

Audit énergétique

Rapport audit



Audit énergétique Hall F

Musée de l'Air et de l'Espace

MAÎTRE D'OUVRAGE

Musée de l'air et de l'Espace

Aéroport de Paris - Le Bourget
CS 90005 - 93352 Le Bourget cedex

MUSÉE
AIR +
ESPACE
AÉROPORT PARIS – LE BOURGET

EVOLUTION DU DOCUMENT

Document

N/Réf.	Ind.	Date	Rédacteur	Action
PAS.IN.AU039	A	20/09/2023	HAL	Rédaction
		20/10/2023	CDR	Relecture

Sommaire

1. PREAMBULE	3
1.1. Contexte	3
1.2. Interlocuteurs	3
1.3. Visites de site	4
1.4. Identification du bâtiment	4
1.5. Energies et usages	5
1.6. Plans	6
2. REFERENTIEL	7
2.1. Performance globale	7
2.1.1. RT « globale »	7
2.1.2. Niveau de labélisation	7
2.1.3. Objectifs décret tertiaire	7
2.2. Performance élément par élément	8
2.2.1. RT « élément par élément »	8
2.2.2. Niveau CEE	8
3. ETAT DES LIEUX	9
3.1. Parois du bâtiment	9
3.2. Menuiseries extérieures	10
3.3. Equipements techniques	10
4. CONSOMMATION DE REFERENCE	11
4.1. Electricité	11
4.2. Réseau de chaleur	12
5. MODELISATION ENERGETIQUE	13
5.1. Bilan des déperditions thermiques	13
5.2. Consommations annuelles par usages	14
5.3. Détail des consommations énergétiques par usage	15
5.3.1. Consommations liées au chauffage	15
5.3.2. Consommations liées au traitement d'air	15
5.3.3. Consommations liées à l'éclairage	15
5.4. Indicateurs de performance énergétique (IPes)	15
5.5. Comparaison des consommations théoriques aux consommations réelles	16
6. PRECONISATIONS	17
6.1. Amélioration de la performance de l'enveloppe	17
6.2. Amélioration de la performance des équipements de chauffage - ventilation	19
6.2.1. Solution 1 : Remplacement de la CTA et mise en place d'émetteurs chauffage en complément	19
6.2.2. Solution 2 : Passage sur un système de chauffage tout air par pompe à chaleur	23
6.3. Synthèse énergétique	26

1. PREAMBULE

1.1. Contexte

La présente étude concerne le hall H qui a une surface plancher de 3 121 m².
Le bâtiment comporte un grand hall d'exposition.



Photo de l'extérieur du Hall F

L'audit énergétique comprend :

- L'établissement d'un état des lieux du bâtiment ;
- La réalisation d'une modélisation thermique statique au réel ;
- La formulation de préconisations énergétiques à la fois sur le pilotage des installations, les équipements et l'enveloppe du bâtiment ;
- L'établissement de scénarios de travaux en lien avec les objectifs énergétiques ambitieux du décret tertiaire à l'échelle du site.

Les résultats de l'audit sont repris dans un rapport de synthèse à l'échelle du site.

1.2. Interlocuteurs

MUSEE DE L'AIR ET DE L'ESPACE		
Christel MEYRE Responsable de pôle BMI	06 75 04 25 43	christel.meyre@museeairespace.fr
Guido BOROLI Chargé de projet bâtiment Pôle bâtiment, maintenance et infrastructure	01 49 92 70 80	guido.boroli@museeairespace.fr
NEPSEN		

Christophe DELFOUR Responsable projet	06 08 42 88 43	christophe.delfour@nepsen.fr
Khoa Huu Anh LE Ingénieur étude	01 60 15 01 35	huu-anh-khoa.le@nepsen.fr

1.3. Visites de site

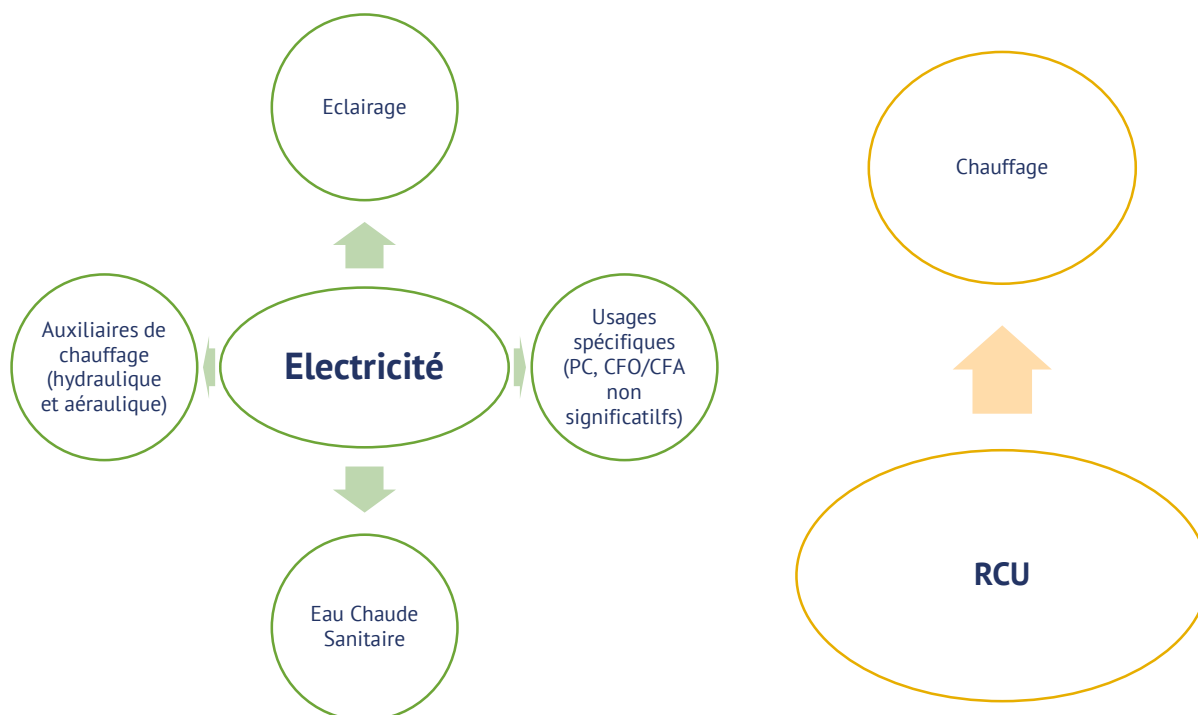
DATE	OBJET	COMMENTAIRE
10/05/2023	Visite technique	Visite générale de site - hors Dugny
05/07/2023	Visite technique complémentaire	Visite spécifique sur bâtiment 26, HM2 et chaufferie gaz centrale
17/08/2023	Visite technique complémentaire	Visite spécifique sur bâtiments Béchat, Bermuda et locaux techniques CTA halls

1.4. Identification du bâtiment

RENSEIGNEMENTS SUR LE SITE	
Adresse	Aéroport de Paris – Le Bourget, 93352 Le Bourget
Nom du bâtiment	Hall F
Année de construction /Rehabilitation	Années 1990
Surface utile (SU)	3121 m ²
Activité	ERP - Salle d'exposition
Effectifs	200 personnes
Horaires d'occupation	Mardi au Dimanche, 10h à 18h
Energies utilisées	Electricité, Réseau de chaleur

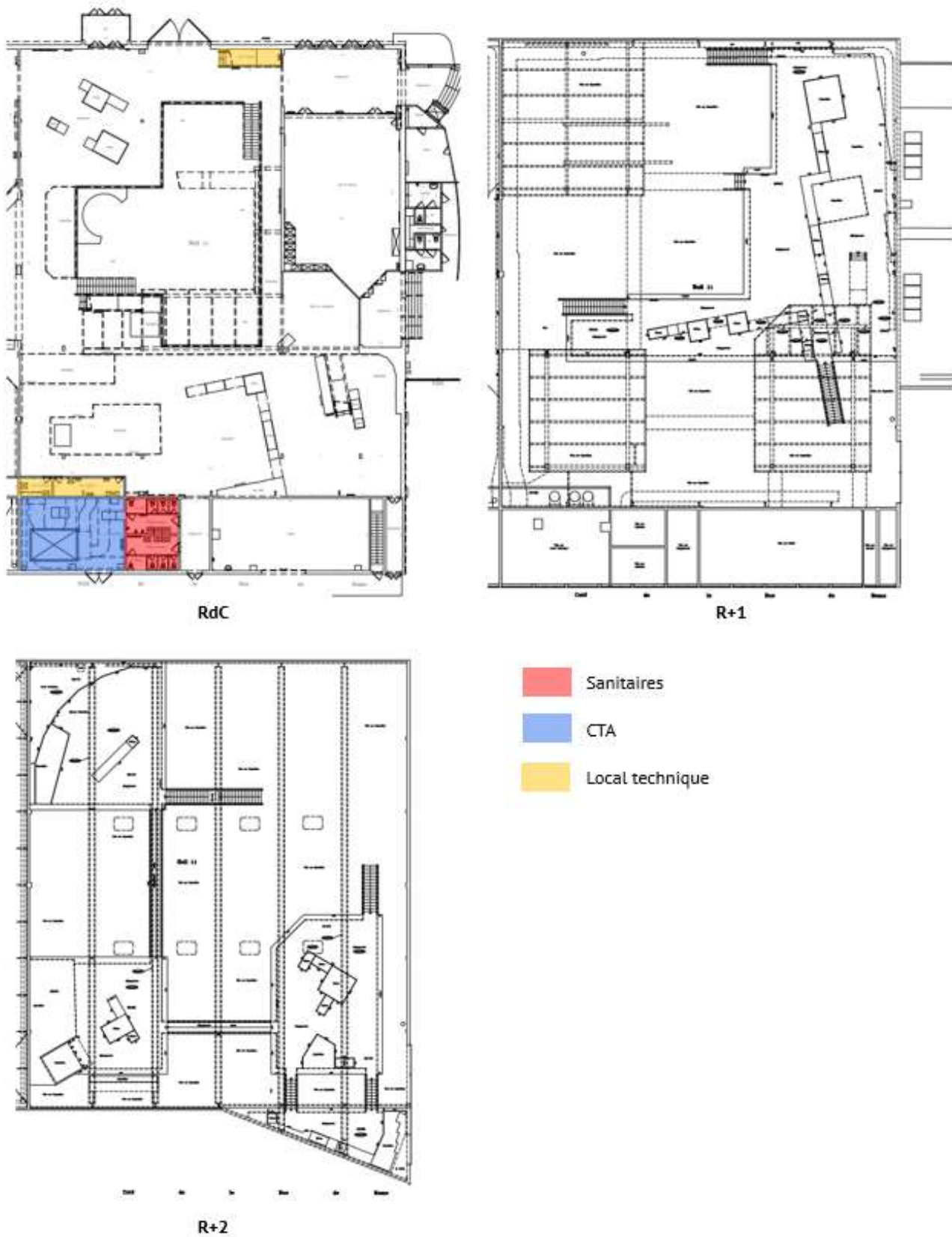
1.5. Energies et usages

Les schémas ci-dessous représente les énergies intervenantes et les usages énergétiques associés :



Usages énergétiques du Hall F

1.6. Plans



Plan du Hall F

2. REFERENTIEL

2.1. Performance globale

2.1.1. RT « globale »

La réglementation thermique pour les bâtiments existants dite « globale » (RT Ex Globale) (décret du 29 décembre 2011 modifiant l'arrêté du 13 juin 2008) s'applique aux bâtiments existants qui respectent les critères suivants :

- Achèvement de la construction après 1948,
- Surface de plancher est supérieur à 1 000 m²,
- Coûts des travaux énergétiques de réhabilitation sont supérieurs à 25% de la valeur conventionnelle de l'immeuble.

Cette réglementation impose des exigences de résultats et de moyens tels que définis dans l'arrêté du 13 juin 2008 mentionné précédemment, justifiés par une étude thermique dite conventionnelle selon la méthode de calcul THCE-Ex non réalisée dans le cadre cette étude.

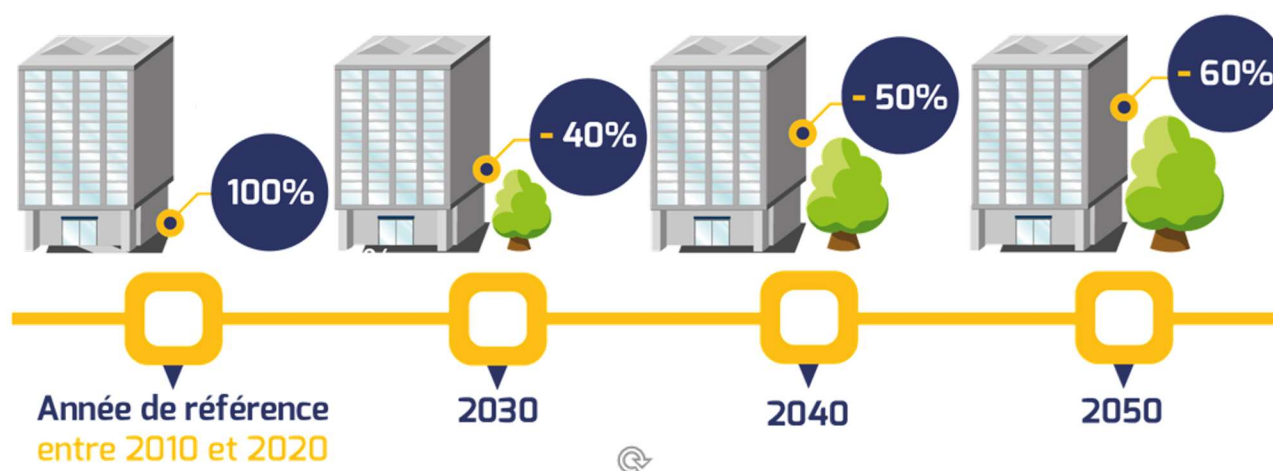
2.1.2. Niveau de labélisation

Le calcul conventionnel THCE-Ex permet également de niveaux de performances des labels d'état comme HPE-Rénovation ou BBC-Rénovation.

2.1.3. Objectifs décret tertiaire

La loi ÉLAN impose une **réduction de la consommation énergétique du parc tertiaire français**, en introduisant l'article L111-10 dans le Code de la Construction et de l'Habitation : « **Tout bâtiment, partie de bâtiment ou ensemble de bâtiments** soumis à l'obligation doit atteindre, pour chacune des années 2030, 2040 et 2050, un des objectifs suivants :

1° Soit un niveau de consommation d'énergie finale réduit, respectivement, **de 40 %, 50 % et 60 % par rapport à une consommation énergétique de référence qui ne peut être antérieure à 2010** ;



2° Soit un niveau de consommation d'énergie finale **fixé en valeur absolue**, en fonction de la consommation énergétique des bâtiments nouveaux de leur catégorie. »

Les textes d'application déjà connus sont :

- Le décret n°2019-771 du 23 juillet 2019 = « *Décret Tertiaire* »
- L'arrêté du 10 avril 2020 = « *Arrêté Méthode* »
- L'arrêté du 24 novembre 2020 modifiant l'arrêté du 10 avril 2020 = « *Valeurs Absolues I* »
- L'arrêté du 13 avril 2022 modifiant l'arrêté du 10 avril 2020 = « *Valeurs Absolues II* »

Les textes d'application à venir sont :

- Un troisième arrêté modifiant l'arrêté du 10 avril 2020 = « *Valeurs Absolues III* » attendu pour le courant du second semestre 2022

Cabs = CVC + USE

- **USE** : Consommation énergétique relative aux usages spécifiques, propre à l'activité et aux usages immobiliers
- **CVC** : Consommation énergétique liée rythme d'utilisation de référence, fonction de la zone climatique et de l'altitude

2.2. Performance élément par élément

2.2.1. RT « élément par élément »

La réglementation thermique pour les bâtiments existants dite « élément par élément » (arrêté du 22 mars 2017 modifiant l'arrêté du 3 mai 2007) impose, dans le cadre d'une intervention sur un élément du clos et couvert, le minimum de performances suivantes pour la zone climatique de l'immeuble étudié (valeurs en vigueur au 01/01/2023) :

- Mur sur extérieur : résistance thermique totale $R \geq 3,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- Mur en contact avec un volume non chauffé : résistance thermique totale $R \geq 2,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- Toiture-terrasse : résistance thermique totale $R \geq 4,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- Plancher de combles perdus : résistance thermique totale $R \geq 5,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- Rampants de toiture : résistance thermique totale $R \geq 5,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- Plancher bas : résistance thermique totale $R \geq 3 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- Menuiserie extérieure : conductivité thermique $U_w \leq 1,9 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$.

Note : la conductivité thermique U (en $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$) est l'inverse de la résistance thermique : $U = 1/R$.

2.2.2. Niveau CEE

Dans le cadre de la recherche d'un niveau de performance globale, et la mobilisation éventuelle de CEE pour le secteur « tertiaire », les niveaux performants suivants sont visés :

- Mur sur extérieur : résistance thermique totale $R \geq 3,7 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- Mur en contact avec un volume non chauffé : résistance thermique totale $R \geq 2,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- Toiture-terrasse : résistance thermique totale $R \geq 4,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- Plancher de combles perdus : résistance thermique totale $R \geq 6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- Rampants de toiture : résistance thermique totale $R \geq 6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- Plancher bas : résistance thermique totale $R \geq 3 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- Menuiserie extérieure : conductivité thermique $U_w \leq 1,5 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ et facteur solaire $Sw \leq 0,15$ pour les fenêtres de toiture ; conductivité thermique $U_w \leq 1,3 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ et facteur solaire $Sw \leq 0,35$ pour les autres fenêtres ou portes-fenêtres.

Note : la conductivité thermique U (en W/(m².K)) est l'inverse de la résistance thermique : $U = 1/R$.

3. ETAT DES LIEUX

Les indicateurs suivants sont utilisés pour évaluer le niveau de performance du bâtiment :

Indicateurs	Performance énergétique
	Bonne performance : supérieure à la réglementation thermique
	Performance moyenne : < 50% d'écart avec la réglementation thermique
	Performance mauvaise : > 50% d'écart avec la réglementation thermique
!	À remplacer dans les plus brefs délais

3.1. Parois du bâtiment

CLOS ET COUVERT			
Elément	Désignation	Descriptif	Performance
Façades	Bardage métallique	Structure ossature métallique Couverture en bardage métallique non-isolée	Absence d'isolation
			R : 0,16
			Ecart : -95%
			Evaluation :
	Parois maçonnées	Parois maçonnées (supposée faiblement isolé de 4cm)	Faible isolation
			R : 1
			Ecart : -69%
			Evaluation :
Toiture	Toiture	Toiture terrasse non-accessible en bardage métallique double peau (supposé isolant 4cm rockwool)	Faible isolation
			R : 1,29
			Ecart : -71%
			Evaluation :
Plancher bas	Plancher bas sur terre-plein b=0,25	Dalle béton épaisseur inconnue (supposée 15cm) Supposée non-isolée	Correte
			R : 0,29
			Ecart : -
			Evaluation : -

3.2. Menuiseries extérieures

CLOS ET COUVERT				
Elément	Désignation	Descriptif	Performance	
Menuiseries	Menuiseries extérieures	Menuiseries aluminium double-vitrage 4/6/4 à rupteurs de ponts thermique	Correcte	
			Uw :	2
			Ecart :	-5%
			Evaluation :	
	Polycarbonate toiture	Voût éclairante non-ouvrable en polycarbonate ancien	Mauvaise performance	
			Uw :	3,4
			Ecart :	-79%
			Evaluation :	
	Portes extérieures	Portes métalliques simples	Mauvaise performance	
			Uw :	4,5
Ecart :			-125%	
Evaluation :				

3.3. Equipements techniques

EQUIPEMENTS TECHNIQUES			
Désignation	Descriptif	Régulation	Performance
Chauffage	Chauffage par air sur Réseau de Chauffage Urbain (CTA) Sous-station : S6/7 Echangeur calorifugé	Période de chauffage : M au D, de 10h à 18h	Performance moyenne
Centrale de traitement d'air	Equipement en tout recyclage avec possibilité d'apport d'air neuf (volet fermé) mettant en surpression le bâtiment Equipement dimensionné sur le débit important d'air fixe permettant d'assurer seul les besoins de chauffage par conditions extérieures défavorables. Hypothèse : 68 000 m ³ /h	Fonctionnement intermittent contrôlé manuellement par l'exploitant compte tenu du surdimensionnement du débit la très grande majorité du temps.	Pas conforme au règlement sanitaire départemental
			Evaluation : 
Eclairage	Luminaire technique LED Puissance estimée : 8500W	Temps de fonctionnement : M au D, de 10h à 18h	Bon état
			Evaluation : 

Nota sur fonctionnement du système de chauffage – ventilation :

La centrale de traitement assure un fort brassage d'air du bâtiment (2,7 vol/h) correspondant aux besoins calculés par température extérieure de base pour maintenir une ambiance à 18°C au niveau des espaces d'accueil du public par un système tout air (3m de hauteur sous plafond).

Les besoins de renouvellement d'air hygiénique sont estimés à 0,2 vol/h en considérant l'effectif maximal. Ils sont assurés aujourd'hui par infiltrations d'air, le registre d'air neuf étant fermé. L'apport mécanique d'air neuf, préconisé avec l'amélioration de l'étanchéité de l'enveloppe ou des exigences ambitieuses de qualité d'air, nécessiterait la mise en place d'un rejet avec récupération de chaleur.

Les mesures de débit et de puissance électrique ont permis de confirmer les hypothèses prises et une performance très médiocre avec une consommation importante des ventilateurs liée au fonctionnement sur le débit maximum fixe, et un faible rendement au niveau du moto-ventilateur. (0,40 Wh/m³).

Compte tenu du débit fixe sur besoin maximal, l'exploitant est contraint pour limiter les surconsommations, de faire fonctionner l'équipement ponctuellement sur besoin.

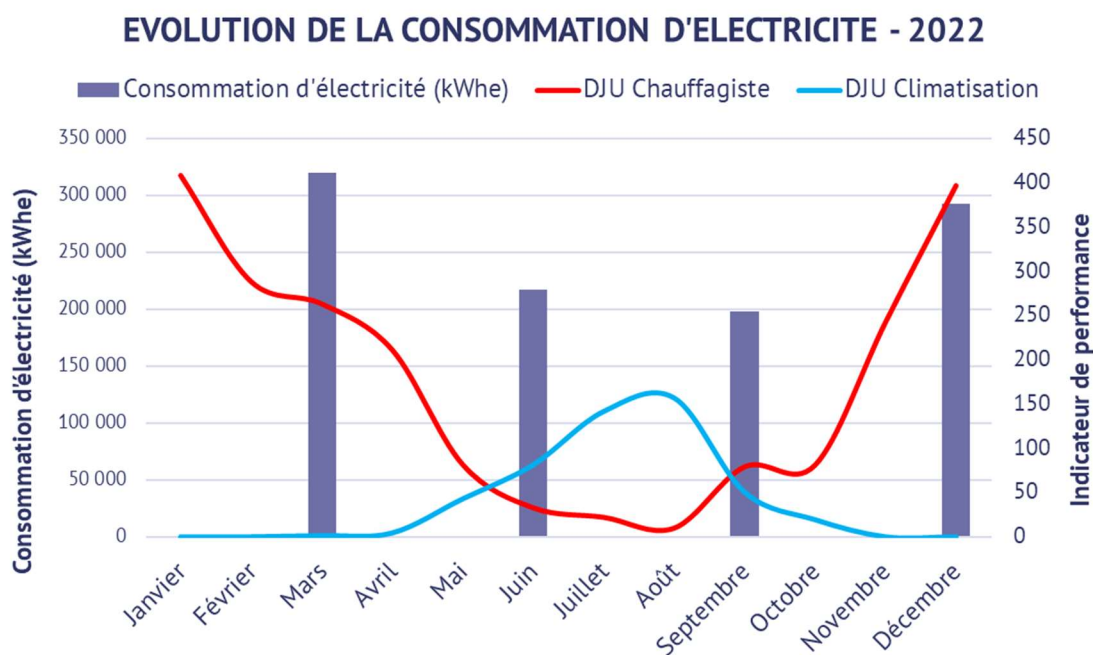
4. CONSOMMATION DE REFERENCE

4.1. Electricité

Le compteur MAE (159-167-49)bis correspond à la consommation d'électricité de la plupart des bâtiments du site Bourget, y compris : Aérogare, les halls E, F, Ebis et C/D.

Il n'existe pas de sous-comptage dédié au hall F.

Le graphique ci-dessous présente les consommations annuelles d'électricité en kWh pour l'année de référence utilisée, à savoir 2022.



Consommation d'électricité relevé du compteur MAE (159-167-49)bis – Année 2022

Les relevés de consommations communiqués sont trimestriels. En 2022, 1 071 993 kWh a été consommé avec un prix moyen de 0.163 €/HT/kWh.

Compte tenu des usages, les consommations sont principalement liées au chauffage et donc sont fortement liées à la rigueur climatique hivernale (+50% par rapport à la période hors période de chauffe).

Les besoins d'éclairage évoluent légèrement suivant la durée du jour. Les consommations estivales sont un peu impactées par les besoins de refroidissement au niveau de l'aérogare.

Compte tenu des usages du hall F, celui-ci compte principalement dans les consommations des auxiliaires de chauffage.

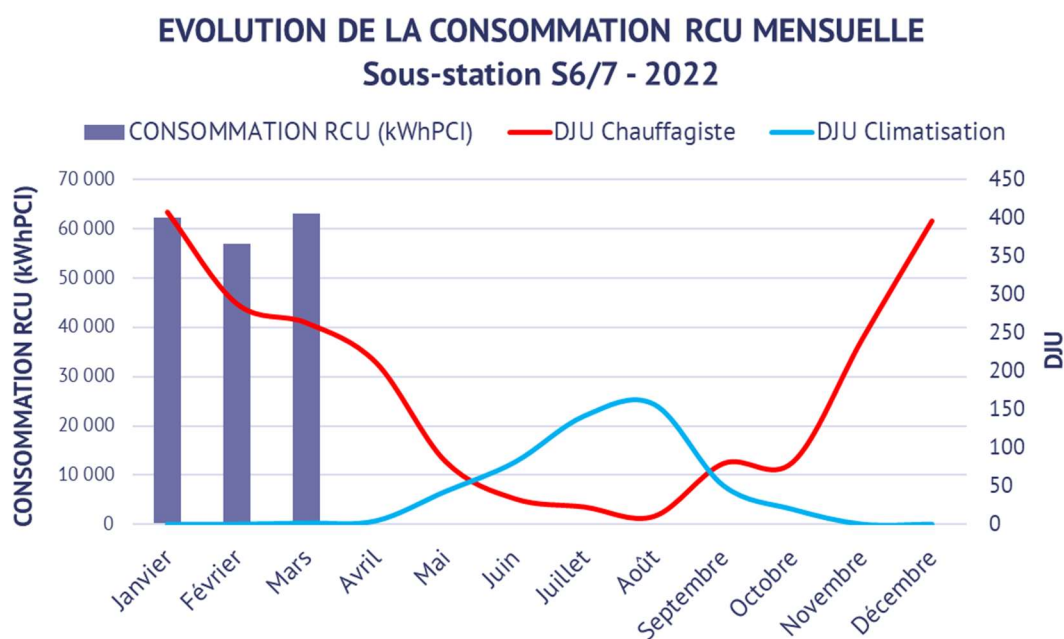
4.2. Réseau de chaleur

La sous-station S6/7 alimente la réseau chauffage des Halls F, E et Ebis. Il y a un comptage spécifique pour la sous-station mais pas par bâtiment.

La puissance souscrite pour la sous-station S6/7 est de 733kW en régime haute température correspondant à la puissance utile totale 550kW.

Les travaux de réhabilitation énergétique permettraient, outre le fait de diminuer les consommations, de minimiser la puissance appelée, voir le régime de température et donc de diminuer le cout de l'abonnement.

Les halls des expositions ont été réouvert au public à partir de janvier 2022. La consommation RCU du premier semestre de 2022 est présenté dans le graphique ci-dessous :



Consommation facturée de la Sous-station S6/7

Dans la période de facturation (01-03/2022), 182 376 kWhPCI a été consommé avec le prix moyen de 0.150 €HT/kWhPCI.

5. MODELISATION ENERGETIQUE

5.1. Bilan des déperditions thermiques

Volume chauffé	25 358 m ³
Ubât	1,65 W/m ² .K
T ext base hiver	-5
T int	18

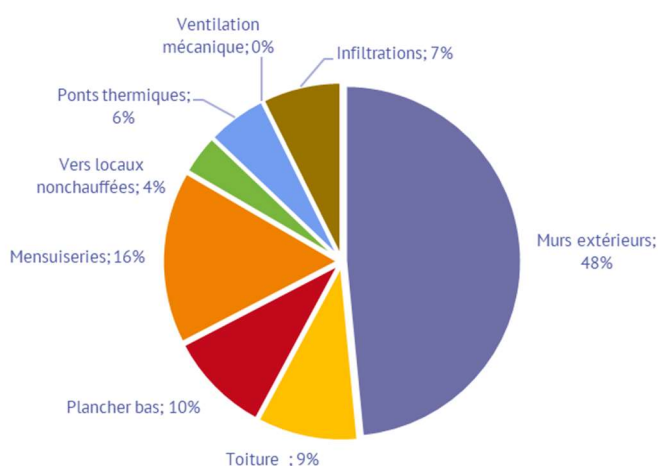
DEPERDITIONS HALL F			
Localisation	Surface total (m ²)	Déperdition (W/K)	Part (%)
Murs extérieurs	1694	4733	48%
Toiture	1307	915	9%
Plancher bas	1862	931	10%
Mensueries	445	1563	16%
Vers locaux nonchauffés	173	363	4%
Ponts thermiques	-	543	6%
Ventilation mécanique	-	0	0%
Infiltrations	-	716	7%
TOTAL DEPERDITIONS	5480	9764	100%

DEPERDITIONS VENTILATION			
Localisation	Débit air neuf (m ³ /h)	Déperditions (W/K)	Part (%)
Ventilation mécanique	0	0	0%
Infiltrations	2 105	716	100%
TOTAL VENTILATION	2105	716	100%

BILAN DES DERPERDITIONS		
Déperditions bâti G1	0,36	W/m ³ .K
Déperditions ventilation G2	0,03	W/m ³ .K
TOTAL DEPERDITIONS G	0,39	W/m³.K
PUISANCE UTILE CHAUFFAGE	236	kW

Avec surpuissance de 5%

REPARTITION DES DEPERDITIONS (W/K)



5.2. Consommations annuelles par usages

Les données suivantes ont été prises en compte pour l'étude :

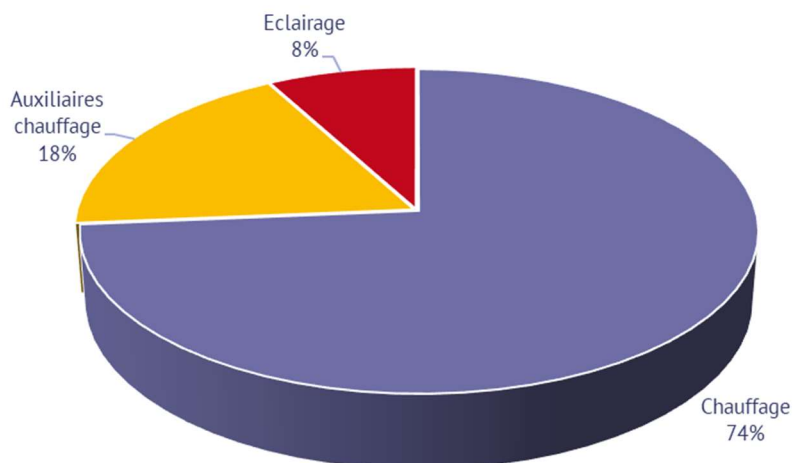
- Station météo : Paris-Le Bourget (zone H1a)
- Température extérieure de base : -5°C
- DJU chauffagiste (COSTIC trentenaires) : 2394°C
- Consigne de chauffage : 18°C
- Surface utile : 3121 m²
- Plages occupation, éclairage et chauffage : Mardi au dimanche - 10-18h
- Surface : salle d'exposition 100%
- Nombre d'occupant : max. 200 personnes

Le tableau ci-dessous présente la répartition des consommations énergétiques annuelles par usage :

CONSOmmATIONS D'ENERGIE PAR USAGE					
Usage	Energie	Consommations (kWhEF)	Consommations (kWhEP)	Consommations (kWhEP/m ² SU)	%
Chauffage	Réseau de chaleur	196 423	196 423	63	74%
Auxiliaires chauffage/ventilation	Electricité	48 960	126 317	40	18%
Eclairage	Electricité	21 274	54 888	18	8%
Total		266 657	377 627	121	100%

REPARTITION DES CONSOMMATION PAR USAGE

Sur la base de la consommation en kWhEF



5.3. Détail des consommations énergétiques par usage

5.3.1. Consommations liées au chauffage

CONSOMMATIONS DE CHAUFFAGE - Hall F						
Nom	Energie	Puissance calorifique totale	Horaires de fonctionnement	Réduit	Consigne de température	Consommations (kWhEF/an)
CTA - Hall F	Réseau de chaleur	236 kW	M au D de 10h à 18h	1	Hiver : 18°C	196 423
TOTAL	-	-	-	-	-	196 423

5.3.2. Consommations liées au traitement d'air

CONSOMMATIONS DE TRAITEMENT D'AIR - Hall F					
Nom	Débit	Temps de fonctionnement	Utilisation	Ratio de consommation ventilateur	Ventilateurs (kWhEF/an)
CTA Hall F	68000 m ³ /h	30h/semaine	Ponctuelle	0,40 W/(m ³ /h)	48 960
TOTAL					48 960

5.3.3. Consommations liées à l'éclairage

CONSOMMATIONS D'ECLAIRAGE						
Nom	SU (m ²)	Puissance d'éclairage totale (W)	Horaires de fonctionnement	Mode d'allumage	Simultanéité	Consommations (kWhEF/an)
Hall F (Exposition)	3121	8500	8heures/jour 6jours/semaine	Commande manuelle	1,0	21 274
TOTAL	-	-	-	-	-	21 274

5.4. Indicateurs de performance énergétique (IPes)

CONSOMMATIONS D'ENERGIE PAR USAGE ET INDICATEURS DE PERFORMANCE						
Usage	Facteurs d'influence	Valeur de référence	Consommations modélisées (kWhEF)	Unité de référence	Valeur de référence	Indicateur de performance modélisé
Chauffage	Horaires d'activité DJU Chauffagiste	48h/semaine 2394°C	196 423	m ² SU	3121	62,9 kWhEF/m² SU
Auxiliaires chauffage	Horaires d'activité DJU Chauffagiste	48h/semaine 2394°C	48 960	m ² SU	3121	15,7 kWhEF/m² SU
Eclairage	Horaires d'activité	48h/semaine	21 274	m ² SU	3121	6,8 kWhEF/m² SU
Total	Horaires d'activité DJU	48h/semaine 2394°C	266 657	m² SU	3121	85,4 kWhEF/m² SU

5.5. Comparaison des consommations théoriques aux consommations réelles

La comparaison a été réalisée afin de vérifier la cohérence entre les consommations théoriques de nos modèles et les consommations réelles. Vis-à-vis la fermeture temporaire du musée en 2021 à cause de la pandémie de Covid-19, les données des énergies consommées pendant les trois années précédentes sont incomplètes.

Pour cette raison, la période de référence de chaque type d'énergie a été recalée sur des celles des factures fournies.

Les détails de la comparaison sont présentés dans le tableau ci-dessous :

ECART ENTRE LES CONSOMMATIONS REELLES ET LES CONSOMMATIONS THEORIQUES								
Bâtiment	Electricité							
	HT/BT	Période de facturation	DJU de la période	Consommations théoriques (kWhEF)	Total (kWhEF)	Consommations réelles (kWhEF)	Ecart en kWhEF	% d'Ecart
Hall F	MAE	01/01/2022 - 01/01/2023	2 119	70 234	1 026 698	1 027 143	-445	0%
Hall E				81 129				
Hall Ebis				1 827				
Hall C/D				99 823				
Aérogare				272 284				
Plané NN				81 401				
Autres				420 000				
Bâtiment	Réseau de chaleur							
	Sous-station	Période	DJU de la période	Consommations théoriques (kWhEF)	Total (kWhEF)	Consommations réelles (kWhEF)	Ecart en kWhEF	% d'Ecart
Hall F	S6/7	01/2022 - 03/2022	960	78 750	181 822	182 376	554	0%
Hall E				84 310				
Hall Ebis				18 762				

Nota : Les modélisations énergétiques des bâtiments concernées sont retrouvables dans leurs audits détaillés.

6. PRECONISATIONS

Les préconisations identifiées visent d'une part à réduire les besoins au maximum avec l'amélioration de l'isolation de l'enveloppe, et améliorer la performance des utilités.

Les hypothèses pour les calculs de gains financières sont les suivants :

- Prix d'électricité : 0.163 €HT/kWhe
- Prix de réseau de chaleur : 0.150 €HT/kWhe
- Taux d'inflation optimiste : 3%/an.

6.1. Amélioration de la performance de l'enveloppe

Cette préconisation concerne l'ensemble du clos et couvert du hall :

- Isolation par l'intérieur des murs extérieurs en bardages métalliques (avec 10cm de laine de verre, $\lambda=0,035\text{W/m.K}$)
- Isolation sous rampant de la toiture ou remplacement complète de la toiture existante (pour une résistance thermique totale $R \geq 5,2 \text{ m}^2.\text{K/W}$) sous réserve de l'état de conservation et la capacité de surcharge de couverture
- Remplacement des polycarbonates anciennes par les plaques de polycarbonate triple-paroi ($U_w=1,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$)
- Remplacement les portes métalliques par les portes métalliques performantes ($U_d=2,0 \text{ W/m}^2.\text{K}$)

Le tableau ci-dessous présente le bilan de déperditions par l'enveloppe du hall F après la rénovation :

DEPERDITIONS APRES RENOVATION - HALL F				
Localisation	Surface total (m ²)	Déperdition (W/K)	Part (%)	Réduction /Etat actuel (%)
Murs extérieurs	1694	511	15%	89%
Toiture	1307	242	7%	74%
Plancher bas	1862	931	27%	-
Mensueries	445	768	23%	51%
Vers locaux nonchauffés	173	363	11%	0%
Ponts thermiques	-	180	5%	67%
Ventilation mécanique	-	0	0%	-
Infiltrations	-	406	12%	43%
TOTAL DEPERDITIONS	5480	3399	100%	65%

Récapitulatifs des travaux de l'enveloppe :

DESCRIPTION			GAIN ENERGETIQUE		GAIN ENVIRONNEMENTAL		GAIN FINANCIER			
No.	Action	Hypothèses	Gain kWhEF/an	Gain total %EF	Gain total kgéqCO2	Gain g déchets nucléaires	Investissement €HT	Gain €HT/an	Temps de retour brut	Temps de retour actualisé
1	Isolation par l'intérieur des bardages métalliques	Isolation par l'intérieur des murs extérieurs en bardages métalliques par 10cm de laine de verre $R_{total}=3,8(m^2K/W)$	105 112	39%	23781	248	231 000 €	16 029 €	15	12
2	Isolation sous-toiture	Isolation sous-rampant de la toiture par les panneaux rigides en laine de verre $R_{total}=5,2(m^2K/W)$	17 856	7%	3882	53	196 000 €	2 735 €	>25	>25
2b	Remplacement complète de la toiture existante	Rénovation complète de la toiture existante en bardage métallique pour $R_{total}=5,2(m^2K/W)$	17 856	7%	3882	53	294 000 €	2 735 €	>25	>25
3	Remplacement des polycarbonates anciennes	Remplacement des polycarbonates toiture par les plaque de polycarbonate triple-paroi $U_w=1,5 W/m^2.K$	16 934	6%	3642	53	50 000 €	2 596 €	20	15
4	Remplacement des portes métalliques non-isolées	Remplacement des portes métalliques existantes par des portes métallique à isolation thermique $U_d=2 W/m^2.K$	7 114	3%	1343	35	43 000 €	1 104 €	>25	>25

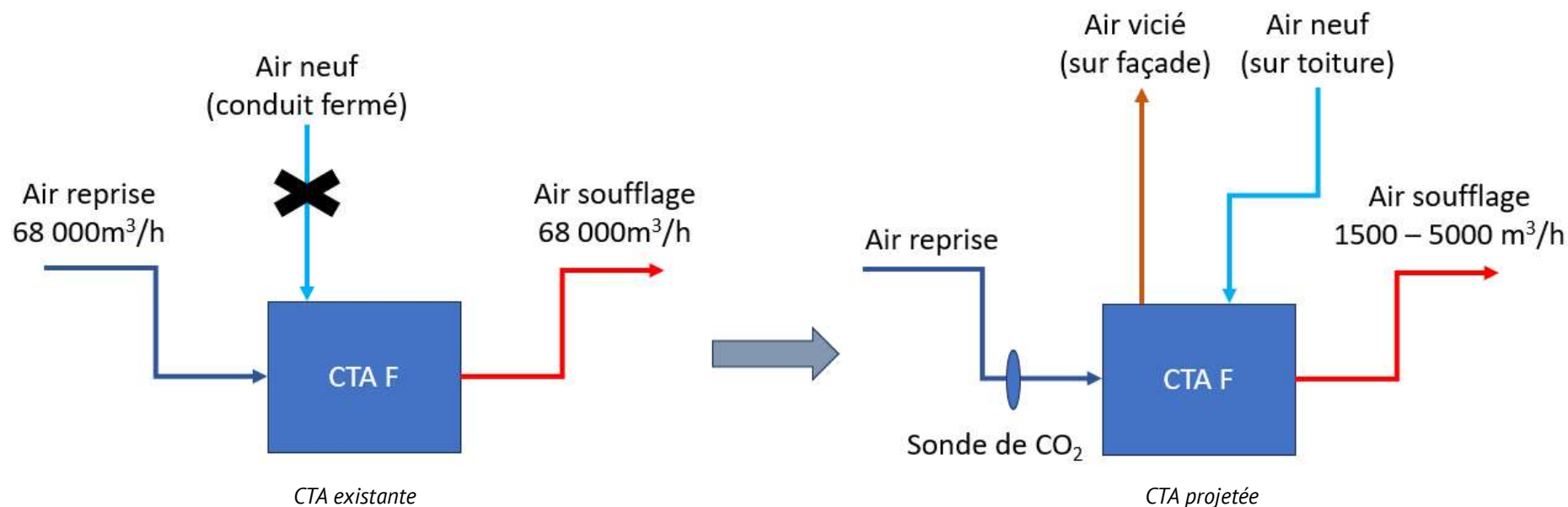
6.2. Amélioration de la performance des équipements de chauffage - ventilation

6.2.1. Solution 1 : Remplacement de la CTA et mise en place d'émetteurs chauffage en complément

La centrale de traitement d'air actuelle est la cause d'importantes consommation liée au besoin d'un brassage important pour compenser les déperditions par un système tout air déporté. De plus, le système actuel ne permet pas le renouvellement d'air hygiénique de façon efficace et performante.

Nous proposons le remplacement de la CTA par un modèle en tout air neuf avec récupération de chaleur (rejet à créer) dimensionné uniquement sur les besoins en débit d'air hygiénique et modulant en fonction des besoins réels. La CTA sera équipée d'une batterie chaude raccordée sur la sous-station RCU de sorte d'assurer une partie du chauffage du volume, notamment quand les apports internes par les personnes sont moindres. Les consommations des ventilateurs sera fortement diminuée avec des débits moindres et une meilleure efficacité (25Wh/m³).

Afin de créer un rejet, il est préconisé de réutiliser la gaine existante pour l'air neuf et débouchant en toiture comme rejet, et de créer une prise d'air neuf en façade au niveau des menuiseries en imposte.

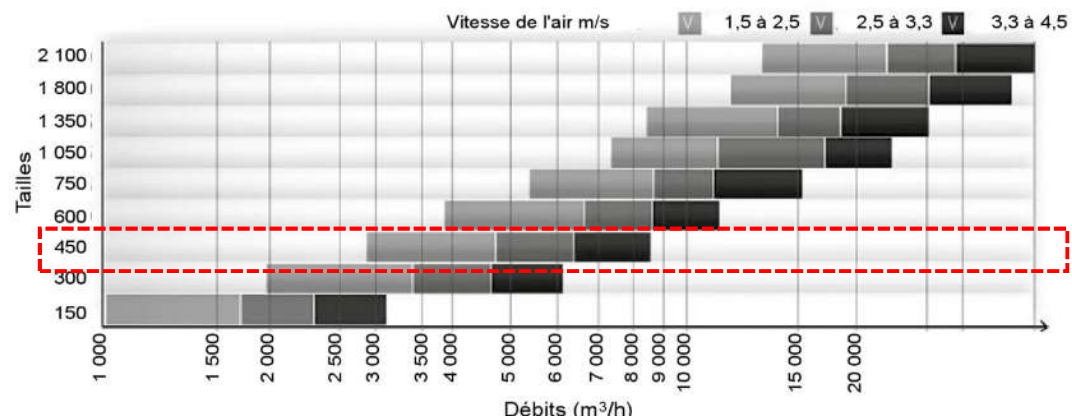


Produit de référence : Carrier 39CP L taille 450

39CP L : applications tertiaires



Tableau de sélection



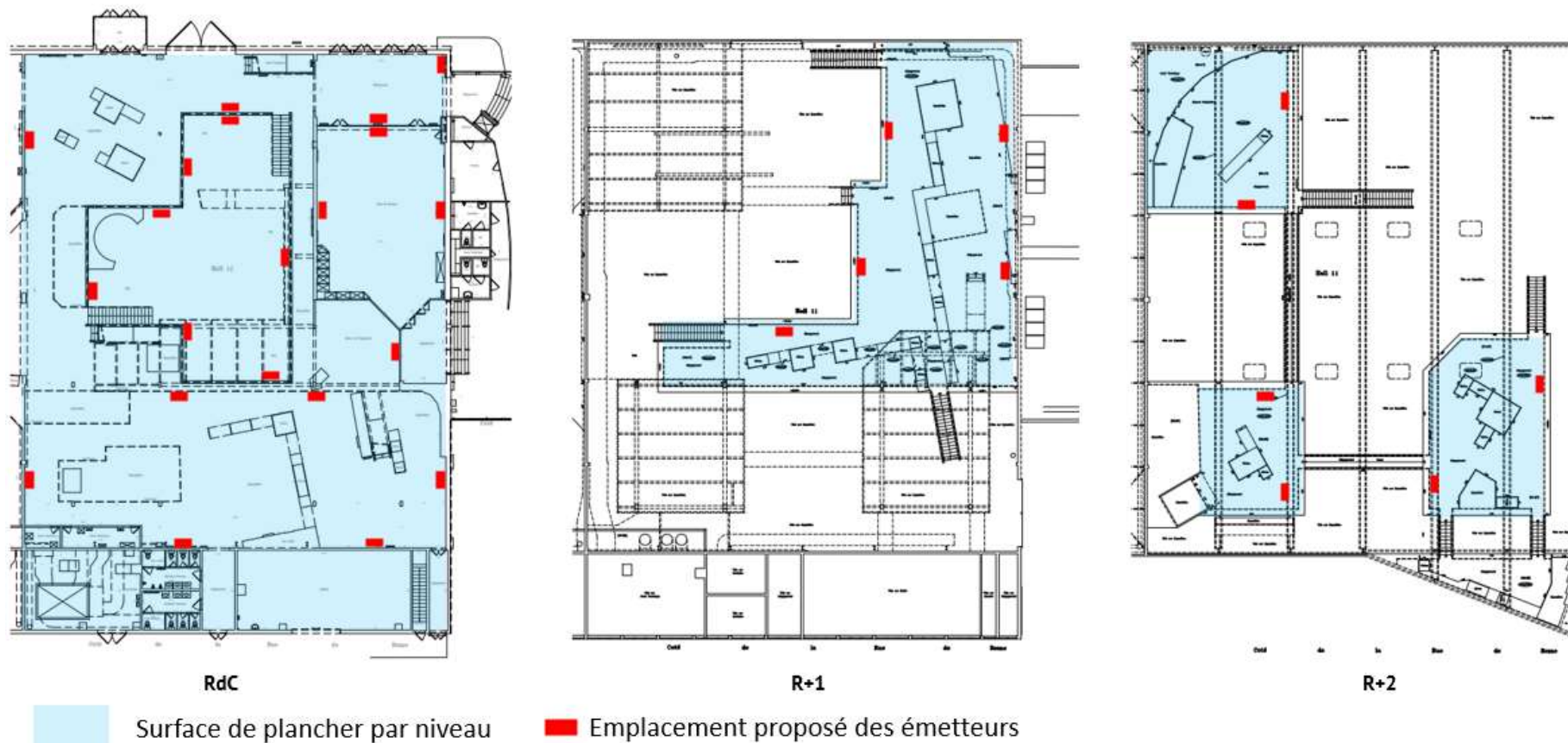
En complément, des émetteurs type rayonnant ou soufflant sur réseau de chauffage depuis sous-station RCU, seront mis en place dans les zones accessibles au public et notamment les zones de stationnement. Une distribution bitube sera à prévoir depuis la sous-station, isolée au moins sur le parcours aérien et en dehors des zones de stationnement public.

Ce type de chauffage assure une chaleur ciblée pour éviter de chauffer tout le volume du bâtiment.

Les besoins de chauffage sont recalculés en prenant en compte une diminution de la température moyenne du volume.

BILAN DE CHAUFFAGE		
	Unité	Solution 1
Déperditions de l'enveloppe	W/K	9 048
Débit d'air hygiénique	m3/h	5 000
Déperditions de ventilation totale	W/K	2 416
Besoin de chauffage brut	kW	263,7
Coef. de réduction		1,5
Besoin de chauffage réduit	kW	175,8
BESOIN DE CHAUFFAGE (SURPUISSANCE 5%)	kW	184,6
Débit de soufflage	m3/h	5 000
Débit d'air neuf	m3/h	5 000
Taux de récupération	%	80%
COP		-
Puissance récupérée par l'échangeur	kW	31,3
Puissance chauffage fournie par CTA	kW	25,5
Puissance consommée	kW	25,5
Puissance chauffage nécessaire en complément	kW	130
PUISSANCE CHAUFFAGE TOTALE INSTALLEE	kW	186,8
Produit de référence		CARRIER 39CPL450 ou équivalent +26 émetteur 5kW

Les plans ci-dessous présentent de manière schématique le principe de chauffage complémentaire par émetteurs locaux. La sélection des émetteurs et le plan positionnement sera à préciser au stade d'une étude de faisabilité, prenant en compte les enjeux de confort mais également les contraintes techniques, fonctionnelles et architecturales.



Plan principe de chauffage

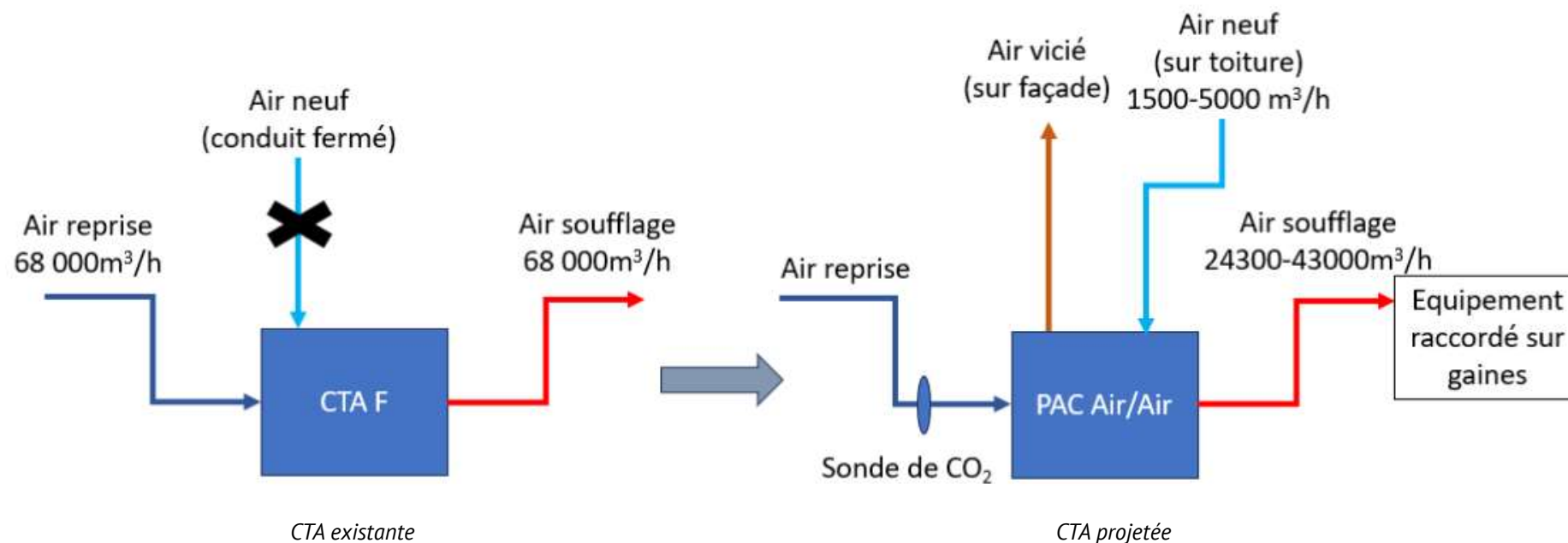
Nota : En première approche, 26 émetteurs de 5,0 kW serait nécessaires pour assurer le confort sans intervention pour améliorer la performance de l'enveloppe.

6.2.2. Solution 2 : Passage sur un système de chauffage tout air par pompe à chaleur

La proposition est de rester sur un chauffage par un système tout air mais avec une production intégrée type équipement roof top, permettant d'assurer le renouvellement d'air hygiénique, une récupération de chaleur sur air extrait, et un chauffage de l'air par pompe à chaleur sur air extérieur.

Cette préconisation est rendue possible par les gaines existantes de soufflage et reprise dimensionnées sur les débits nécessaires au chauffage.

En revanche, ces travaux impliquent soit la mise en place d'un équipement en toiture terrasse du local technique avec les dispositions structurelles et urbaines induites, soit la mise en place dans le local technique mais avec la nécessité de mettre en place une bonne ventilation du local.



Les besoins de chauffage sont recalculés comme suivantes :

BILAN DE CHAUFFAGE		
	Unité	Solution 2
Déperditions de l'enveloppe	W/K	9 048
Débit d'air hygiénique	m3/h	5 000
Déperditions de ventilation totale	W/K	2 416
Besoin de chauffage brut	kW	263,7
Coef. de réduction		-
Besoin de chauffage réduit	kW	263,7
BESOIN DE CHAUFFAGE (SURPUISSANCE 5%)	kW	276,8
Débit de soufflage	m3/h	43 000
Débit d'air neuf	m3/h	5 000
Taux de récupération	%	80%
COP		3,38
Puissance récupérée par l'échangeur	kW	31,3
Puissance chauffage fournie par CTA	kW	248,5
Puissance consommée	kW	73,5
Puissance chauffage nécessaire en complément	kW	0
PUISSANCE CHAUFFAGE TOTALE INSTALLEE	kW	279,8
Produit de référence		CARRIER 50FC250 ou équivalent

Produit de référence : CARRIER 50FC 250 ou équivalent



UNITÉS COMPACTES DE TOITURE - 50FC 100-280

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES (EN-14511-2018)

50FF		100	110	120	130	145	160	170	180	200	220	250	280
Puissances réfrigération													
Puissance frigorifique ⁽¹⁾	kW	100,00	109,76	119,14	129,34	144,21	158,58	166,76	179,73	199,99	219,85	252,94	279,91
Puissance absorbée ⁽³⁾	kW	31,58	35,88	39,53	42,08	47,92	54,98	59,36	56,46	66,47	77,57	83,02	96,62
Efficacité EER		3,17	3,06	3,01	3,07	3,01	2,88	2,81	3,18	3,01	2,83	3,05	2,90
SEER		4,75	4,65	4,56	4,75	4,62	4,56	4,57	4,85	4,70	4,69	4,59	4,54
ηs		187%	183%	179%	187%	182%	180%	180%	191%	185%	184%	181%	179%
Puissances chauffage													
Puissance frigorifique ⁽²⁾	kW	100,20	109,97	121,14	131,24	148,31	162,78	170,96	189,73	209,99	234,84	280,12	308,40
Puissance absorbée ⁽³⁾	kW	27,69	31,07	35,22	36,33	41,86	47,28	50,15	50,69	58,44	67,23	78,11	89,48
Efficacité EER		3,62	3,54	3,44	3,61	3,54	3,44	3,41	3,74	3,59	3,49	3,59	3,45
SEER		3,44	3,45	3,42	3,42	3,42	3,34	3,37	3,38	3,38	3,38	3,38	3,37
ηs		135%	135%	134%	134%	134%	131%	132%	132%	132%	132%	132%	132%
Ventilateur circuit extérieur													
		Hélicoïde électronique											
Débit d'air nominal	m³/h	44.000	44.000	44.000	58.000	58.000	64.000	64.000	80.000	86.000	86.000	120.000	120.000
Pression statique disp.	mmCE	5											
Nombre / Diamètre	mm	2 / 800			2 / 910				4 / 800			4 / 910	
Puissance moteur	kW	1.100			1.070				1.100			1.070	
Vitesse maximale	tr/min	2 x 3,0			2 x 3,3				4 x 3,0			4 x 3,3	
Intensité max. absorbée	A	2 x 4,6			2 x 5,0				4 x 4,6			4 x 5,0	
Ventilateur soufflage circ. intérieur													
		PlugFan électronique (Polypropylène)											
Débit d'air nominal	m³/h	18.000	19.800	21.600	23.400	26.100	28.800	30.600	32.400	36.000	39.000	40.500	45.000
Pression statique disp.	mmCE	25	25	25	30	35	35	35	35	35	35	35	35
Débit d'air minimal	m³/h	10.800			14.040				19.440			24.300	
Débit d'air maximal	m³/h	25.920			36.720				46.800			54.000	
Nombre / Diamètre	mm	3 / 500				4 / 500			5 / 500			6 / 500	
Vitesse	tr/min	1.700				1.700			1.700			1.700	
Puissance moteur	kW	3 x 2,6				4 x 2,6			5 x 2,6			6 x 2,6	
Intensité max. absorbée	A	3 x 4,0				4 x 4,0			5 x 4,0			6 x 4,0	
Compresseur													
		Scroll											
Nb compresseurs / étages / circuits		4 / 4 / 2						4 / 4 / 2					
Type huile		Copeland 3MAF 32cST, Danfoss POE 160SZ, ICI Emkarate RL 32CF, Mobil EAL Artic 22CC											
Volume d'huile	l	4 x 3,0	2 x 3,0 + 2 x 3,3	4 x 3,3	4 x 3,3	4 x 3,3	4 x 3,3	2 x 3,3 + 2 x 3,6	2 x 3,3 + 2 x 3,6	3 x 3,6 + 1 x 6,1	1 x 3,6 + 3 x 6,1	4 x 6,1	4 x 6,1
Caractérist. électriques													
		400 V / III ph / 50 Hz (±10%)											
Tension de réseau		3 Fils + Terre + Neutre											
Alimentation													
Intensité max. absorbée	A	85,6	90,9	99,4	107,4	120,0	129,9	137,5	149,9	166,7	185,3	207,7	230,3
Réfrigérant													
		R-410A											
Potentiel de réchauffement global ⁽⁴⁾	GWP	2.088											
Charge	kg	34,0	34,0	34,0	37,0	37,0	37,5	38,0	54,0	56,0	56,0	67,0	68,0
Impact environnemental	teqCO ₂	71,0	71,0	71,0	77,3	77,3	78,3	79,3	112,8	116,9	116,9	139,9	142,0
Poids													
Montage B1	kg	1.420	1.435	1.450	1.630	1.665	1.670	1.675	2.255	2.355	2.455	2.785	2.845

6.3. Synthèse énergétique

DESCRIPTION			GAIN ENERGETIQUE		GAIN ENVIRONNEMENTAL		GAIN FINANCIER			
No.	Action	Hypothèses	Gain kWhEF/an	Gain total %EF	Gain total kgéqCO2	Gain g déchets nucléaires	Investissement €HT	Gain €HT/an	Temps de retour brut	Temps de retour actualisé
1	Amélioration la performance thermique de l'enveloppe	Isolation par l'intérieur des murs extérieurs en bardages métalliques Isolation sous rampant de la toiture ou remplacement complète de la toiture existante Remplacement des polycarbonates anciennes Remplacement les portes métalliques non-isolées	158 189	59%	36770	305	550 000 €	24 050 €	23	18
2	Diminution de 1°C de la température de consigne	Diminution de température de consigne par 1°C Soit 17°C	19 953	7%	4275	64	0 €	3 060 €	-	-
3	Remplacement de la CTA existante et mise en place d'émetteurs chauffage en complément	Remplacement de la CTA existante par une ventilation d'hygiène. Débit: 1500-5000m3/h, récupérateur de chaleur : 80% Création d'une prise d'air neuf en façade Mise en place d'émetteurs chauffage en complément	111 054	42%	20637	576	160 000 €	12 226 €	14	11
4	Remplacement de la CTA existante par une unité de toiture pompe à chaleur air/air	Remplacement de la CTA existante par une unité de toiture pompe à chaleur air/air, COP: 3,38	142 541	53%	46544	-663	370 000 €	31 106 €	12	10

7. SCENARIOS

	Coûts	Consommations après travaux			Gain énergétique		Gain financier			Gain environnementaux	
Phase de réalisation	Investissements €HT	Total kWhEF/an	Total kWhEP/an	Total kWhEP/m²SU.a n	En kWhEF/an	Par rapport à l'état existant	Gain financier €HT/an	Temps de retour brut année	Temps de retour actualisé	Emissions CO2 kgéqCO2/an	Déchets nucléaires g/an
Programme 1 Enveloppe + Système 1 + Diminution Tconsigne	650 000	67 383	104 409	33,5	199 274	75%	30 500	21,3	16,7	39 610	576
Programme 2 Enveloppe + Système 2 + Diminution Tconsigne	730 000	55 641	143 554	46,0	211 016	79%	31 842	22,9	17,6	47 189	179

Nota : Coûts travaux hors dispositions éventuelles induites type présence d'amiante, et hors coûts de prestations intellectuelles (MOE, AMO) et assurances.

Les besoins de chauffage et le prédimensionnement des systèmes énergétiques correspondant à chaque scénario de rénovation sont recalculés comme suivantes :

BILAN DE CHAUFFAGE			
	Unité	Programme 1	Programme 2
Déperditions de l'enveloppe	W/K	2 994	2 994
Débit d'air hygiénique	m3/h	5 000	5 000
Déperditions de ventilation totale	W/K	2 106	2 106
Besoin de chauffage brut	kW	112,2	112,2
Coef. de réduction		1,4	-
Besoin de chauffage réduit	kW	80,1	112,2
BESOIN DE CHAUFFAGE (SURPUISSANCE 5%)	kW	84,1	117,8
Débit de soufflage	m3/h	5 000	16 000
Débit d'air neuf	m3/h	5 000	5 000
Taux de récupération	%	80%	80%
COP		-	3,29
Puissance récupérée par l'échangeur	kW	29,9	29,9
Puissance chauffage fournie par CTA	kW	25,5	92,5
Puissance consommée	kW	25,5	28,1
Puissance chauffage nécessaire en complément	kW	30	0
PUISSANCE CHAUFFAGE TOTALE INSTALLEE	kW	85,4	122,4
Produit de référence		CARRIER CARRIER 39CPL450 ou équivalent +10 émetteurs 3kW	CARRIER 50FC 100 ou équivalent