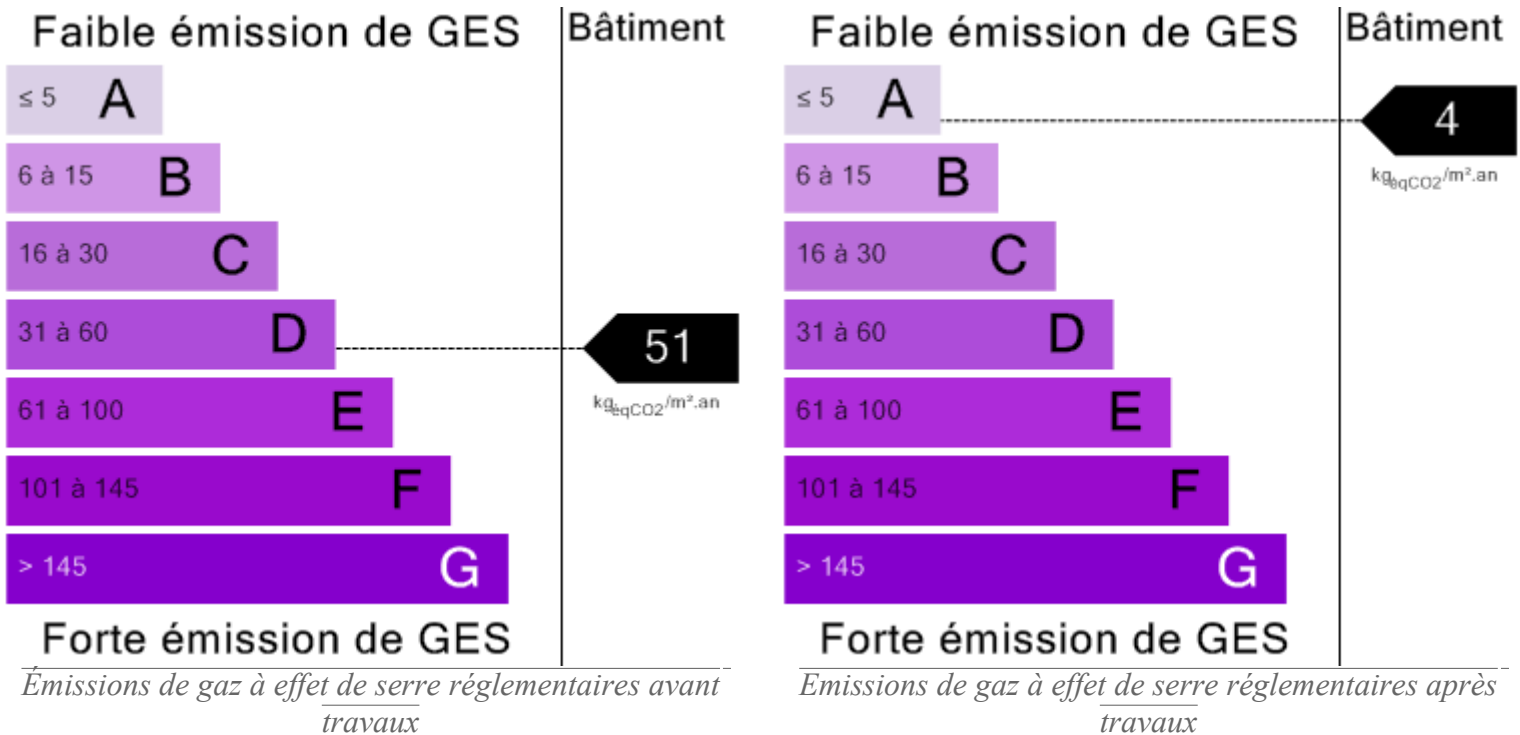
- Cep état initial : 230 kWh_{EP}/m²
- Cep état projet : 70 kWh_{EP}/m².

Les étiquettes énergétiques correspondantes sont les suivantes :



Le niveau de rénovation permet d'atteindre l'étiquette énergétique B, conformément à l'objectif de l'appel à projet.

Émissions de CO2 réglementaires avant et après travaux



Le changement d'énergie pour le chauffage, passant du fioul au bois permet d'améliorer de 3 classes les émissions de gaz à effet de serre du bâtiment.

Synthèse standardisée de l'étude thermique réglementaire

La synthèse standardisée est donnée en Annexe 1.

Résultats – robustesse à la surchauffe

Cette partie présente les principaux résultats et remarques concernant le comportement du bâtiment à la surchauffe.

Résultats généraux

Les courbes ci-dessous représentent les températures dans chaque zone, sur l'une des semaines les plus chaudes de l'année. Elle illustre bien les principaux phénomènes qui agissent potentiellement sur le bâtiment.

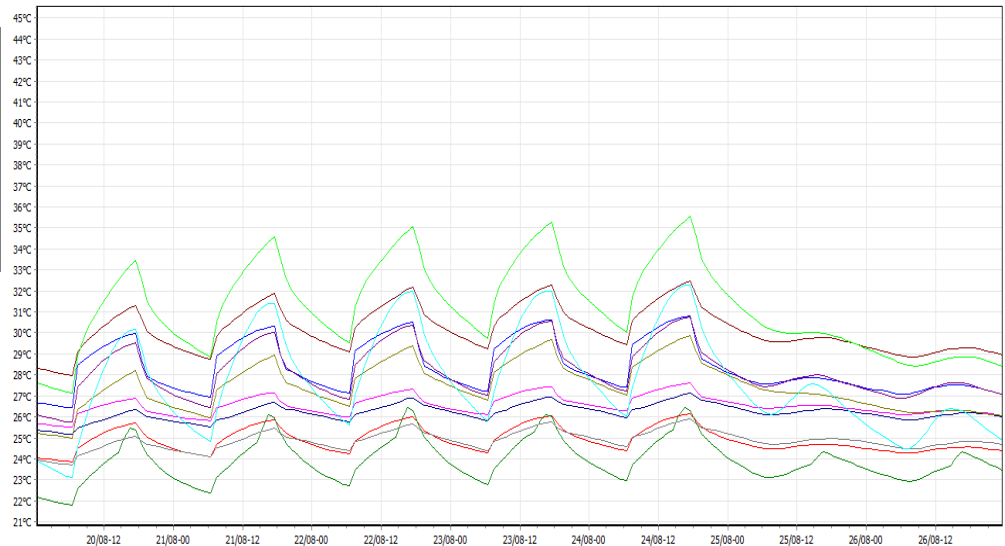
Cette simulation est conduite sans action de gestion spécifique des surchauffes..

Les principaux phénomènes visibles sur cette courbe sont les suivants :

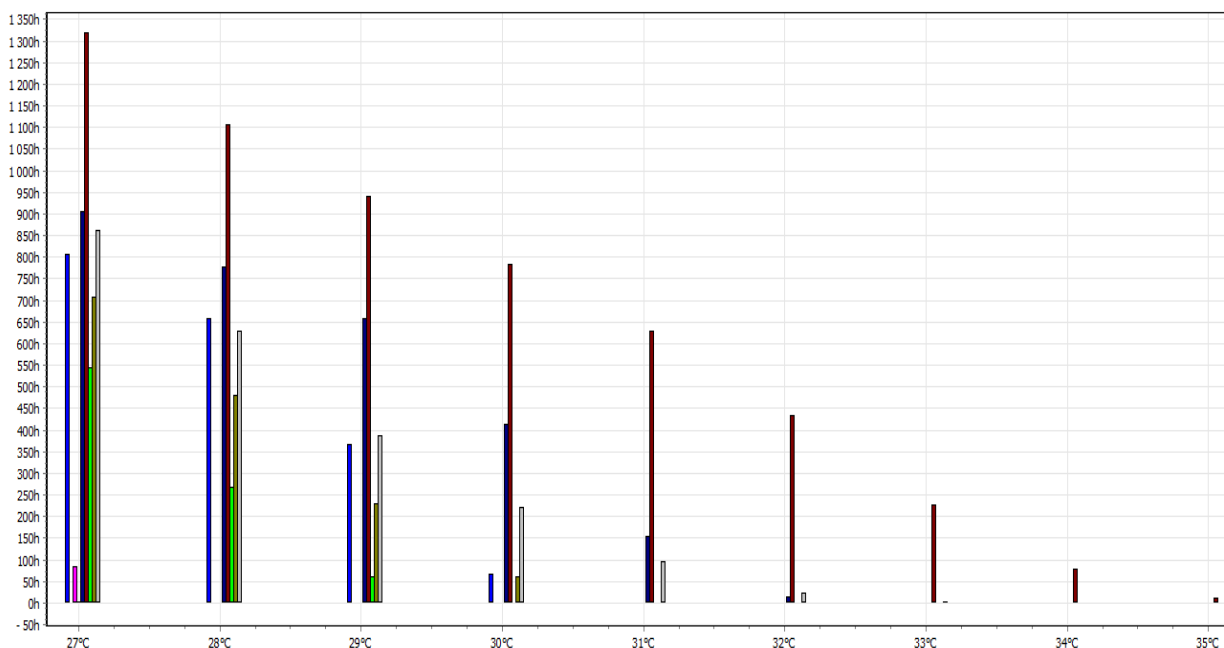


Simulation dynamique sur les zones du bâtiment.

Source : incub'.



- le bâtiment est relativement sensible à la surchauffe en période d'occupation.
- Le bureau ouest dans les combles (non représenté sur cette courbe) est le plus sensible à la surchauffe. D'après les factures, la toiture a été isolée avec de la laine de verre qui est faiblement inertielle et ne permet pas de déphasage en été.



L'étude du critère de confort montre que sans action particulière, le niveau attendu (moins de 40h supérieure à 27°C) n'est pas atteint.

Les zones les plus exposées sont celles du 1er étage et des combles situées en partie sud.

Comportement avec actions correctives

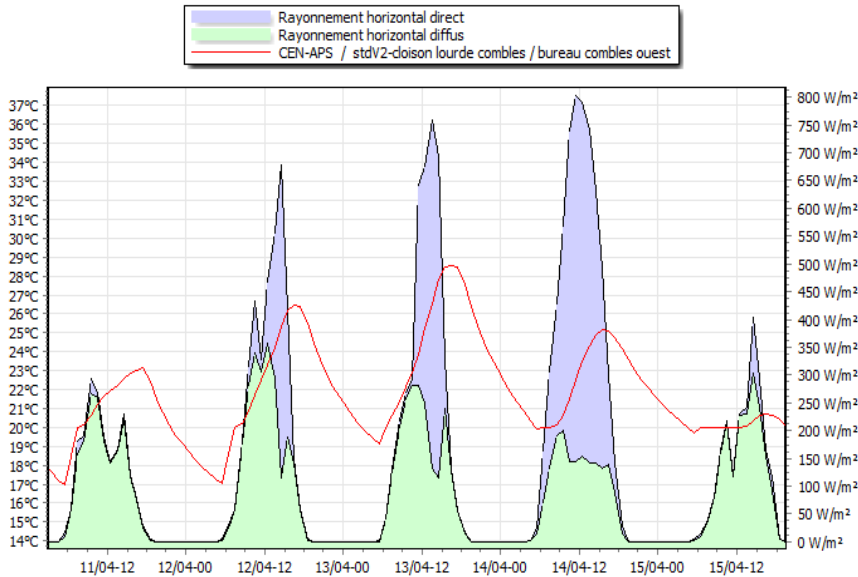
Bureaux dans les combles ouest

Cette pièce n'est pas concernée par la rénovation, elle est cependant très sujette aux surchauffes avec des températures pouvant atteindre plus de 34°C en été. La principale raison en est le manque d'inertie (parois isolées par l'intérieur, toiture isolée par de la laine de verre d'après les factures).

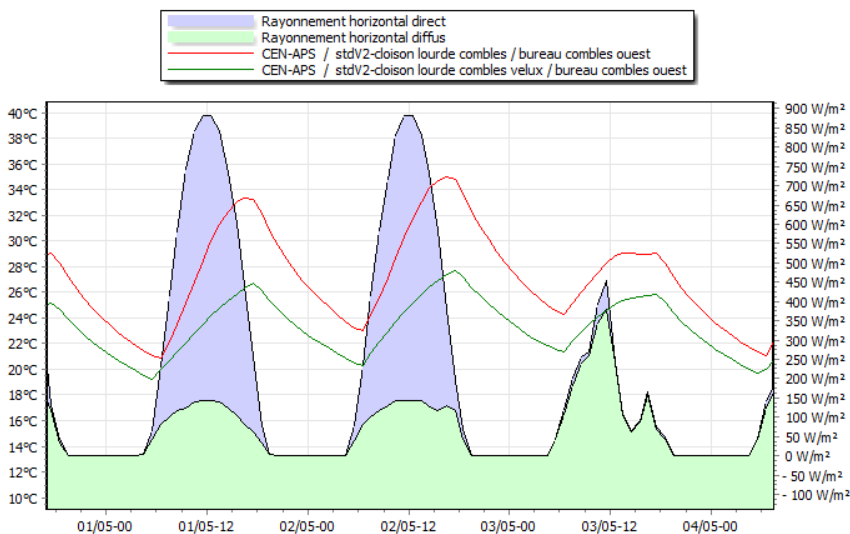
La mise en place d'un mur « lourd » (exemple mur béton de 10 cm) en cloison mitoyenne entre les bureaux est et ouest permettrait de ramener de l'inertie et de baisser la température lors de la période chaude de 7°C environ.

Occultation des velux en toiture

Les velux ; situés côté sud, sont particulièrement exposés au rayonnement solaire direct.



Ce graphique représente le rayonnement solaire direct sur les velux dans le bureau ouest des combles. On voit la réaction immédiate de la température de la pièce (rouge) à cette exposition. D'où l'importance de la protection des velux.



En protégeant les velux, on voit un abaissement de la température de la pièce de près de 6°C (courbe verte) par rapport à un velux non protégé.

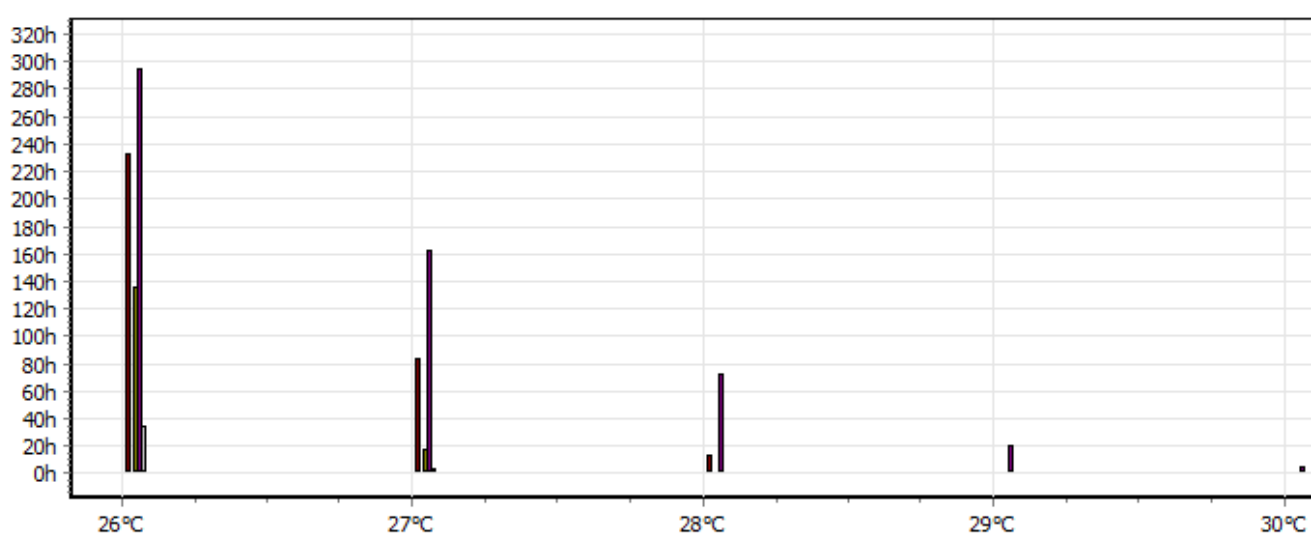
Surventilation nocturne

La caractéristique principale du bâtiment est sa forte inertie. Celle-ci a un impact positif pour le confort d'été (fort déphasage) mais peut présenter un problème pour l'évacuation de la chaleur lors des journées chaudes.

Pour pallier à cela, il est important de mettre en place un système de surventilation nocturne.

La simulation suivante est effectuée avec un taux de circulation de l'air de 3 vol/h (le renouvellement peut aller jusqu'à 5 vol/h) atteinte par ouverture de fenêtres la nuit (les velux et deux fenêtres au premier étage).

■	CEN-APS / stdV2-cloison lourde combles velux surventil 3volh / accueil
■	CEN-APS / stdV2-cloison lourde combles velux surventil 3volh / secrétariat
■	CEN-APS / stdV2-cloison lourde combles velux surventil 3volh / bureau collectif rdc nord
■	CEN-APS / stdV2-cloison lourde combles velux surventil 3volh / bureau adjoint
■	CEN-APS / stdV2-cloison lourde combles velux surventil 3volh / comptabilité
■	CEN-APS / stdV2-cloison lourde combles velux surventil 3volh / bureau directeur
■	CEN-APS / stdV2-cloison lourde combles velux surventil 3volh / bureau 2p étage ouest
■	CEN-APS / stdV2-cloison lourde combles velux surventil 3volh / bureau 2P étage centre
■	CEN-APS / stdV2-cloison lourde combles velux surventil 3volh / bureau 2p étage est
■	CEN-APS / stdV2-cloison lourde combles velux surventil 3volh / bureau 3p nord



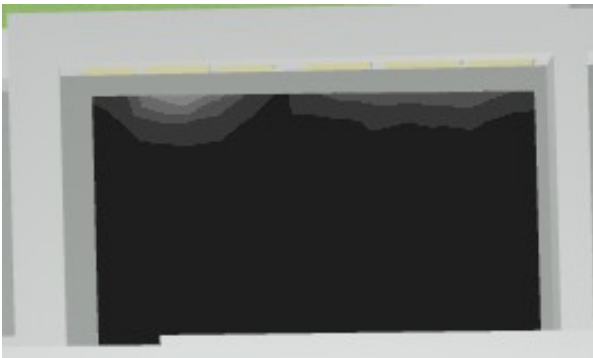
Le nombre d'heures d'inconfort est nettement diminué par ce système de surventilation. La température maximum ne dépasse pas les 30°C, y compris dans le bureau ouest des combles.

NB : une solution possible pour éviter l'intrusion des animaux la nuit par les velux ouverts serait la mise en place de moustiquaires / grillage côté intérieur.

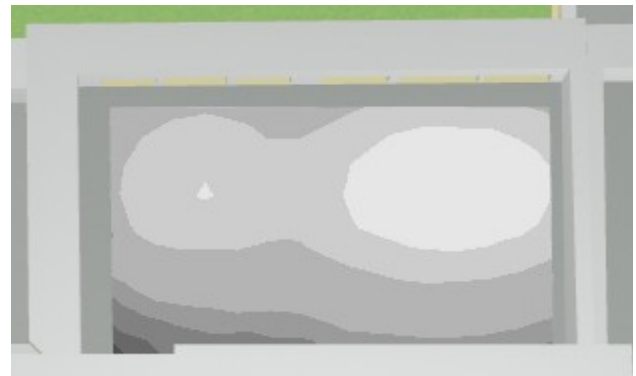
Accès à l'éclairage naturel

La question d'accès à l'éclairage naturel du bureau nord au premier étage se pose.

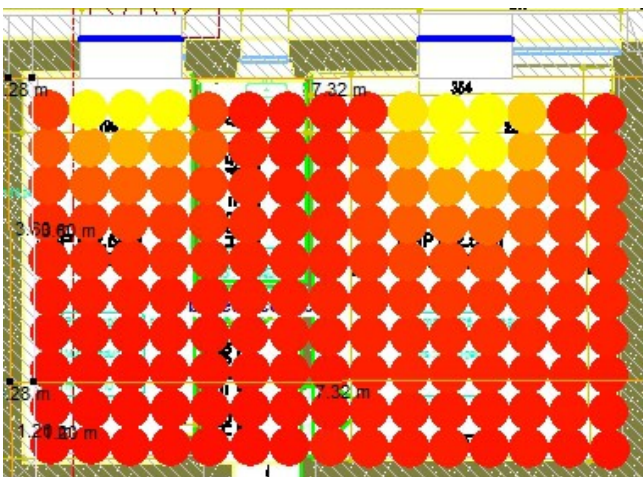
Une première simulation montre un faible éclairement du bureau nord (ex-saloir), des velux ont été installés en toiture pour favoriser l'accès à l'éclairage naturel.



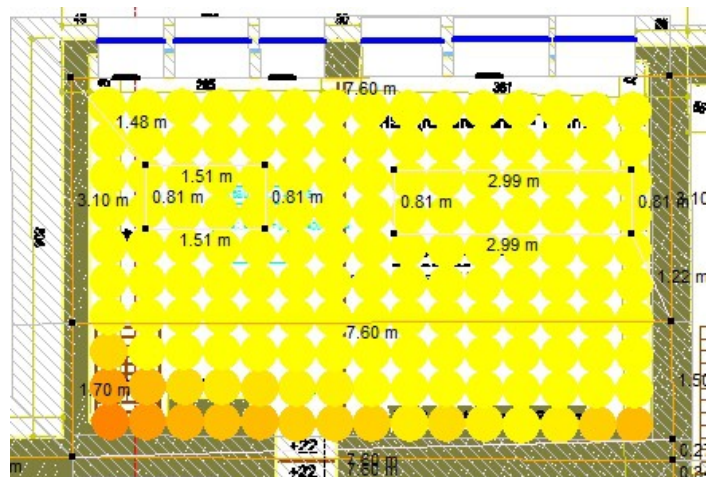
éclairage état initial : vue 3D



éclairage après pose des velux : vue 3D



éclairage état initial



éclairage après pose des velux

Comme le montrent ces résultats de simulations sur le bureau nord, la pose des velux permet d'améliorer de manière significative l'accès à la lumière naturelle.

Un bâtiment est un système complexe avec beaucoup d'interactions. Le fonctionnement énergétique est lié à différents types de paramètres et sollicitations :

- paramètres structurels : conception du bâtiment, choix des matériaux, volumétrie, agencement...
- sollicitations environnementales : conditions météorologiques extérieures, canicules...
- sollicitations internes : nombre de personnes, densité d'équipement électro-domestique, fréquentation...
- usage du bâtiment : utilisation des volets pour se protéger du soleil, ouverture des fenêtres la nuit pour rafraîchir, limitation de l'utilisation des appareils électro-domestiques (appareil en fonctionnement seulement si nécessaire, coupure des veilles...)

La performance et le confort dépendent de tous ces facteurs.

Conclusion

Au terme de cette étude, il est possible de conclure que le bâtiment proposé satisfait à la fois aux demandes du programme, ainsi qu'aux exigences de qualité et de robustesse classique pour ce genre de programme. La rénovation envisagée permet de réduire radicalement les besoins de chauffage.

Permettons-nous d'insister une nouvelle fois : un bâtiment n'est performant que s'il est conçu et utilisé en correspondance avec l'usage prévu. Cela ne veut pas dire qu'il est « intolérant », mais que la performance va de pair avec une responsabilité des usagers, de l'exploitant et du maître d'ouvrage quant aux limites d'usage. De même qu'on ne conduit pas une Ferrari comme une 2 CV, les bâtiments performants demandent qu'on s'y comporte et qu'on les gère d'une manière adaptée.