

Audit énergétique

Rapport audit



Audit énergétique Hall C/D

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	4
1.3. Visites de site	4
1.4. Identification du bâtiment	4
1.5. Energies et usages	5
1.6. Plans	7
2. REFERENTIEL	8
2.1. Performance globale	8
2.1.1. RT « globale »	8
2.1.2. Niveau de labélisation	8
2.1.3. Objectifs décret tertiaire	8
2.2. Performance élément par élément	9
2.2.1. RT « élément par élément »	9
2.2.2. Niveau CEE	9
3. ETAT DES LIEUX	10
3.1. Indicateurs de conservation et de performance	10
3.2. Parois du bâtiment	11
3.3. Menuiseries extérieures	11
3.4. Equipements techniques	11
4. CONSOMMATION DE REFERENCE	13
4.1. Electricité	13
4.2. Réseau de chaleur	13
5. MODELISATION ENERGETIQUE	15
5.1. Bilan des déperditions thermiques	15
5.2. Répartition des consommations par usages	16
5.3. Détail des consommations énergétiques par usage	17
5.3.1. Consommations liées au chauffage	17
5.3.2. Consommations liées au traitement d'air	17
5.3.3. Consommations liées à l'éclairage	17
5.4. Indicateurs de performance énergétique (IPes)	17
5.5. Comparaison des consommations théoriques aux consommations réelles	18
6. PRECONISATIONS	19
6.1. Amélioration de la performance de l'enveloppe	19
6.2. Amélioration de la performance des équipements de chauffage - ventilation	21
6.2.1. Solution 1 : Remplacement de la CTA et mise en place d'émetteurs chauffage en complément	21
6.2.2. Solution 2 : Passage sur un système de chauffage tout air par pompe à chaleur	25

6.3. Synthèse énergétique	27
7. SCENARIOS	28

1. PREAMBULE

1.1. Contexte

La présente étude concerne le hall H qui a d'une surface plancher de 5489 m².
Le bâtiment comporte un grand hall d'exposition.



Vue aérienne du Hall C/D

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
NEPSSEN		
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

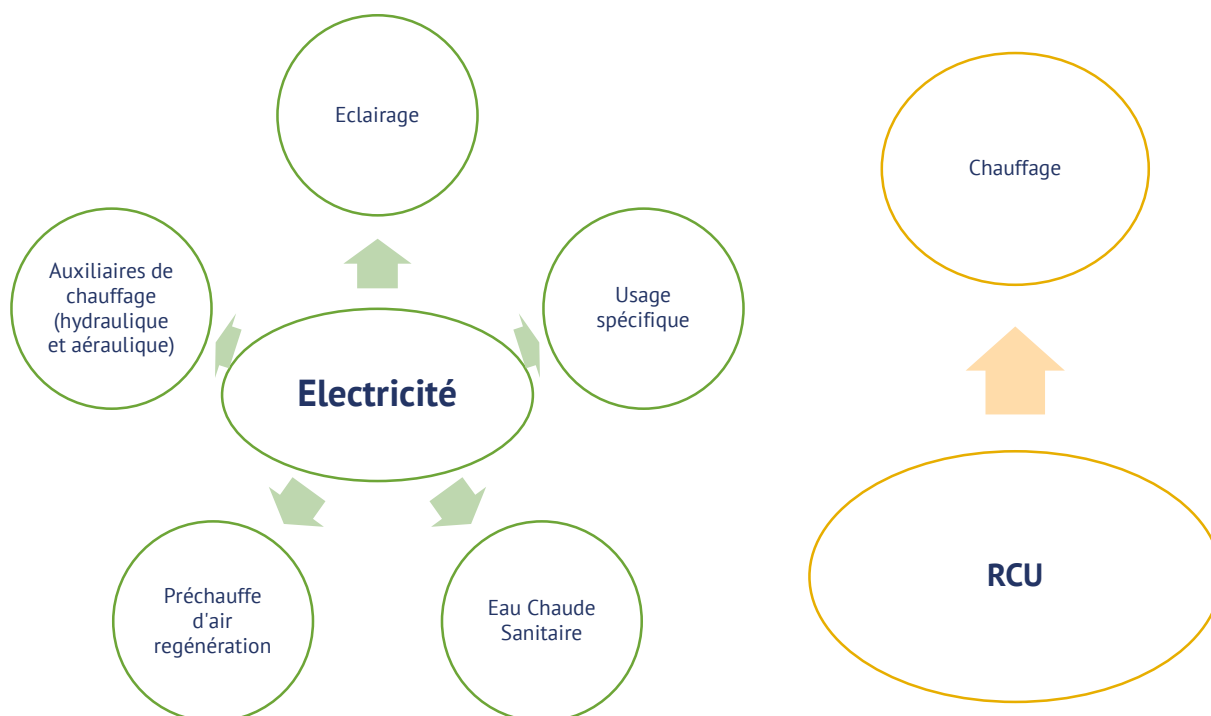
1.4. Identification du bâtiment

RENSEIGNEMENTS SUR LE SITE	
Adresse	Aéroport de Paris – Le Bourget, 93352 Le Bourget
Nom du bâtiment	Hall C/D
Année de construction /Rehabilitation	Années 1990
Surface utile (SU)	5489 m ²
Activité	ERP - Salle d'exposition
Effectifs	400 personnes
Horaires d'occupation	Mardi au Dimanche, 10h à 18h

Energies utilisées	Electricité, Réseau de chaleur
--------------------	--------------------------------

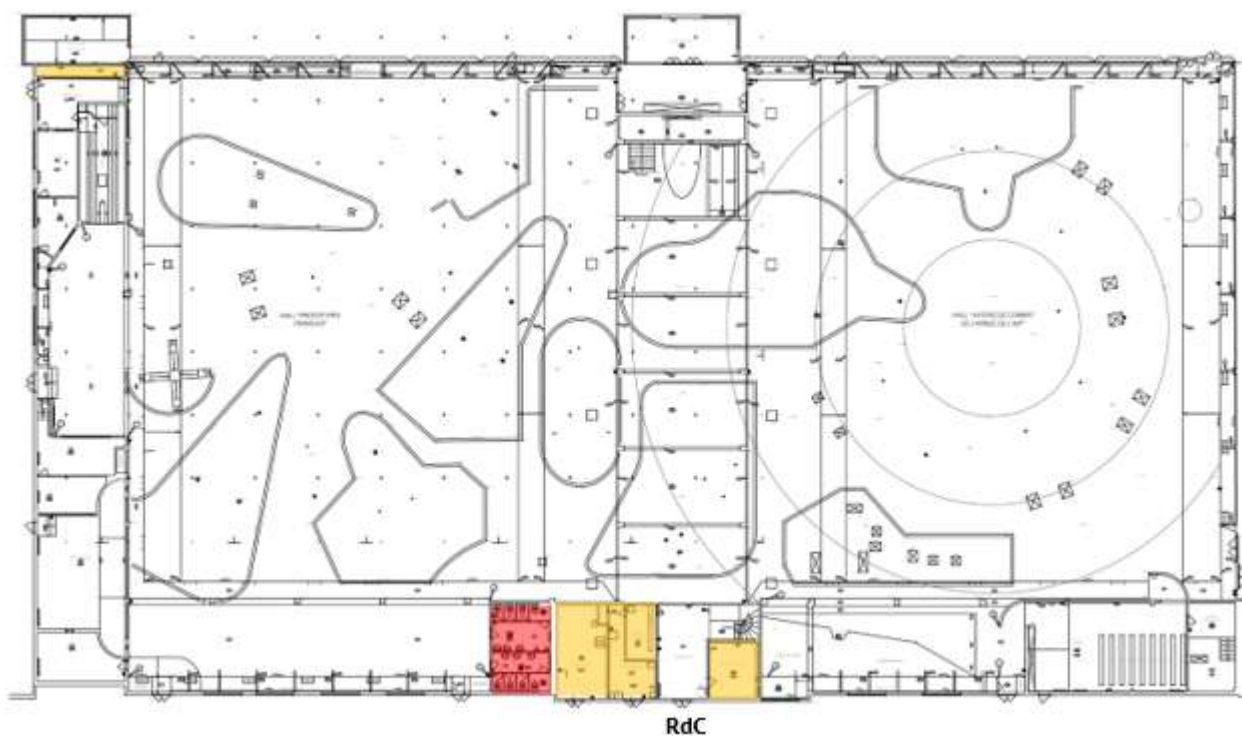
1.5. Energies et usages

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

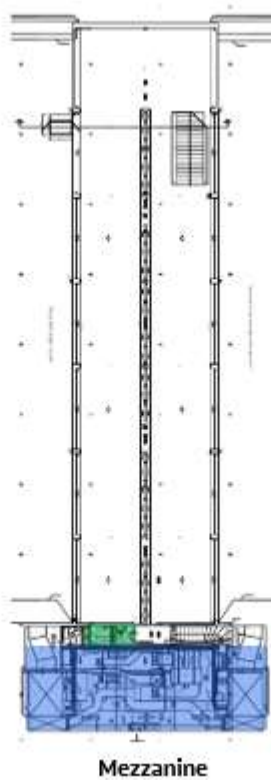


Usages énergétiques du Hall C/D

1.6. Plans



- Sanitaires
- Caissons et gaines ventilations
- Local technique
- Gaine technique



Plan du Hall C/D

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.

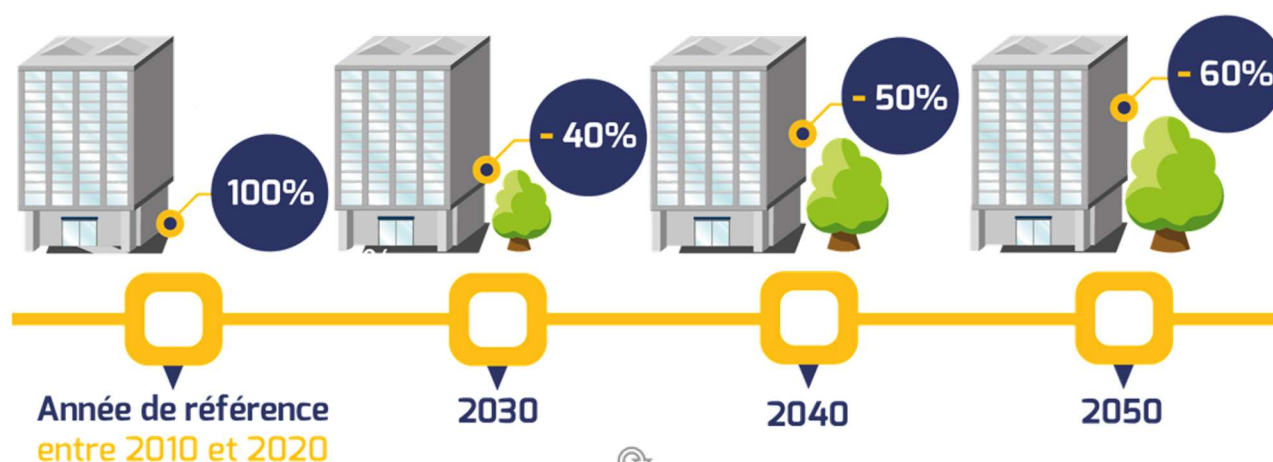
2.1.2. Niveau de labélisation

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

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

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

3. ETAT DES LIEUX

3.1. Indicateurs de conservation et de performance

Les indicateurs suivants sont utilisés pour évaluer le niveau de vétusté et 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

3.2. 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%
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 : -

3.3. 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 : -

3.4. Equipements techniques

EQUIPEMENTS TECHNIQUES

Désignation	Descriptif	Régulation	Performance
Chauffage	Chauffage par air sur Réseau de Chauffage Urbain Sous-station : S8/9 Echangeur calorifugé	Période de chauffage : M au D, de 10h à 18h	Performance moyenne Evaluation : 
Centrale de traitement d'air	2 caissons de traitement d'air marque CIAT, serie Climat 16 Débit d'air soufflage : 55 000 m ³ /h chaqu'une Débit d'air sec : 13 000 m ³ /h Echangeur ancien, efficacité supposée de 65%	Fonctionnement intermittent contrôlé manuellement par l'exploitant compte tenu du surdimensionnement du débit la très grande majorité du temps	Etat ancienne Evaluation : 
Eclairage	Luminaire technique LED Puissance estimée : 4500W	Temps de fonctionnement : M au D, de 10h à 18h	Bonne état Evaluation : 

Nota sur fonctionnement du système de chauffage – ventilation :

La centrale de traitement assure un fort brassage d'air du bâtiment (2,6 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 (1-1.5m de hauteur sous plafond).

Les besoins de renouvellement d'air hygiénique sont estimés à 0,2 vol/h en considérant l'effectif maximal. Dans l'état existante, l'air neuf est traité par une roue déshydratante. La chaleur de l'air régénération est récupérée par l'économiseur Climaciare type EX10.

Les caissons de traitement d'air de série Climaciat 16 sont à l'état très ancienne. 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.

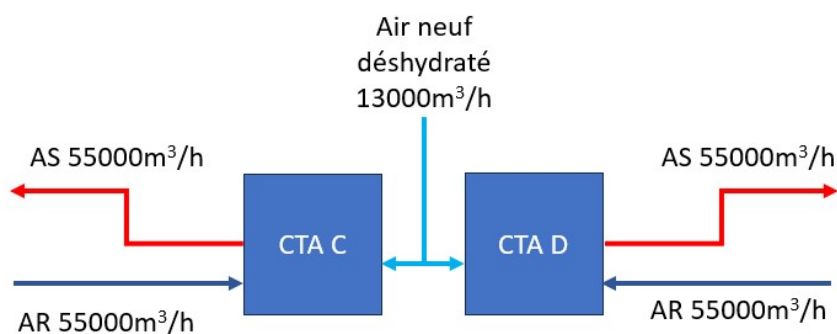


Schéma principe de CTA C/D existante

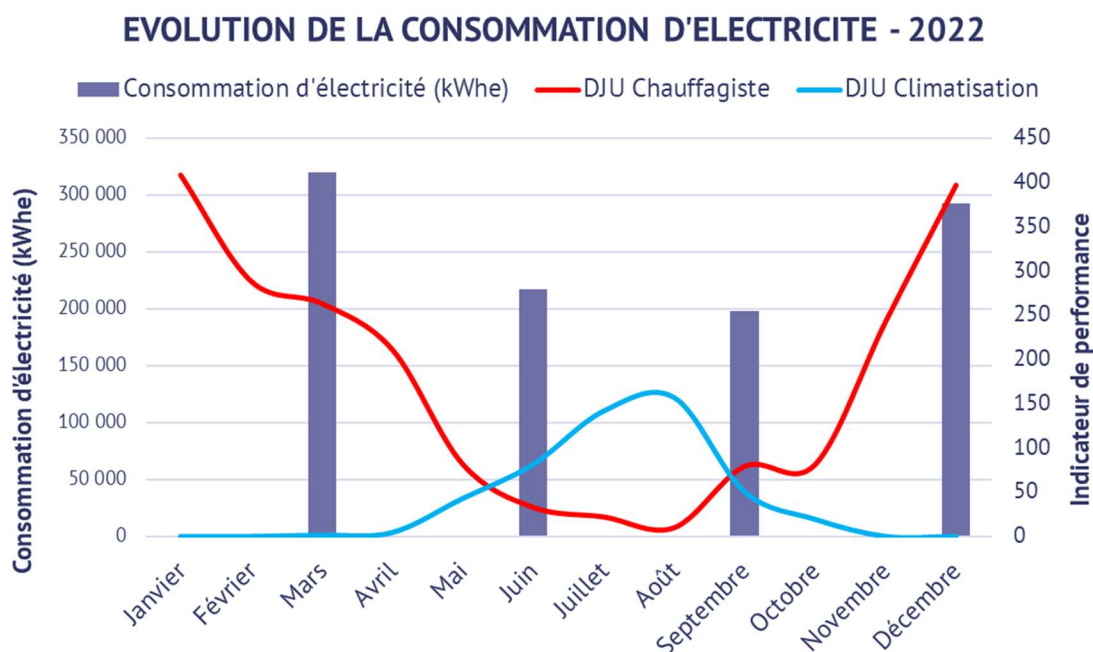
4. CONSOMMATION DE REFERENCE

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'y a pas de sous-comptage pour le bâtiment C/D.

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 C/D, celui-ci compte principalement dans les consommations des auxiliaires de chauffage.

4.2. Réseau de chaleur

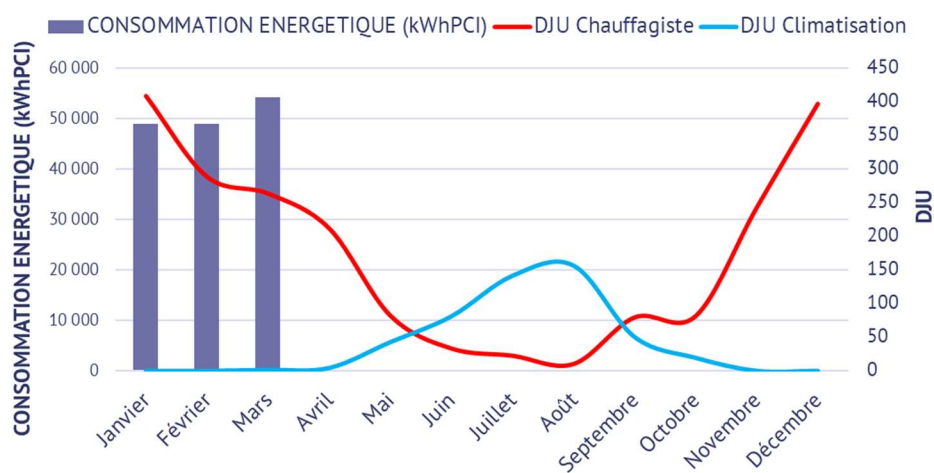
La réseau chauffage du hall C/D est alimenté par la sous-station S8/9.

La puissance souscrite est de 692kW en régime haute température correspondant à la puissance utile de 531kW

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 coût 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 :

EVOLUTION DE LA CONSOMMATION RCU MENSUELLE Sous-station S8/9 - 2022



Consommation facturée de la Sous-station S8/9

Dans la période facturation (01-03/2022), 152 031 kWhPCI a été consommé avec un prix moyen de 0.15€HT/kWhPCI.

5. MODELISATION ENERGETIQUE

5.1. Bilan des déperditions thermiques

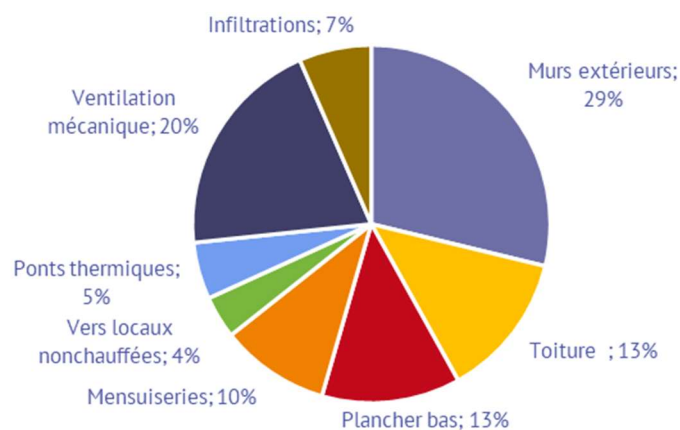
Volume chauffé	42 209 m ³
Ubât	1,36 W/m ² .K
T base hiver	-5
T int	18

DEPERDITIONS HALL C/D			
Localisation	Surface (m ²)	Déperdition (W/K)	Part (%)
Murs extérieurs	2108	6323	29%
Toiture	4126	2888	13%
Plancher bas	4589	2753	13%
Mensuiseries	639	2172	10%
Vers locaux nonchauffés	403	847	4%
Ponts thermiques	-	1128	5%
Ventilation mécanique	-	4420	20%
Infiltrations	-	1439	7%
TOTAL DEPERDITIONS	11864	21969	100%

DEPERDITIONS VENTILATION			
Localisation	Débit air neuf (m ³ /h)	Déperditions (W/K)	Part (%)
Ventilation mécanique	13 000	4 420	75%
Infiltrations	4 232	1 439	25%
TOTAL VENTILATION	17232	5859	100%

BILAN DES DERPERDITIONS		
Déperditions bâti G1	0,38	W/m ³ .K
Déperditions ventilation G2	0,14	W/m ³ .K
TOTAL DEPERDITIONS G	0,52	W/m³.K
PUISANCE UTILE CHAUFFAGE	531	kW

REPARTITION DES DEPERDITIONS (W/K)



5.2. Répartition des consommations par usages

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

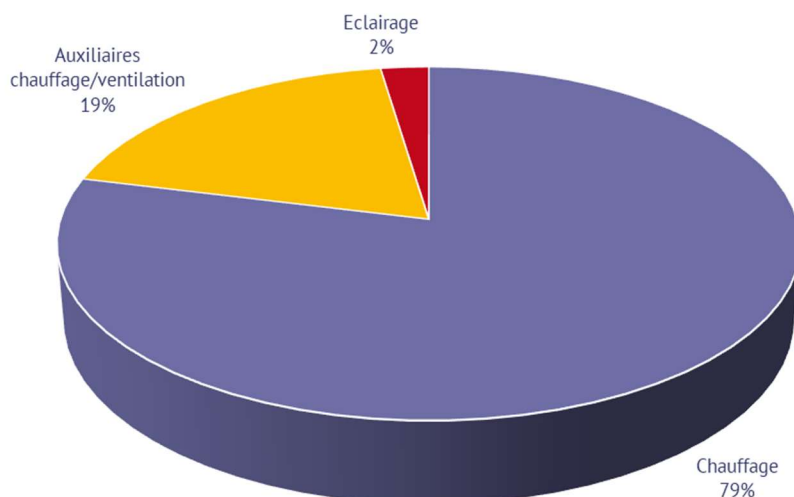
- Station météo : Paris-Le Bourget (zone H1a)
- Température extérieure de base : -5°C
- DJU chauffagiste (COSTIC trentenaires) : 2394°C
- Consigne de chauffage : 18°C
- Surface utile : 5489 m²
- Plages occupation, éclairage et chauffage : Mardi au dimanche - 10-18h
- Surface : salle d'exposition 100%
- Nombre d'occupant : max. 400 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	372 502	372 502	68	79%
Auxiliaires chauffage/ventilation	Electricité	88 560	228 485	42	19%
Eclairage	Electricité	11 263	29 058	5	2%
Total		472 325	630 045	115	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 C/D					
Nom	Energie	Horaires de fonctionnement	Réduit	Consigne de température	Consommations (kWhEF/an)
CTA - Hall C/D	Réseau de chaleur	M au D de 10h à 18h	1	Hiver : 18°C	372 502
TOTAL	-	-	-	-	372 502

5.3.2. Consommations liées au traitement d'air

CONSOmmATION DE TRAITEMENT D'AIR - Hall C/D					
Nom	Débit	Durée de fonctionnement	Utilisation	Ratio de consommation ventilateur	Ventilateurs (kWhEF/an)
CTA C (auxiliaires chauffage)	55000 m ³ /h	30h/semaine	Ponctuelle	0,40 W/(m ³ /h)	39 600
CTA D (auxiliaires chauffage)	55000 m ³ /h	30h/semaine	Ponctuelle	0,40 W/(m ³ /h)	39 600
Alimentation d'air neuf	13000 m ³ /h	30h/semaine	Ponctuelle	0,40 W/(m ³ /h)	9 360
TOTAL					88 560

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 C/D (Exposition)	5489	4500	8heures/jour 6jours/semaine	Commande manuelle	1,0	11 263
TOTAL	-	-	-	-	-	11 263

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	372 493	m ² SU	5489	67,9 kWhEF/m² SU
Auxiliaires chauffage	Horaires d'activité DJU Chauffagiste	48h/semaine 2394°C	88 560	m ² SU	5489	16,1 kWhEF/m² SU
Eclairage	Horaires d'activité	48h/semaine	11 263	m ² SU	5489	2,1 kWhEF/m² SU
Total	Horaires d'activité DJU	48h/semaine 2394°C	472 316	m² SU	5489	86 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 ou plus faible que lesquelles consommées pendant l'exploitation normale du site. Pour cette raison, la période de référence de chaque type d'énergie a été précisée selon les 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 C/D	S8/9	01/2022 - 03/2022	960	149 340	149 340	152 031	-2 691	-2%

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 €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 des murs par l'intérieur (avec 10cm de laine de verre, $\lambda=0,035\text{W/m.K}$)
- Isolation sous rampant de la toiture avec la réfection de l'étanchéité (avec 10cm de laine de verre)
- 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 C/D				
Localisation	Surface total (m ²)	Déperdition (W/K)	Part (%)	Réduction /Etat actuel (%)
Murs extérieurs	2108	527	5%	92%
Toiture	4126	784	7%	73%
Plancher bas	4589	2 753	24%	-
Mensueries	639	988	9%	55%
Vers locaux nonchauffés	403	847	7%	0%
Ponts thermiques	-	444	4%	61%
Ventilation mécanique	-	4 420	38%	-
Infiltrations	-	815	7%	43%
TOTAL DEPERDITIONS	11864	11578	100%	47%

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 $R_{total}=3,8(m^2K/W)$	139 283	29%	32222	279	317 000 €	21 187 €	15	13
2	Isolation sous-rampant de la toiture	Isolation sous-rampant de la toiture par les panneaux rigides en laine de verre $R_{total}=5,2(m^2K/W)$	50 609	11%	11701	102	702 000 €	7 699 €	>25	>25
2b	Remplacement complète de la toiture existante	Rénovation complète de la toiture existante en bardage métallique pour $R_{total}=5,2(m^2K/W)$	50 609	11%	11701	102	908 000 €	7 699 €	>25	>25
3	Remplacement des polycarbonates anciennes	Remplacement des polycarbonates toiture par les plaque de polycarbonate triple-paroi $U_w=1,5 W/m^2.K$	27 553	6%	6340	58	90 000 €	4 194 €	22	17
4	Remplacement des portes métalliques non-isolées	Remplacement des portes métalliques existantes par des portes métallique à isolation thermique $U_d=2 W/m^2.K$	5 585	1%	628	58	9 000 €	899 €	11	9

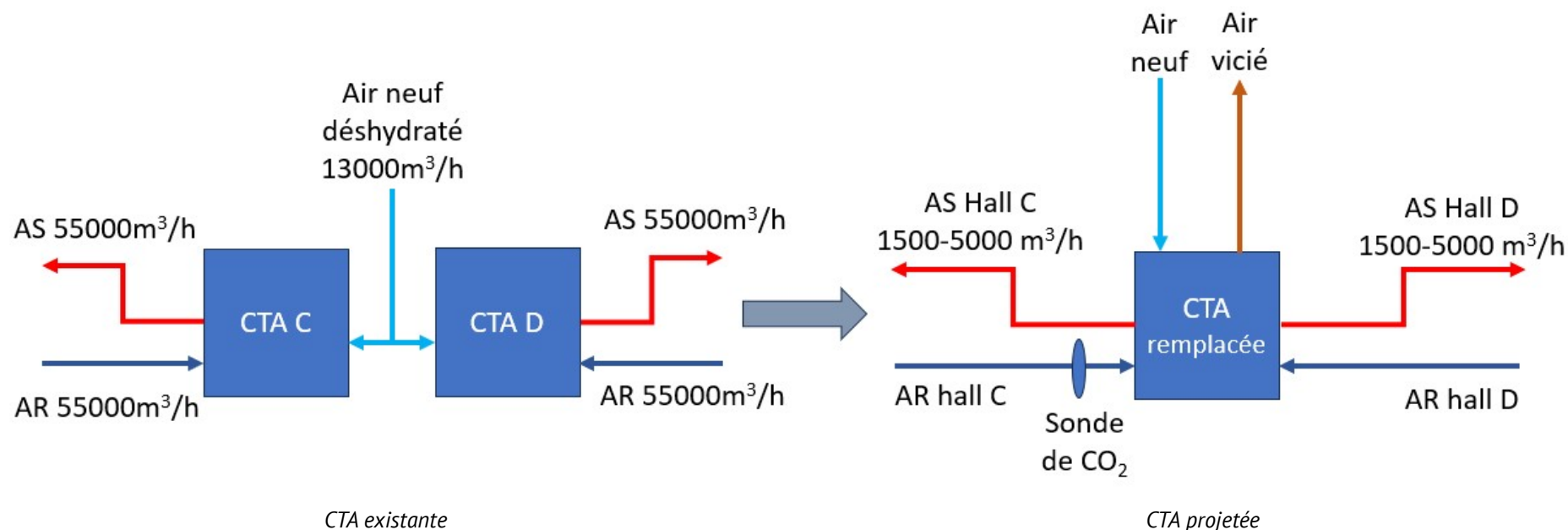
6.2. Amélioration de la performance des équipements de chauffage - ventilation

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 consommations liées 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 seront fortement diminuées 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

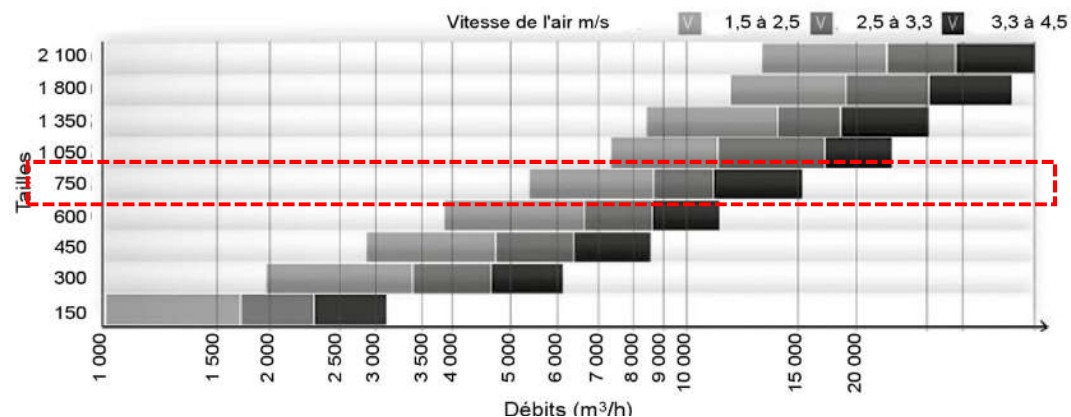


Produit de référence : Carrier 39CP L taille 750

39CP L : applications tertiaires



Tableau de sélection



Batterie électrique

- Résistances blindées en tubes à ailettes spiralées inox
- Branché sur barrettes cuivre.
- Montage double isolement.

- Équipé de deux thermostats de sécurité : le premier à réarmement manuel, le second à réarmement automatique.

OPTIONS DISPONIBLES PAR GAMME	39CP L	39CP H	39CP C
Glissières peintes	X	X	X
Glissières en acier inoxydable 304 L ou 316 L	X	X	X
Caisson batterie inox 304 L ou 316 L	X	X	X
Branchement TRI ou MONO	X	X	X

X Option
NA Non applicable

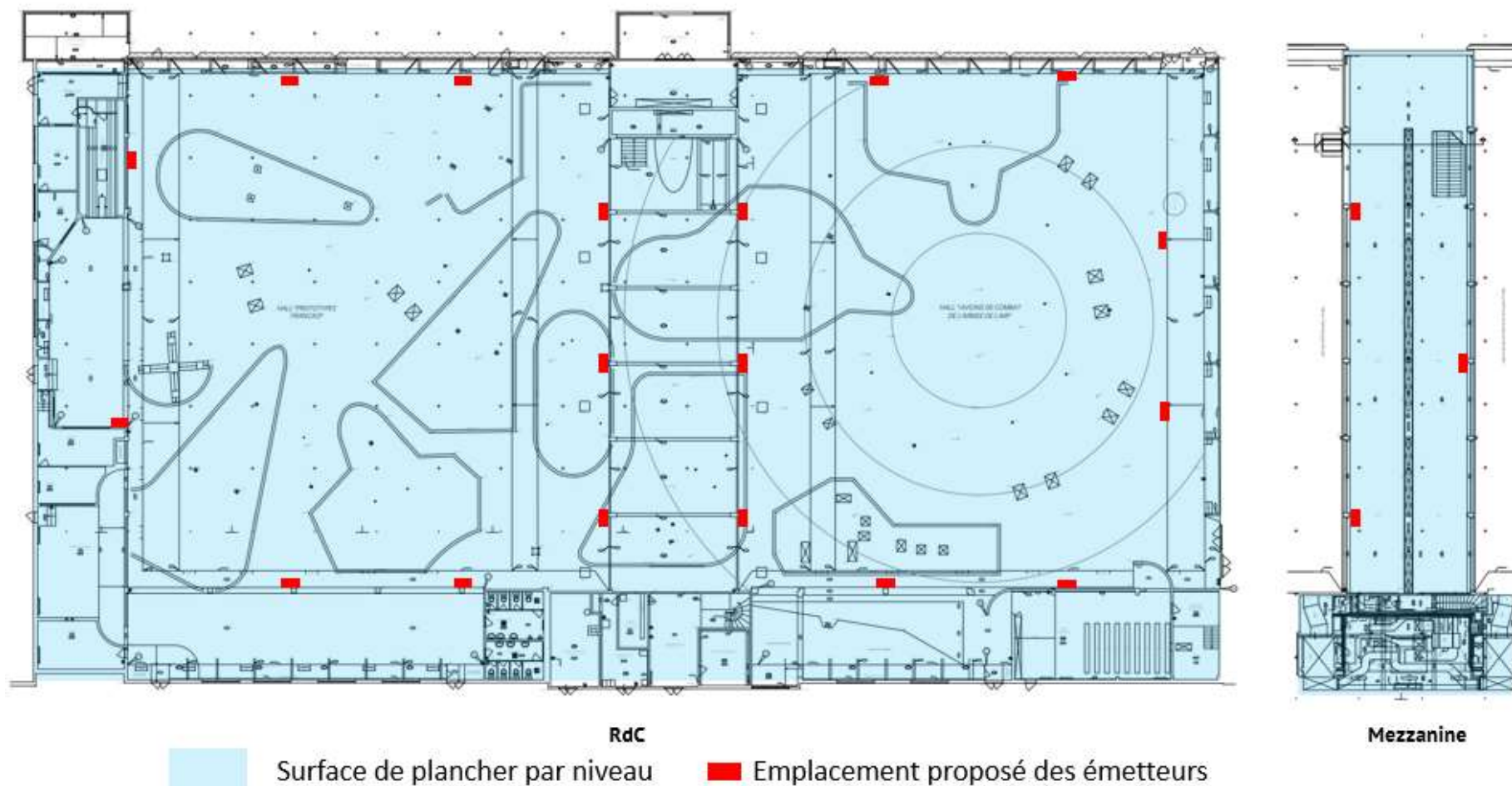
En complément, des émetteurs type rayonnant ou soufflant sur réseau de chauffage depuis sous-station RCU, seront mis en place dans les zones accessibles au public et notamment les zones de stationnement. Une distribution bitube sera à prévoir depuis la sous-station, isolée au moins sur le parcours aérien 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	16 110
Débit d'air neuf	m ³ /h	10 000
Déperditions de ventilation totale	W/K	4 839
Besoin de chauffage brut	kW	481,8
Coef. de réduction		1,5
Besoin de chauffage réduit	kW	321,2
BESOIN DE CHAUFFAGE (SURPUISSANCE 5%)	kW	337,3
Débit de soufflage	m ³ /h	10 000
Débit d'air neuf	m ³ /h	10 000
Taux de récupération	%	80%
COP		-
Puissance récupérée par l'échangeur	kW	62,6
Puissance chaude fournie par CTA	kW	51,0
Puissance chaude par l'émetteur eau chaude	kW	225
PUISSANCE CHAUDE TOTALE INSTALLEE	kW	338,6
Produit de référence		CARRIER 39CPL750 ou équivalent +23 émetteurs 10kW

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.



Nota : En première approche, 23 émetteurs de 10,0 kW seraient 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.

BILAN DE CHAUFFAGE		
	Unité	Solution 2
Déperditions de l'enveloppe	W/K	16 110
Débit d'air neuf	m3/h	10 000
Déperditions de ventilation totale	W/K	4 839
Besoin de chauffage brut	kW	481,8
Coef. de réduction		-
Besoin de chauffage réduit	kW	481,8
BESOIN DE CHAUFFAGE (SURPUISSANCE 5%)	kW	505,9
Débit de soufflage	m3/h	10 000
Débit d'air neuf	m3/h	10 000
Taux de récupération	%	80%
COP		4,0
Puissance récupérée par l'échangeur	kW	62,6
Puissance chaude fournie par CTA	kW	443,4
Puissance consommée	kW	110,8
PUISSANCE CHAUDE TOTALE INSTALLEE	kW	505,9
Produit de référence		2X 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											
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													
Tension de réseau		400 V / III ph / 50 Hz (±10%)											
Alimentation		3 Fils + Terre + Neutre											
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	242 174	51%	2782	407	1 100 000 €	36 757 €	>25	22
2	Diminution de 1°C de la température de consigne	Diminuation de température de consigne par 1°C Soit 17°C	28 008	6%	7282	0	0 €	4 201 €	0	-
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	215 776	46%	41149	1045	280 000 €	33 471 €	9	8
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	306 418	65%	91299	-813	550 000 €	45 104 €	13	11

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	1 380 000	126 363	149 846	48,0	345 962	73%	52 999	26,0	19,4	68 211	1 045
Programme 2 Enveloppe + Système 2	1 650 000	79 662	205 527	65,9	392 663	83%	59 162	27,9	20,5	88 859	248

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

Les bilans 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	6 475	6 475
Débit d'air neuf	m3/h	10 000	10 000
Déperditions de ventilation totale	W/K	4 215	4 215
Besoin de chauffage brut	kW	235,2	235,2
Coef. de réduction		1,4	-
Besoin de chauffage réduit	kW	168,0	235,2
BESOIN DE CHAUFFAGE (SURPUISSANCE 5%)	kW	176,4	247,0
Débit de soufflage	m3/h	10 000	37 000
Débit d'air neuf	m3/h	10 000	10 000
Taux de récupération	%	80%	80%
COP		-	4,0
Puissance récupérée par l'échangeur	kW	59,8	59,8
Puissance chaude fournie par CTA	kW	51,0	188,7
Puissance consommée	kW	51,0	47,2
Puissance chaude par l'émetteur eau chaude	kW	70	-
PUISSANCE CHAUDE TOTALE INSTALLEE	kW	180,8	248,5
Produit de référence		CARRIER 39CPL750 ou équivalent +14 émetteurs 5kW	CARRIER 50FC250