

RENOVATION DU BATIMENT B 1 RUE DE LA NOE 44000 NANTES



MAITRISE D'ŒUVRE

Faber

AUAS Ingénierie

MAITRE D'OUVRAGE

RECTORAT PAYS DE LA LOIRE

8 Rue Général Margueritte

44326 NANTES CEDEX 03

☎ : 02 51 86 30 70

✉ : sebastien.l-hullier@ac-nantes.fr

MAITRISE D'ŒUVRE

Architecte :

FABER

35 Boulevard de la Liberté

35220 CHATEAUBOURG

☎ : 02 99 74 85 87

✉ : p.ancelin@faber.archi

BET TCE :

AUAS Ingénierie

53 Rue Jules Vallès

35000 RENNES

☎ : 02 22 91 08 46

✉ : mbouasker@auas.fr

ECONOMISTE :

FABER

35 Boulevard de la Liberté

35220 CHATEAUBOURG

☎ : 02 99 74 85 87

✉ : b.gardin@faber.archi

Acousticien :

GAMBA

5 Avenue Jules Verne

44230 Saint-Sébastien sur Loire

☎ : 02 40 34 11 22

✉ : yann.molle@gamba.fr

AUTRES INTERVENANTS

Bureau de contrôle :

APAVE

5 rue de la Johardière

44800 SAINT HERBLAIN

☎ : 02 40 38 80 10

✉ : gurvan.gaigne@apave.com

Coordinateur SSI :

SDIS 44

☎ : 02 28 09 83 99

✉ : emilie.henaff@sdis44.fr

SOMMAIRE

1 SUIVI DES MODIFICATIONS	2
2 INTRODUCTION	3
2.1 Objet de l'étude	3
2.2 Méthode de simulation	3
3 HYPOTHESES DE CALCUL	4
3.1 Paramètres climatologiques	4
3.2 Vue 3D	4
3.3 Zonage thermique	5
3.4 Enveloppe thermique	5
3.5 Systèmes de chauffage et de ventilation	5
3.6 Scénario de ventilation	5
3.7 Scénario de puissance dissipée	6
3.8 Scénario d'occupation	7
3.9 Scénario d'occultation	8
3.10 Scénario d'ouverture des fenêtres	8
3.11 Scénario de température	8
4 ETUDE STD	9
4.1 Objectifs	9
4.2 Résultats	9
4.3 Analyse	11
5 ETUDE SED	16
5.1 Consommations actuelles	16
5.2 Consommations futures	17
5.3 Impact des données d'entrée sur les consommations	19
5.4 Récapitulatif	21
6 CONCLUSION	22

1 SUIVI DES MODIFICATIONS

V1 – 25/10/2024

Sans modifications

V2 – 06/12/2024

Intégration de la Simulation Energétique Dynamique

V3 – 21/02/2025

Modification des débits de ventilation dans le scénario 6 (scénario retenu à la suite de l'étude APD) durant le free-cooling nocturne

V4 – 23/04/2025

Modification des caractéristiques des vitrages des verrières

2 INTRODUCTION

2.1 Objet de l'étude

La présente étude traite du confort d'été via une simulation thermique dynamique (STD). Cette étude a pour objectif de montrer que les équipements prévus permettront d'apporter du confort aux futurs occupants.

Une STD permet :

- De réaliser un estimatif des besoins de chauffage et de climatisation (Non réalisé à ce stade du projet)
- De prévoir les solutions techniques pour assurer un confort aux occupants particulièrement en période estivale

2.2 Méthode de simulation

La simulation se déroule en plusieurs étapes :

- Saisie des caractéristiques de toutes les parois du projet : structure, isolant, plaque de plâtre, lame d'air et les caractéristiques de chaque couche : épaisseur, conductivité thermique, capacité thermique, masse volumique.
- Saisie de la volumétrie du projet
- Décomposition du projet en zones thermiques en fonction de l'orientation, de l'utilisation et de l'usage des pièces.
- Attribution de scénarii à chaque zone et chaque pièce :
 - Consignes de température
 - Scénarii d'occupation : Horaires de présence et nombre de personnes présentes dans chaque zone
 - Scénarii de ventilation
 - Scénarii d'occultation : saisons pendant lesquelles les protections solaires amovibles sont fermées
 - Scénarii de puissance dissipée
- Calculs de l'inconfort estival
- Etude de variantes : modification des caractéristiques des vitrages, ventilation par ouverture des fenêtres, ajout de protections solaires

3 HYPOTHESES DE CALCUL

3.1 Paramètres climatologiques

Le fichier météo est issu des données METEONORM de la station « NANTES 2050 ». Ce scénario correspond aux effets du réchauffement climatique suivant le scénario RCP 8.5 du GIEC pour 2050.

Nom	NANTES 2050 (METEONORM)	Altitude	26 m
Longitude	1° 36' 0'' O	Latitude	47° 10' 12'' N

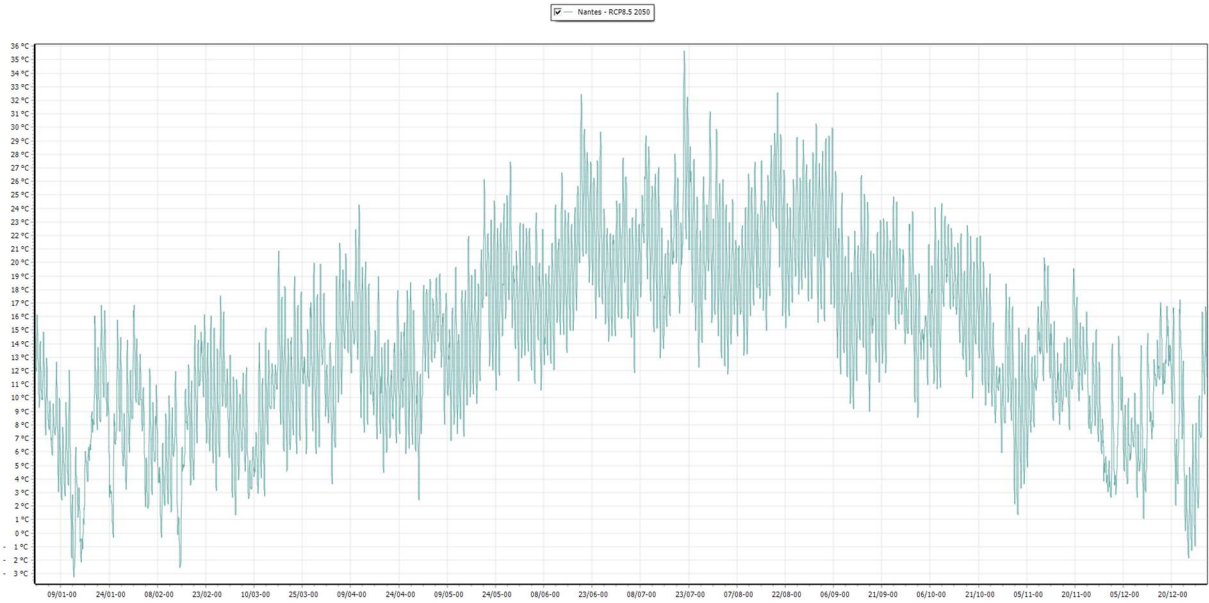


Figure 1 : Courbe de température de la station météo Nantes 2050 (METEONORM)

3.2 Vue 3D

Ci-dessous une vue 3D de la saisie sous PLEIADES :

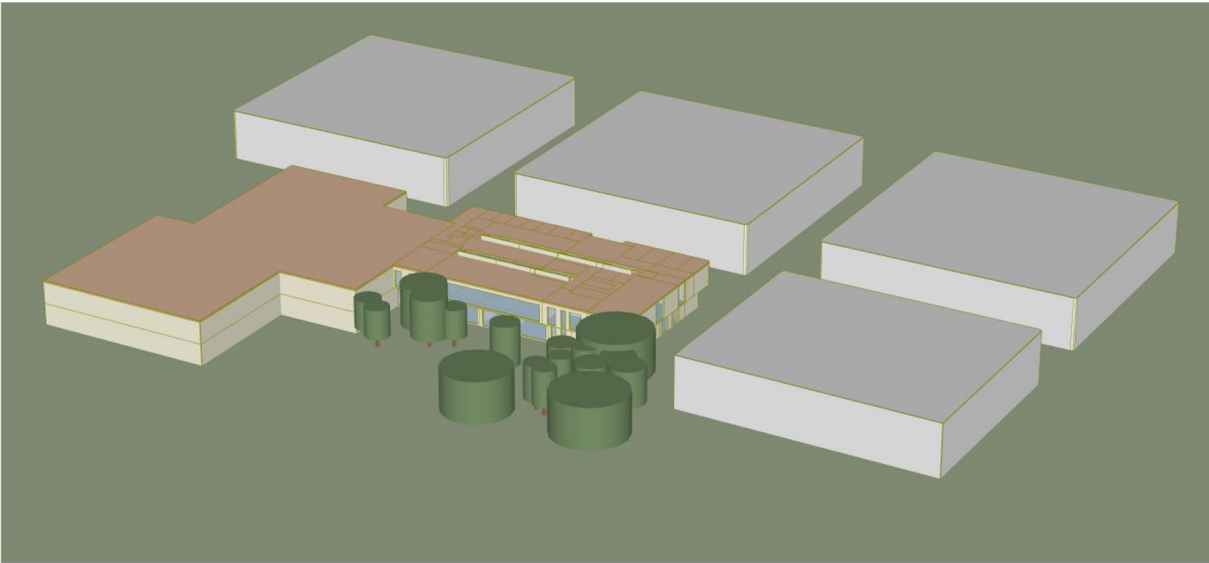


Figure 2 : Vue 3D Façade SUD

3.3 Zonage thermique

Cette simulation thermique dynamique repose sur les plans DWG et PDF de la phase APD. Nous avons effectué le zonage en regroupant les pièces ayant les mêmes orientations et le même fonctionnement. Ci-dessous pour exemple le zonage du R+1 du bâtiment B.



Figure 3 : Zonage du R+1

3.4 Enveloppe thermique

L'enveloppe thermique est la même que l'enveloppe thermique pour le calcul RTextistant. Ces données sont explicitées dans le rapport « Etude RTextistant ».

3.5 Systèmes de chauffage et de ventilation

Les systèmes attribués sont les mêmes que ceux saisis pour le calcul RTextistant. Ces données sont explicitées dans le rapport « Etude RTextistant ».

3.6 Scénario de ventilation

Les scénarios et débits de ventilation sont conformes aux plans CVP de la phase APD.

3.7 Scénario de puissance dissipée

Les scénarios de puissance dissipée sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Zone	Puissance dissipée
Salles de classes 30 personnes	60 W/poste pendant occupation (31 PC)
Salles de classes 18 personnes	60 W/poste pendant occupation (19 PC)
Centre de ressources	60 W/poste pendant occupation (80 PC)
Salles de travail en autonomie	60 W/poste (entre 2 et 8 PC selon les heures d'occupation)
Studio d'enregistrement	120W/poste (3 PC / 3 ECRAN)
Bureaux	60 W/poste pendant occupation (1 PC / 1 ECRAN)
Salle de Co-design	60 W/poste (50 PC)
Réalité virtuelle	60 W/poste (17 PC)
Salle de formation	60 W/poste (20 PC)
Open Space TICE	60 W/poste (5 PC)

Les puissances et la gestion de l'éclairage sont pris en compte conformément à la notice ELECTRICITE de la phase APD.

3.8 Scénario d'occupation

Les scénarios d'occupation ont été réalisés sur la base du programme fonctionnel du maître d'ouvrage. Les scénarios d'occupation sont explicités dans le tableau ci-après. Il est prévu 5 périodes de vacances scolaires :

- 1 semaines de vacances en Décembre / Février / Avril et Octobre
- 2 mois de vacances en Juillet / Août
- Fermeture de l'école 2 semaines en Août

La puissance dissipée par occupant est saisie à 70 W.

Les scénarios d'occupations présentés ci-après ont été validé par la maitrise d'ouvrage en phase APD.

Pièce	Horaires / Présence
	Lundi / Mardi / Mercredi / Jeudi / Vendredi
Salles de Classe 01 à 08	8h – 12h / 14h – 18h : 30 personnes
Salles de Classe 09 & 10	8h – 12h / 14h – 18h : 18 personnes
Centre de ressources	8h – 12h / 14h – 18h : 100 personnes 12h – 14h / 18h – 19h : 30 personnes
Salles de travail en autonomie A	8h – 9h : 2 personnes 9h – 12h / 14h – 18h : 4 personnes 12h – 14h : 3 personnes
Salles de travail en autonomie B	8h – 9h : 4 personnes 9h – 12h / 14h – 18h : 10 personnes 12h – 14h : 5 personnes
Studio d'enregistrement	8h – 11h / 16h – 18h : 5 personnes
Salle de Co-design	8h00 – 11h00 / 14h – 16h : 50 personnes
Salle de réalité virtuelle	8h – 11h : 30 personnes
Salle de Formation	8h – 11h / 14h – 16h : 40 personnes
Salle de Réunion	1h le matin / 1h l'après-midi : 6 personnes
Bureaux	8h00 – 12h00 / 14h00 – 17h00 : 1 personne par bureau mobilier

3.9 Scénario d'occultation

Dans cette étude, toutes les occultations sont prévues fermées les week-ends et pendant les vacances scolaires.

3.10 Scénario d'ouverture des fenêtres

L'ouverture des fenêtres de l'ensemble des locaux est conforme aux plans architectes et est considérée manuelle dans toutes les pièces. Leur scénario d'ouverture par l'utilisateur est le même que le scénario défini dans la méthode de calcul RT2012.

3.11 Scénario de température

À la suite des relevés sur site et des données programmatiques, voici les données prises en compte pour les scénarios de chauffage :

- Température de consigne : 19°C du Lundi au Vendredi
- Week-end : 16°C
- Vacances scolaires : 8°C
- Début de la saison de chauffe : Mi-October (15 Octobre dans l'étude)
- Fin de la saison de chauffe : Début Mai (6 Mai dans l'étude)

4 ETUDE STD

4.1 Objectifs

L'objectif de ce calcul est de s'assurer que nous avons tout prévu afin que Les occupants aient du confort tout au long de l'année et notamment lors des périodes de fortes chaleurs

Les caractéristiques inhérentes du bâtiment (Inertie, orientation, occupation, réflexion des parois ...) influent très fortement le confort d'été tout comme la qualité de la ventilation. Les apports thermiques (Apports solaires, apports des usagers et des équipements) influent fortement le confort d'été également. On définit la surchauffe estivale par le pourcentage du temps d'occupation annuel dépassant une température maximale fixée (28 °C dans notre cas) ainsi que par le nombre d'heures cumulées supérieures à cette température, en période d'occupation.

4.2 Résultats

Tout au long de ce chapitre, nous avons comparé les résultats de la solution de base ainsi que diverses solutions permettant d'améliorer le confort des occupants. 8 scénarios ont été étudié sur ce bâtiment :

- Scénario de base
- Scénario 1 : Vitrage à contrôle solaire sur les verrières ($Sw=0.28$)
- Scénario 2 : Vitrage à contrôle solaire sur les menuiseries en façade SUD ($Sw=0.3$)
- Scénario 3 : Intégration du free-cooling nocturne
- Scénario 4 : Store intérieur sur les verrières
- Scénario 5 : Scénarios 1 + 2 + 3 + 4
- Scénario 6 : Scénarios 1 + 2 + 3 (sans store intérieur sur les verrières)
- Scénario 7 : Scénarios 1 + 2 + 4 (sans free-cooling)

Dans ce rapport, 3 salles à utilisations différentes seront analysées.

- Le centre de ressources, qui correspond au cœur du bâtiment et même du campus, il sera occupé sur une amplitude horaire assez large avec un nombre d'étudiants conséquent et des apports solaires importants.
- La salle de Co-design, exposée sud-est, avec 50 places assises ainsi qu'une puissance dissipée importante
- Les salles de classe NORD au rez-de-chaussée, qui seront occupées en permanence 5 jours par semaine, par 30 élèves avec leur ordinateurs portables.

Centre de Ressources Météo 2050	Apports solaires annuels (kWh)	Nombre d'heures inconfort	Taux d'inconfort	Besoin de chauffage (kWh)	% de confort DIAGRAMME GIVONI
Scénario de base	37 963	128	5,80%	1865	80,4
Scénario 1 : Sw = 0,2 pour les verrières	23 790	86	3,90%	2400	83,2
Scénario 2 : Sw = 0,3 pour les menuiseries en façade SUD	36 234	120	5,40%	1931	80,1
Scénario 3 : FREE-COOLING	37 963	102	4,60%	1865	81,4
Scénario 4 : Store intérieur verrières	21 540	100	4,50%	2534	80,7
Scénario 5 : Scénarios 1+2+3+4	13 680	57	2,60%	2895	87
Scénario 6 : Scénarios 1+2+3	21 998	72	3,40%	2492	86,1
Scénario 7 : Scénarios 1+2+4	13 680	78	3,50%	2 895	84,7

Salle Co-design Météo 2050	Apports solaires annuels (kWh)	Nombre d'heures inconfort	Taux d'inconfort	Besoin de chauffage (kWh)	% de confort DIAGRAMME GIVONI
Scénario de base	2 034	60	6,00%	1 137	78
Scénario 1 : Sw = 0,2 pour les verrières	2 034	36	3,60%	1 298	82
Scénario 2 : Sw = 0,3 pour les menuiseries en façade SUD	1 842	59	5,90%	1 175	78
Scénario 3 : FREE-COOLING	2 034	38	3,80%	1 137	82
Scénario 4 : Store intérieur verrières	2 034	43	4,30%	1 283	81
Scénario 5 : Scénario 1+2+3+4	1 842	19	1,90%	1 421	87
Scénario 6 : Scénarios 1+2+3	1 842	22	2,30%	1 341	86
Scénario 7 : Scénarios 1+2+4	1 842	29	2,90%	1 421	83

Salle Nord-Ouest RDC Météo 2050	Apports solaires annuels (kWh)	Nombre d'heures inconfort	Taux d'inconfort	Besoin de chauffage (kWh)	% de confort DIAGRAMME GIVONI
Scénario de base	2 448	135	8,40%	920	75,7
Scénario 1 : Sw = 0,2 pour les verrières	2 448	96	6,00%	1 126	79,2
Scénario 2 : Sw = 0,3 pour les menuiseries en façade SUD	2 448	132	8,20%	944	76,3
Scénario 3 : FREE-COOLING	2 448	103	6,40%	920	76,5
Scénario 4 : Store intérieur verrières	2 448	111	6,90%	1 154	78
Scénario 5 : Scénario 1+2+3+4	2 448	68	4,20%	1 290	81
Scénario 6 : Scénarios 1+2+3	2 448	66	4,20%	1 155	80,5
Scénario 7 : Scénarios 1+2+4	2 448	88	5,50%	1 290	80,6

4.3 Analyse

Confort estival

Dans le centre de ressources, les principaux vecteurs de l'inconfort sont l'occupation et les apports solaires. Pour exemple, ci-dessous la répartition des apports sur une semaine de Juin où les apports solaires sont en jaune et ceux des occupants en orange. Sans protections solaires, les températures le week-end sont assez importantes (Aux alentours de 32°C dans cet exemple). Ce scénario donne un taux d'inconfort très important (> 5.8%), ce qui ne résulte pas d'un bon confort d'été.

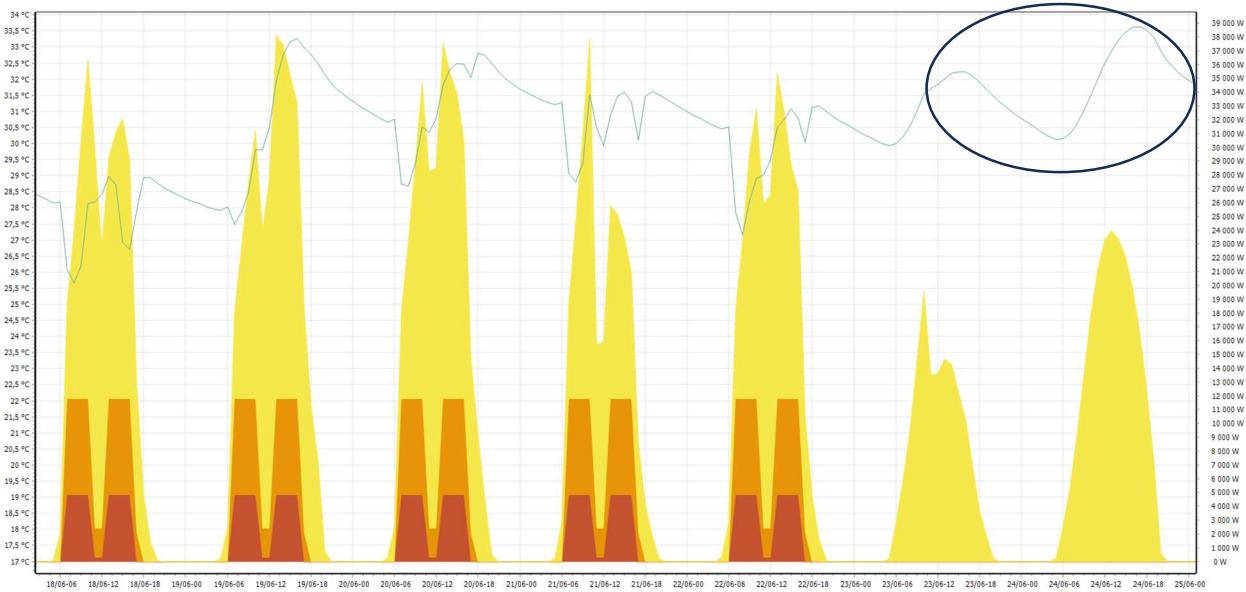


Figure 4 : Répartition des apports dans le centre de ressources (Scénario de base)



Figure 5 : Apports solaires du niveau R+1 par pièce

Dans les tableaux de résultats, on se rend compte que la baisse des apports est bénéfique mais qu'aucune simulation permet d'avoir un taux d'inconfort proche des 3%. La simulation la plus performante est celle où l'on intègre un vitrage à contrôle solaire sur les verrières et les menuiseries en façade SUD avec en complément un store intérieur.

Comme l'indique le graphique ci-dessous, la baisse des apports solaires permet de diminuer les températures intérieures en période d'occupation et d'inoccupation. On gagne entre 1.00 et 1.50 °C en fonction des simulations.



Figure 6 : Evolution de la température intérieure de 3 simulations (Sans protections - **bleue** / Vitrage contrôle solaire verrières - **orange** / Stores intérieurs verrières - **jaune**)

A l'inverse, l'inconfort dans les salles de classe est principalement dû aux occupants ainsi qu'aux puissances dissipées par les équipements électriques (ordinateur portable, visio-projecteur). En effet, les salles de classe étant occupée 8h/j tout au long de l'année et chaque élève possédant un ordinateur, l'inconfort augmente très rapidement (>30°C dans cet exemple).

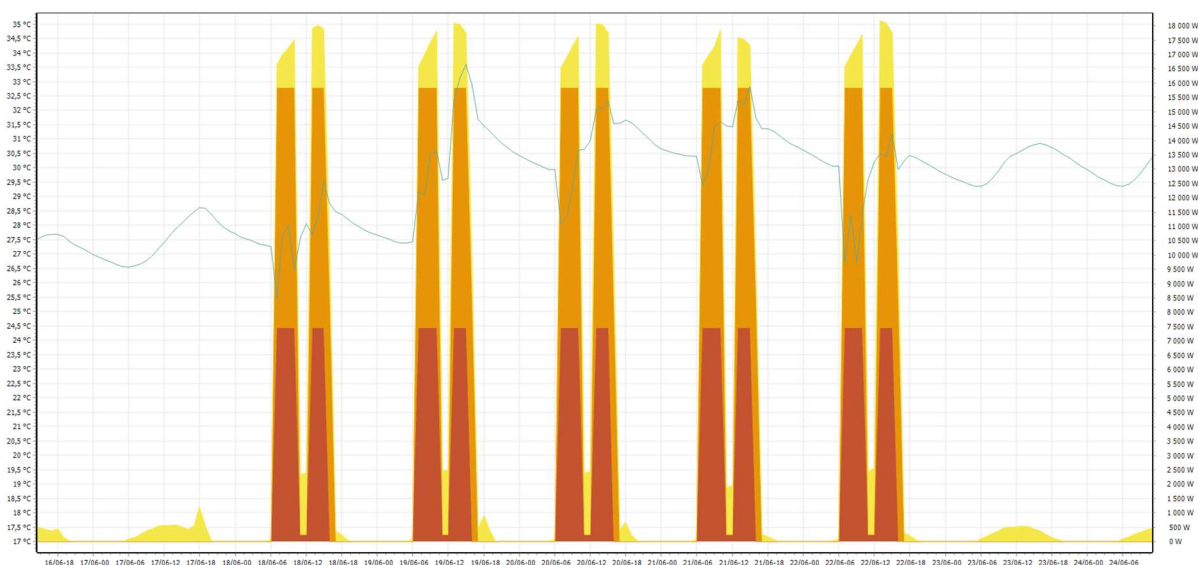


Figure 7 : Répartition des apports dans les salles de classe NORD-OUEST (Scénario de base)

Lorsque les élèves ne possèdent pas d'ordinateurs portables dans les salles de classe, la température intérieure diminue d'environ $1/2^{\circ}\text{C}$ pendant les périodes d'occupation (voir graphe ci-dessous). Sur l'année, cela représente 3.9% d'inconfort en moins (73h contre 135h).

Le constat est le même dans le centre de ressources dès lors qu'on divise par 2 le nombre d'ordinateurs.



Figure 8 : Différence de température dans les salles de classe avec (bleue) ou sans ordinateurs (orange)

Comme le montre les différents graphes ci-dessus, la réduction des apports solaires dans les différentes salles ne suffit pas car les taux d'inconfort restent importants (3.50 % pour le centre de ressources, 5.50 % pour les salles de classe).

Ainsi, nous prévoyons la mise en œuvre d'un rafraîchissement nocturne que l'on appelle free-cooling. Durant les mois de Mai, Juin, Juillet et Septembre, l'échangeur de la double flux est by-passé et ainsi, la CTA souffle de l'air à la température extérieure selon certaines conditions horaires et de température.

Dans notre cas, le rafraîchissement nocturne intervient uniquement en mi-saison (Entre la saison de chauffe et la période d'inoccupation estivale de l'école). Le rafraîchissement nocturne se déclenche selon les conditions suivantes :

- Entre 21h et 8h du matin
- Démarrage si $T^{\circ} > 20^{\circ}\text{C}$
- Arrêt si $T^{\circ} \text{ intérieure} < 19^{\circ}\text{C}$
- Arrêt si $T^{\circ} \text{ extérieure} < 15^{\circ}\text{C}$
- Arrêt si $T^{\circ} \text{ int} - T^{\circ} \text{ ext} < 1^{\circ}\text{C}$

Ci-dessous, l'évolution de la température intérieure avec et sans free-cooling. Le free-cooling permet de diminuer la température intérieure en période nocturne de façon importante. De plus, même si les apports internes réchauffent très vite la pièce, nous gagnons entre 1 et 1.50°C tout au long de la journée dans la salle de Co-design.

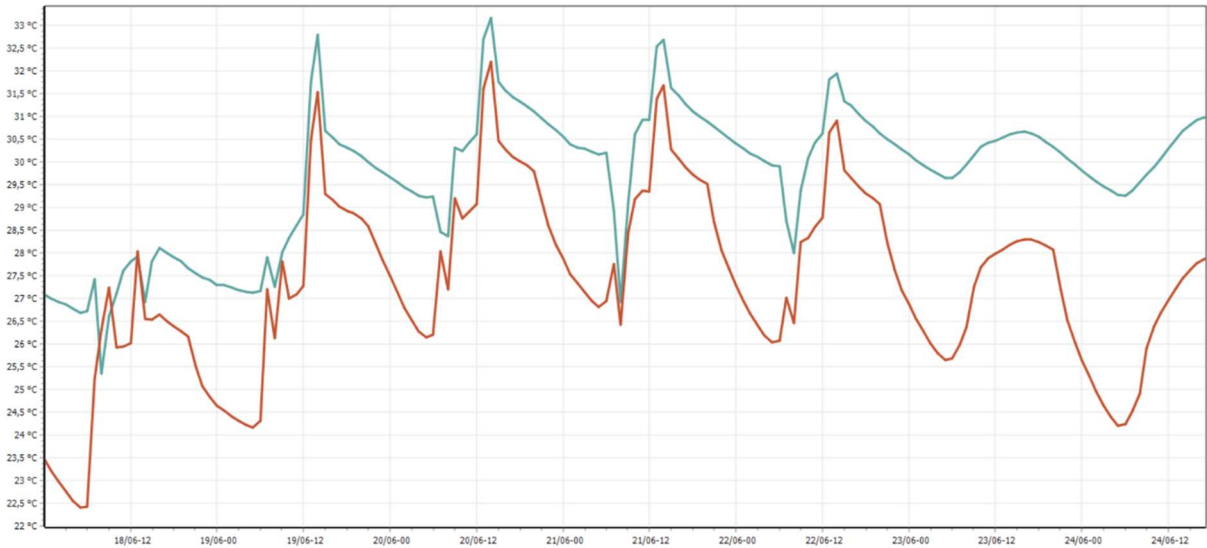


Figure 9 : Evolution de la température intérieure de la salle de Co-design avec (bleue) et sans (orange) free-cooling (Du 18/06 au 24/06)

Besoins de chauffage (kWh)

Les besoins de chauffage dans les salles augmentent considérablement lorsqu’on diminue les apports solaires avec la réduction du facteur solaire des baies et la mise en place de store intérieur.

Cependant, cette augmentation des besoins de chauffage est à comparer avec les potentiels besoins de climatisation en période estivale si climatisation il y avait.

Par exemple, dans les 3 zones qui sont mises en avant dans le tableau ci-après, les sommes des besoins de chauffage et de climatisation dans les deux simulations sont assez proches, ce qui valide notre choix d’utiliser un vitrage à contrôle solaire.

	Besoins chauffage	Besoins climatisation	TOTAL
Centre de Ressources			
Scénario de base	1 865 kWh	1 815 kWh	3 680 kWh
Scénario 7	2 895 kWh	779 kWh	3 674 kWh
Salle de Co-design			
Scénario de base	1 137 kWh	337 kWh	1 474 kWh
Scénario 7	1 421 kWh	136 kWh	1 557 kWh
Salles de classe NORD-OUEST			
Scénario de base	920 kWh	1 100 kWh	2 020 kWh
Scénario 7	1 290 kWh	666 kWh	1 956 kWh

Scénario retenu

A la suite de la présentation de la phase APD, la maîtrise d'ouvrage a décidé de retenir le scénario 6, alliant confort, simplicité de mise en œuvre et économe en énergie. Il regroupe la réduction des apports solaires avec la mise en place du free-cooling. Dès lors, on s'aperçoit sur le graphique ci-dessous que la température s'abaisse de 1.5 à 2.5°C dans le centre de ressources et devient plus acceptable.



Figure 10 : Différence de température entre le scénario de base (bleu) et le scénario 6 (orange) dans le centre de ressources

5 ETUDE SED

5.1 Consommations actuelles

L'école nous a transmis les consommations annuelles de GAZ et d'électricité de 2019 à 2023. Depuis 2019, le ratio kWh/DJU est assez constant, ce qui signifie que le bâtiment n'a pas subi d'évolution majeure sur son enveloppe ou son réseau de chauffage.

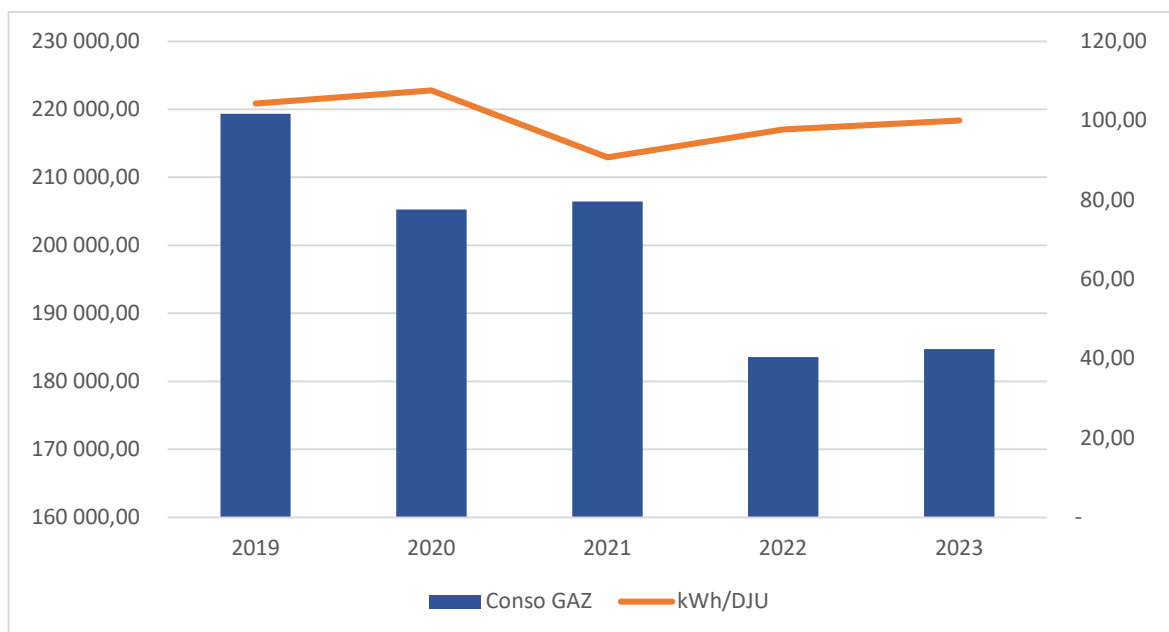


Figure 11 : Consommations de GAZ par an

Les consommations électriques ont diminué assez significativement depuis 2021. Le remplacement de certains luminaires par des LEDs ou la sensibilisation aux bonnes pratiques pourraient en être l'origine.

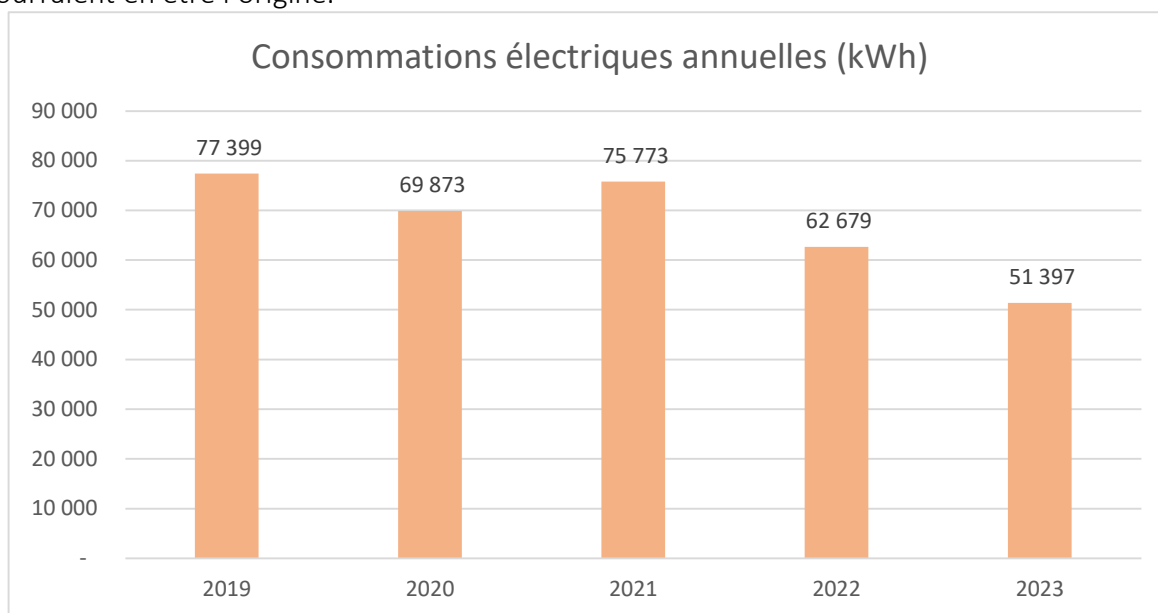


Figure 12 : Consommations électriques par an

5.2 Consommations futures

5.2.1 Objectif

L'objectif de ce calcul est d'estimer les futures consommations du bâtiment et ainsi valider les dimensionnements réalisés lors de nos études et les orientations prises en compte dans la STD.

5.2.2 Résultats

Les premiers résultats obtenus se basent sur le scénario 6 de la STD, c'est-à-dire :

- Free-cooling
- Vitrages à contrôle solaire sur la façade SUD et les verrières

On obtient une consommation de chauffage de **38 751 kWh** sur 1 an pour l'ensemble du bâtiment, c'est-à-dire une réduction de 78% par rapport aux consommations actuelles. Cette valeur s'explique d'abord par les travaux de rénovation énergétique entrepris (Façades, émetteurs, ..) mais aussi par les importants apports internes du bâtiment (puissance dissipée des équipements informatiques notamment).

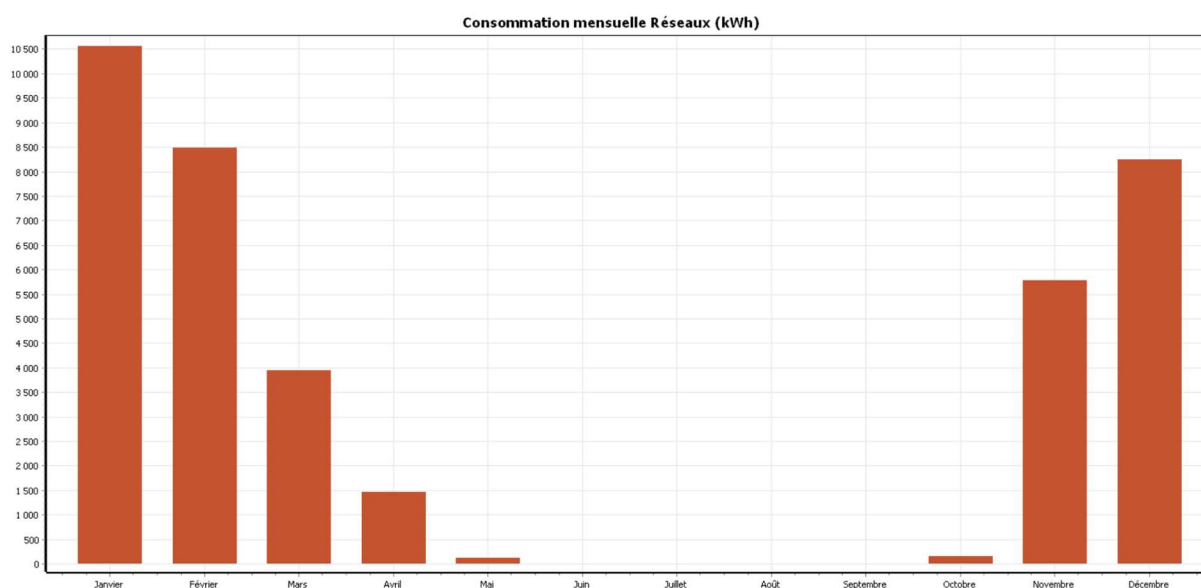


Figure 13. Répartition des consommations de chauffage sur l'année

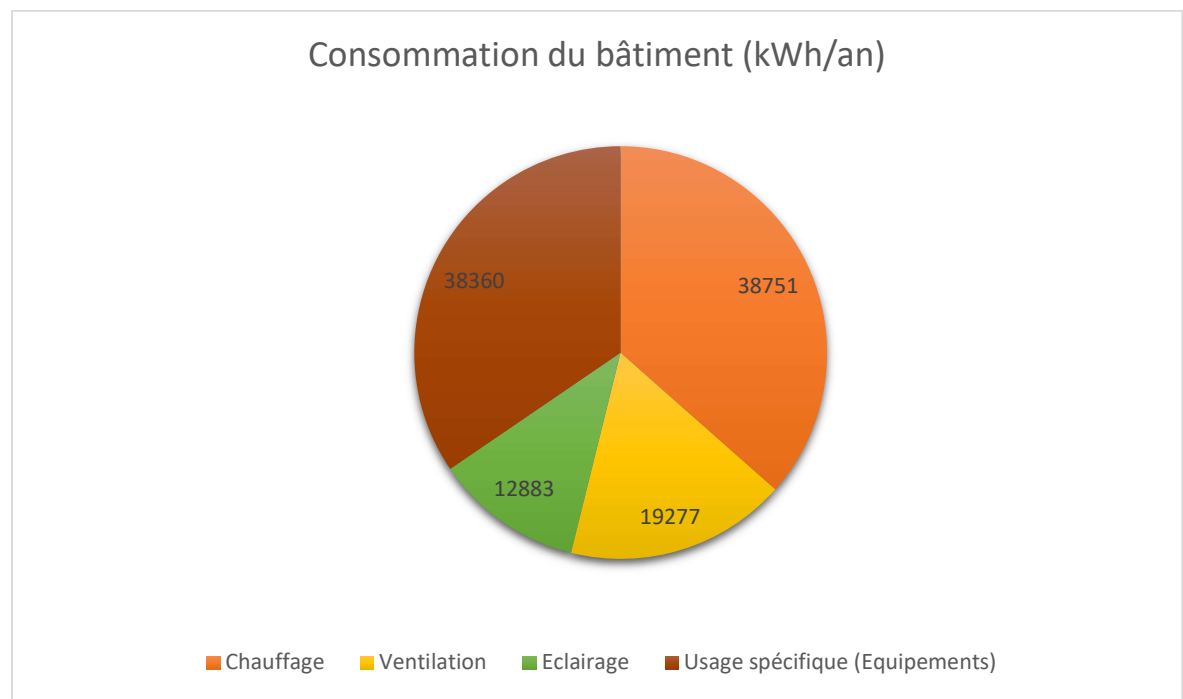


Figure 14. Répartition des consommations du bâtiment

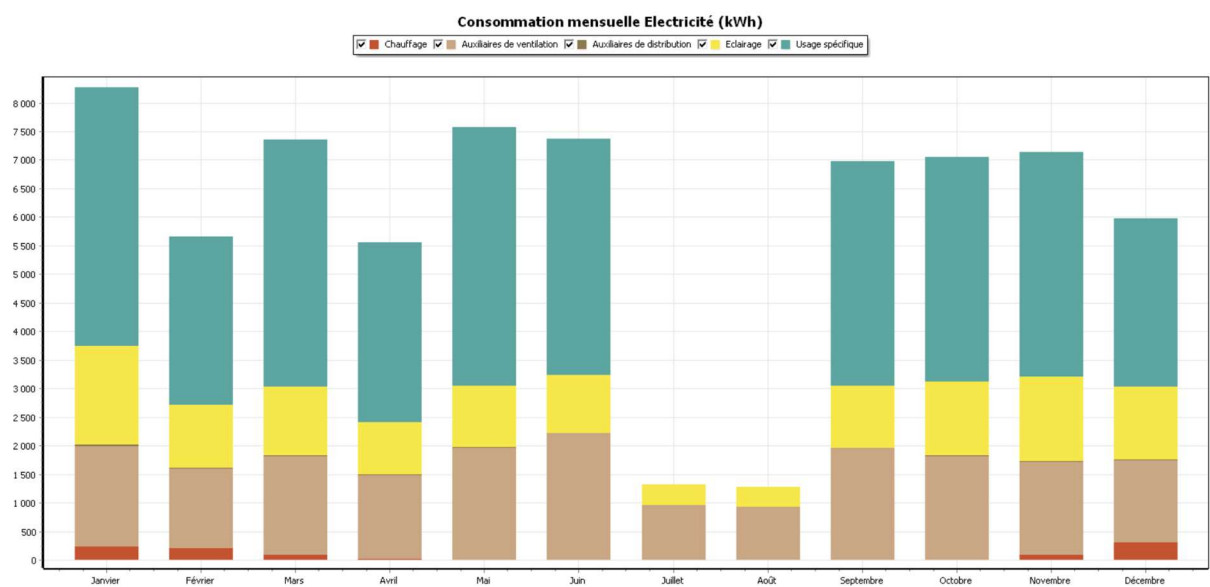


Figure 15. Consommations mensuelles d'électricité du bâtiment

L'évolution des consommations électriques par rapport à l'état actuel est principalement due à l'installation de VMC double flux pour remplacer les caissons existants endommagé.

5.3 Impact des données d'entrée sur les consommations

5.3.1 Réduction des puissances dissipées par deux

Comme vu ci-dessus, les apports internes ont un fort impact sur les consommations de chauffage étant donné qu'ils sont considérés au maximum dans l'étude, ainsi le logiciel estime par exemple que les ordinateurs portables sont branchés en permanence tout au long de la journée, ce qui fait augmenter les consommations électriques très significativement mais aussi diminuer les consommations de chauffage. Ce phénomène rend assez variable les consommations de chauffage puisque nous ne connaissons pas le taux d'ordinateur en charge aux différents moments de la journée. Ainsi, en simulant une réduction de 50% de ces apports, les résultats paraissent mieux refléter les consommations électriques futures.

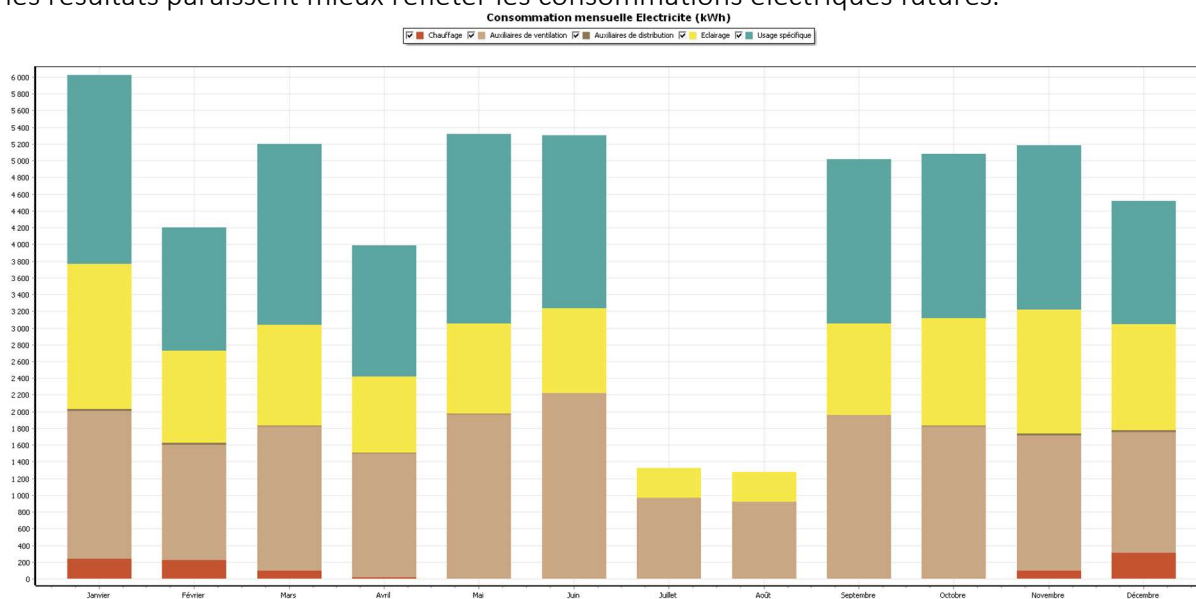


Figure 16. Répartition des consommations d'électricité

5.3.2 Suppression du free-cooling

A travers cette variante, nous constatons que l'ajout du free-cooling pour améliorer le confort d'été n'influence que légèrement les consommations électriques, tandis qu'il permet une réduction importante du taux d'inconfort.

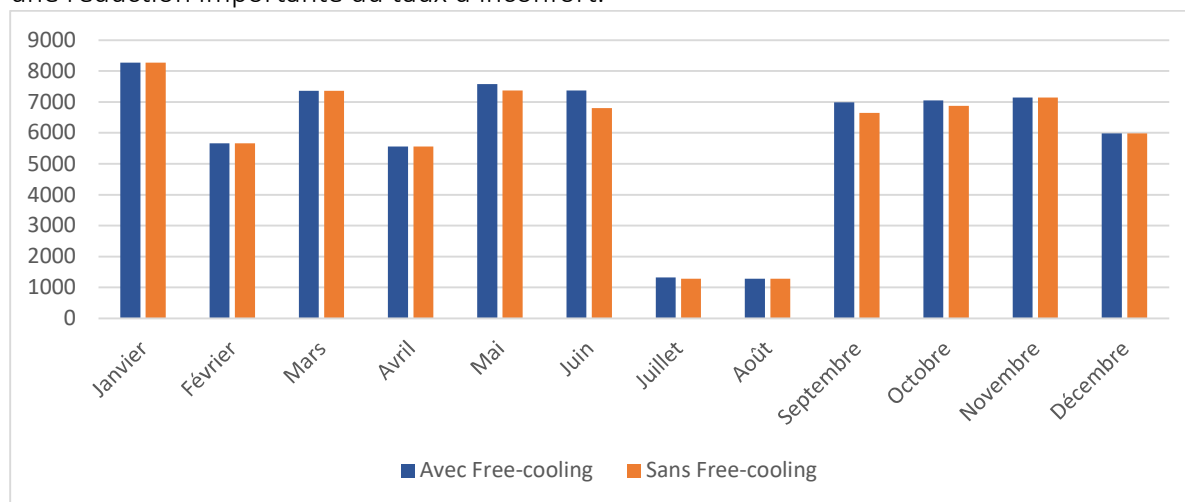


Figure 17. Consommations électriques mensuelles avec ou sans free-cooling

5.3.3 Réduit de chauffage le soir

Pour réduire les consommations de chauffage, il est possible d'intégrer un réduit de la température durant la semaine. En effet, réduire la température de 3 degrés la nuit lorsque le bâtiment n'est pas occupé permet d'atteindre une économie de 20% comme nous le montre le graphique ci-dessous.

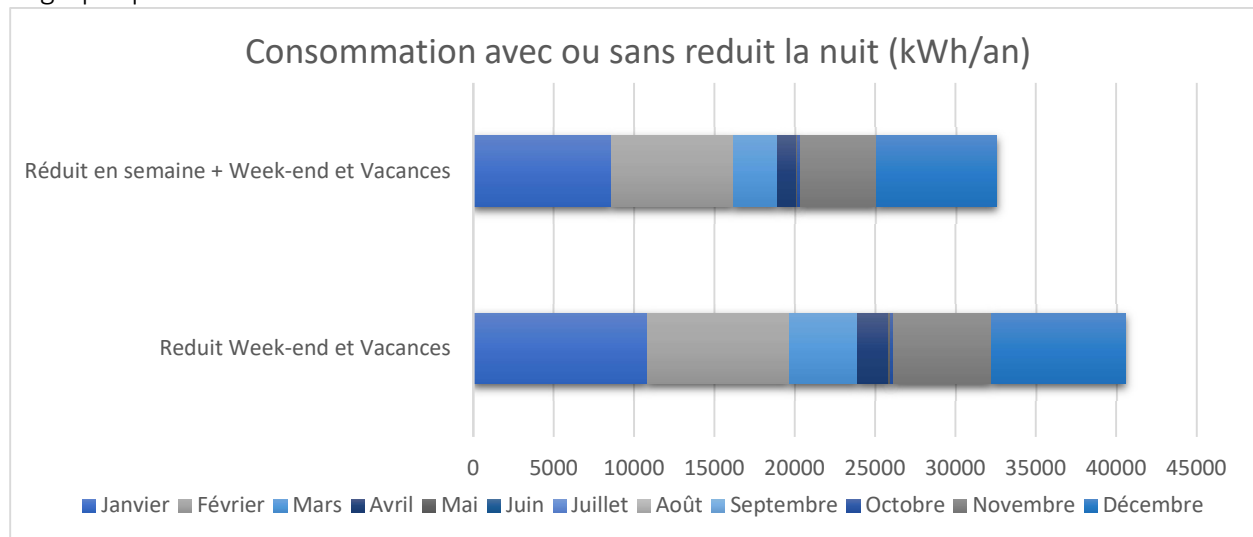


Figure 18. Gain de consommation avec ou sans réduit la nuit

5.3.4 Réfection de la toiture terrasse

La réfection de la toiture terrasse est aujourd'hui en option mais est encore en réflexion du côté de la maîtrise d'ouvrage. Pour servir d'aide à la décision, nous avons réalisé une simulation avec la réfection complète de la toiture. Le gain potentiel de cette opération attendrait 8% sur les consommations de chauffage.

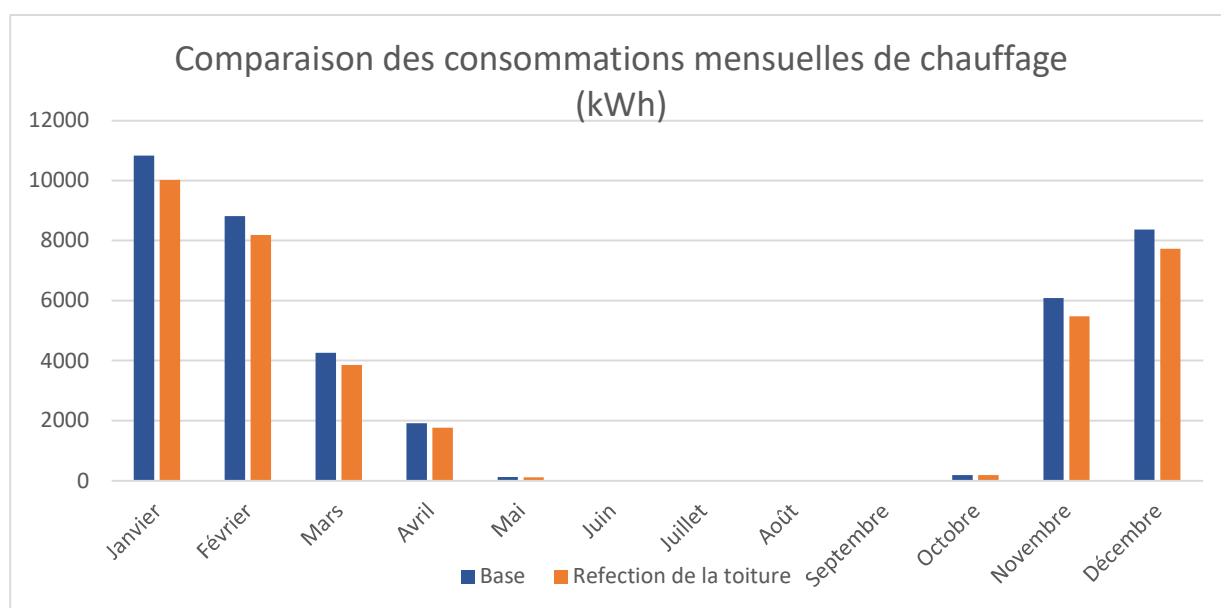


Figure 19. Comparaison des consommations mensuelles de chauffage

5.4 Récapitulatif

Nous constatons que les gains énergétiques seront élevés car le bâtiment existant est très déperditif (mur rideau peu performant, émetteurs de chauffage défectueux et sans régulation). La mise en place de nouveaux équipements et le renforcement de l'enveloppe thermique du bâtiment permet d'atteindre une économie de 78% des consommations de chauffage.

De plus, certaines actions complémentaires donneraient lieu à des économies supplémentaires, comme l'intégration d'un réduit e chauffage la nuit ou encore le remplacement de l'isolation sur la toiture terrasse.

	CHAUFFAGE	ELECTRICITE	TOTAL	Gain
AVANT TRVX	184 740 kWh	51 397 kWh	236 137 kWh	-
APRES TRVX	38 751 kWh	71 538 kWh	110289 kWh	-53% / existant
APRES TRVX (Réduction des apports)	47 562 kWh	52 433 kWh	99 995 kWh	-58% / existant
APRES TRVX (Sans Free-cooling)	40 598 kWh	70 221 kWh	110 819 kWh	-53% / existant
APRES TRVX (Réduit de chauffage)	32 544 kWh	71 719 kWh	104 263 kWh	-56% / existant
APRES TRVX (Isolation toiture terrasse)	37 322 kWh	71 513 kWh	108 835 kWh	-54% / existant

6 CONCLUSION

Les locaux d'enseignement sont des salles à forte occupation où le confort estival est impacté par les apports internes. Il est assez difficile de trouver le bon équilibre entre confort estival / confort hivernal et confort lumineux sans équipements mobiles.

Dans notre cas, l'équilibre a été trouvé grâce aux équipements suivants :

- Façade SUD :
 - Intégration d'un vitrage à contrôle solaire permettant de garder une transmission lumineuse importante
 - Gestion de l'éblouissement s'il y en a et de l'inconfort supplémentaire grâce à des stores intérieurs
 - Intégration d'un free-cooling nocturne durant les périodes de fortes chaleurs
- Façade EST :
 - Pas de prescriptions particulières car les apports solaires impactent peu le confort estival
 - Gestion de l'éblouissement s'il y en a et de l'inconfort supplémentaire grâce à des stores intérieurs
 - Intégration d'un free-cooling nocturne durant les périodes de fortes chaleurs
- Façade NORD :
 - Pas de prescriptions particulières car les apports solaires impactent peu le confort estival
 - Gestion de l'éblouissement s'il y en a et de l'inconfort supplémentaire grâce à des stores intérieurs
 - Intégration d'un free-cooling nocturne durant les périodes de fortes chaleurs
- Toiture :
 - Intégration d'un vitrage à contrôle solaire permettant de garder une transmission lumineuse importante

Enfin, ce calcul prend en compte **une occupation maximale des salles en occupation et des équipements électriques**. Il est fort possible que ces apports internes soient moins importants ou moins fréquents. Ainsi, le confort sera meilleur à l'inverse des consommations de chauffage qui risquent d'être plus importantes que celles présentées dans ce document.

La sensibilisation aux bonnes pratiques (ventilation naturelle / utilisation des protections solaires) des utilisateurs sera importante pour réduire les consommations hivernales et augmenter le confort d'été.