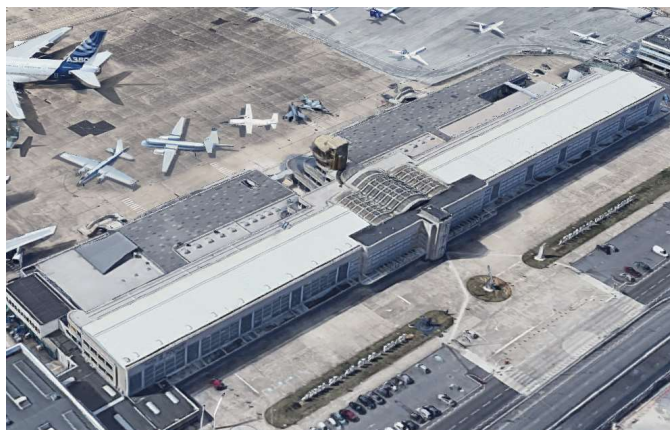


Audit énergétique

Rapport audit



Audit énergétique Aérogare

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 de repérage	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	11
4. CONSOMMATION DE REFERENCE	13
4.1. Electricité	13
4.2. Réseau de chaleur	14
5. MODELISATION ENERGETIQUE	15
5.1. Bilan des déperditions thermiques	15
5.2. Consommations annuelles 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 à la climatisation	18
5.3.3. Consommations liées au traitement d'air	18
5.3.4. Consommations liées à l'éclairage	18
5.3.5. Consommations liées à l'usage bureautique	18
5.4. Indicateurs de performance énergétique (IPes)	19
5.5. Comparaison des consommations théoriques aux consommations réelles	19
6. PRECONISATIONS	20
7. SCENARIOS	24

1. PREAMBULE

1.1. Contexte

La présente étude concerne le bâtiment Aérogare du musée de l'Air et de l'Espace.

Le bâtiment comporte deux parties principales : une grande galerie d'exposition et les bureaux de gestion.



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

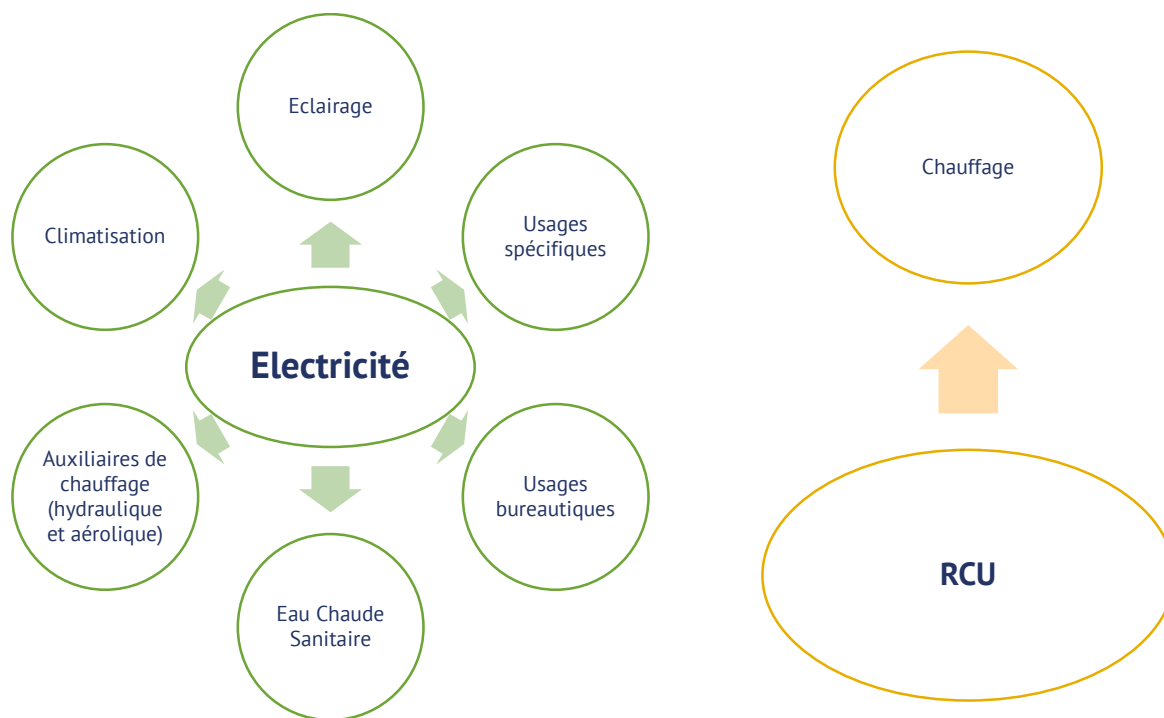
DATE	OBJET	COMMENTAIRE
10/05/2023	Visite technique	Visite générale de site - hors Dugny
05/07/2023	Visite technique complémentaire	Visite spécifique sur bâtiment 26, HM2 et chaufferie gaz centrale
17/08/2023	Visite technique complémentaire	Visite spécifique sur bâtiments Béchat, Bermuda et locaux techniques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

1.4. Identification du bâtiment

RENSEIGNEMENTS SUR LE SITE	
Adresse	Aéroport de Paris – Le Bourget, 93352 Le Bourget
Nom du bâtiment	Aérogare
Année de construction /Rehabilitation	Construit en 1910 La salle au centre de la Grande Galerie rénové en 2012 Façade ouest (bureau) et tour de contrôle rénovés en 2016
Surface utile (SU)	19 005 m ²
Activité	ERP - Salle d'exposition, bureaux et boutiques
Horaires d'occupation	Partie d'exposition: Mardi au dimanche, 10h à 18h Partie bureaux: Lundi au vendredi, 9h à 18h Bureau de gardien: 24/24h
Energies utilisées	Electricité, Réseau de chaleur

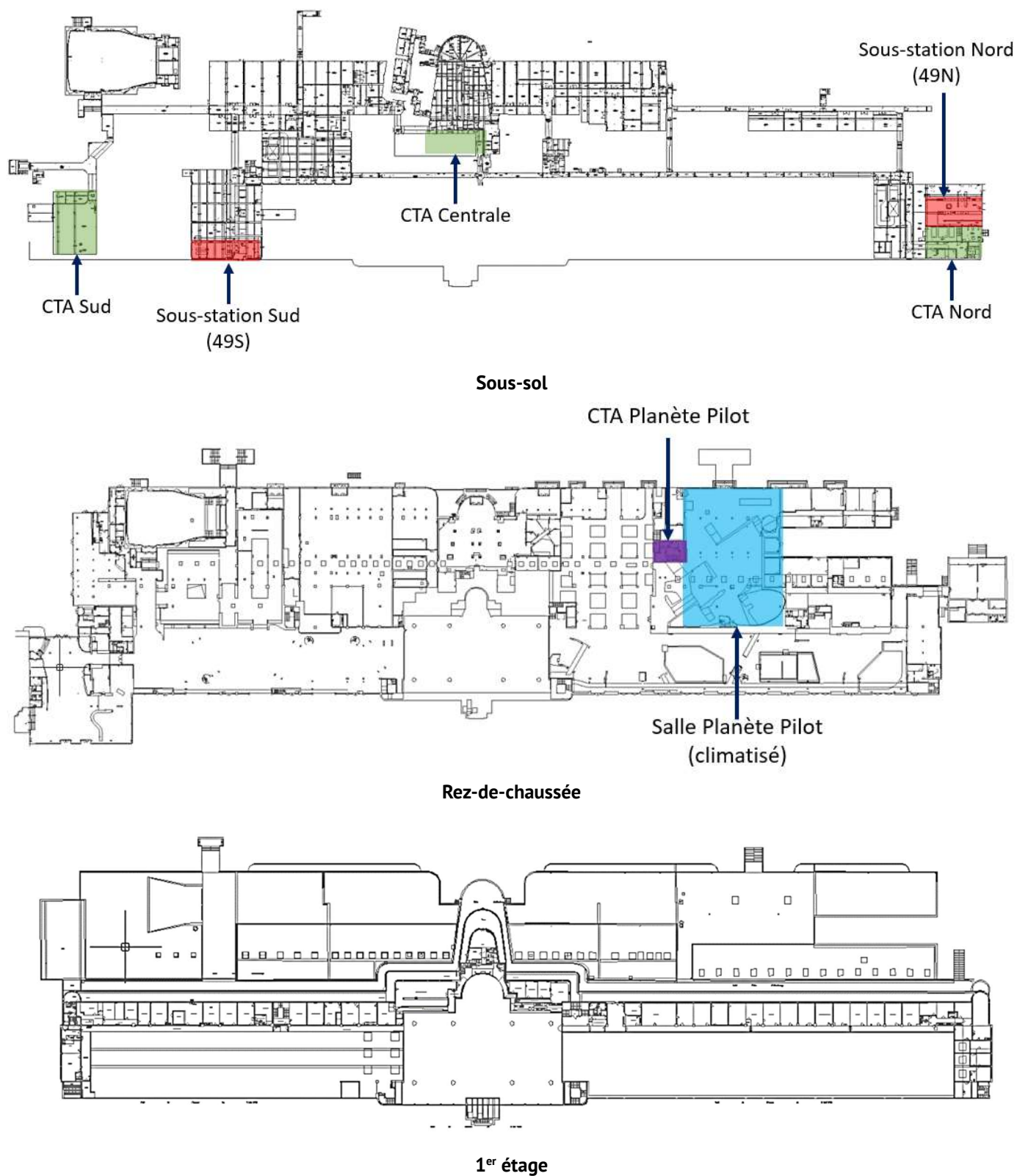
1.5. Energies et usages

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



Usages énergétiques du bâtiment Aéro gare

1.6. Plans de repérage



Plans de l'Aérogare

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.

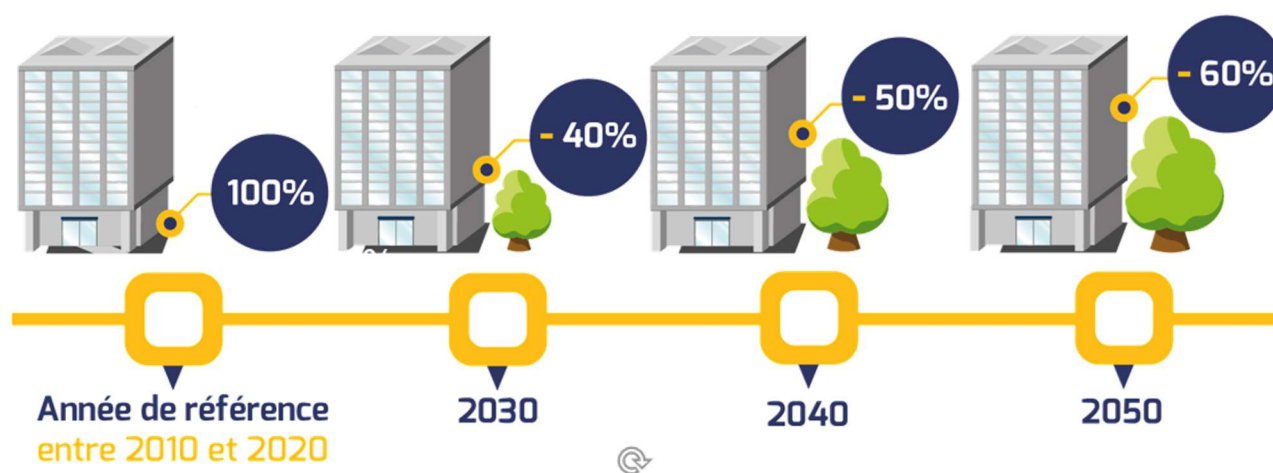
2.1.2. Niveau de labélisation

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/(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	Murs de grande galerie	Murs extérieurs en béton armé supposés non-isolés	Absence d'isolation
			R : 0,16
			Ecart : -95%
			Evaluation :
	Murs de façade Ouest	Murs de façade Ouest (partie bureaux) rénovés entre 2015-2019 (supposé faiblement isolé par 4cm de laine de verre)	Faible isolation
			R : 1,15
			Ecart : -64%
			Evaluation :
	Murs de local Tour Contrôle	Murs de Tout de Contrôle rénové entre 2015-2019 supposés isolés par 20cm laine de verre	Bonne performance
			R : 5,7
			Ecart : 78%
			Evaluation :
Plancher haut	Comble perdu Grande Galerie b = 0,8	Plancher haut de Grande Galerie sous combles perdus supposé non-isolé	Absence d'isolation
			R : 0,2
			Ecart : -96%
			Evaluation :
	Toiture hall 8 colonnes	Toiture de la salle 8 Colonnes (au milieu de la Grande Galerie) rénové entre 2015-2019 supposé isolés 5cm polyuréthane	Faible isolation
			R : 1,5
			Ecart : -67%
			Evaluation :
	Toiture Tour Contrôle	Toiture terrasse du Tour de Contrôle supposé isolés sous-chape par 6cm polyuréthane	Performance moyenne
			R : 2,7

	Toiture terrasse	Toiture terrasse des parties RdC donnant sur la zone d'embarquement supposés isolés sous-chape par 6cm polyuréthane	Ecart :	-40%
			Evaluation :	
			Performance moyenne	
			R :	2,7
			Ecart :	-40%
Plancher bas	Plancher b=0,5	Plancher bas donnant sur local non chauffé épaisseur inconnue (supposée 15cm) Supposé non-isolé	Evaluation :	
			Absence d'isolation	
			R :	0,18
			Ecart :	-93%
			Evaluation :	

3.2. Menuiseries extérieures

CLOS ET COUVERT			
Elément	Désignation	Descriptif	Performance
Menuiseries	Menuiseries de façades Ouest	Menuiseries aluminium rénové en double-vitrage 4/15/4 sans coupure thermique	Performance moyenne
			Uw :
			Ecart :
			Evaluation :
	Menuiseries de Grande Galerie	Menuiseries aluminium en vitrage à faible émissivité, partiellement remplacées	Performance moyenne
			Uw :
			Ecart :
			Evaluation :
	Brique de verre	Pavés de verre sur toiture du hall 8 colonnes restaurés en 2012	Performance moyenne
			Uw :
			Ecart :
			Evaluation :
	Portes extérieures	Portes d'entrée métalliques non-isolées	Mauvaise performance
			Uw :
			Ecart :
			Evaluation :

3.3. Equipements techniques

EQUIPEMENTS TECHNIQUES			
Désignation	Descriptif	Régulation	Performance
Production de chaleur	Sous-station SUD (49S) de Réseau de Chauffage Urbain aliment réseaux de radiateurs, CTA Sud et CTA Centrale Puissance inscrite : 1000kW	Température de l'eau envoyée dans le réseau secondaire est programmée	Etat correcte Evaluation : 
	Sous-station NORD (49N) sur Réseau de Chauffage Urbain aliment réseaux de radiateurs, CTA Nord et CTA Planète Pilote Puissance inscrite : 826kW	Température de l'eau envoyée dans le réseau secondaire est programmée	Etat correcte Evaluation : 
Centrale de traitement d'air	CTA SUD de référence CARRIER 39SL85 installée en 2017 Débit soufflage : 8190m3/h Récupérateur rotatif : 74,98% Puissance calorifique : 71,52kW	Régulation motorisée	Bonne état en général Evaluation : 
	CTA NORD de référence CARRIER 39SL120 installée en 2017 Débit soufflage : 11100 m3/h Récupérateur rotatif : 77,41% Puissance calorifique : 96,93kW	Régulation motorisée	Bonne état en général Evaluation : 
	CTA CENTRALE référence CARRIER 39SL65 installée en 2017 Débit soufflage : 6040 m3/h Récupérateur rotatif : 77,41% Puissance calorifique : 52,75 kW	Régulation motorisée	Bonne état en général Evaluation : 
	CTA Planète Pilote installée en 2010 référence CLIMATCIAT AIRTECH 250 Débit soufflage : 20 000 m3/h Récupérateur de chaleur : 75% groupe frigo CIATCOOLER LJA 350-80kW R407C 9,2+8kg Puissance absorbée : 40,9kW Hypothèse : EER 2.5	Régulation motorisée	Etat correcte Evaluation : 
Emetteurs	L'ensemble de la Grande Galerie est chauffé par air assurée par CTA Nord et CTA Sud	Période de chauffage : M au D, de 10h à 18h	Etat correcte Evaluation : 
	Les bureaux sont co-chauffés par soufflage d'air chaude et émetteurs d'eau chaude	Période de chauffage : L au V, de 9h à 18h	Etat correcte Evaluation : 

	La salle Planète Pilote est chauffée et climatisée par air	Période de chauffage : M au D, de 10h à 18h	Etat correcte
			Evaluation : 
Eclairage	Luminaire technique LED Puissance estimée : 55 00W	Temps de fonctionnement : M au D, de 10h à 18h pour zones d'exposition L au V, de 9h à 18h pour zones de bureaux	Bon état
			Evaluation : 

Nota : Nos hypothèses sur le fonctionnement du système de chauffage - ventilation sont les suivantes

Les bureaux sont chauffés par des émetteurs raccordés les sous-stations RCU. Les consommations liées au chauffage des bureaux sont calculées pour une température de consigne de 19°C pendant la période d'occupation et une température réduite à 17°C hors période d'occupation.

La Grande Galerie est chauffée par un système tout air à environ 3m de hauteur sur l'espace d'exposition (hauteur totale du Galerie est de 10-12m). Les CTA Nord et CTA Sud, ont une puissance totale installée de 168,45kW (soit 28% des déperditions thermiques de la Grande Galerie) et faisons donc l'hypothèse que le système est dimensionné uniquement pour chauffer la partie basse du hall.



Système de diffusion d'air chaud

La Planète Pilot est chauffée et climatisé par un système tout d'air traité par une Centrale de traitement d'air associé à un groupe froid fonctionnant avec le fluide frigorigène R407C.

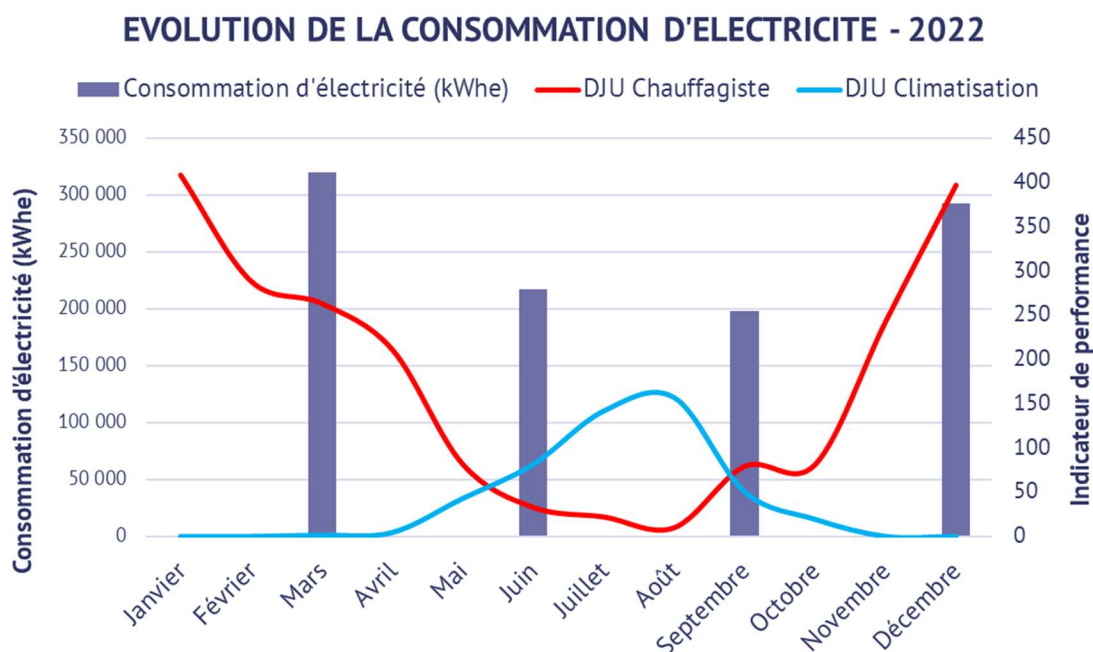
4. CONSOMMATION DE REFERENCE

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 à l'aérogare.

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.

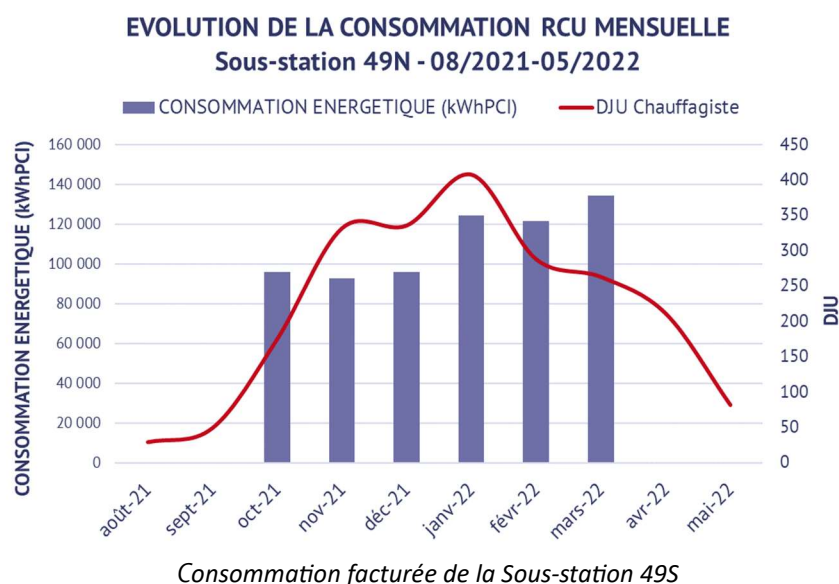
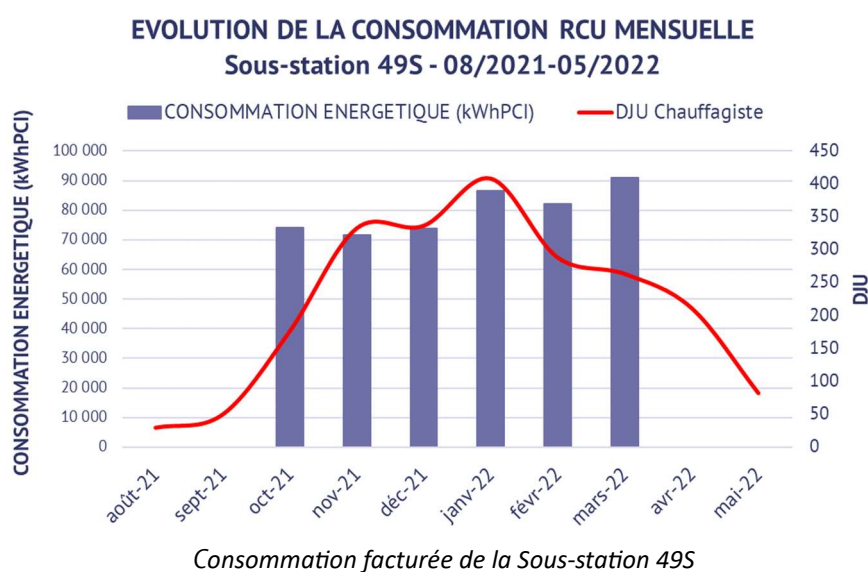
4.2. Réseau de chaleur

La production de chaleur générale de l'Aérogare est assurée par deux sous-station Sud (49S) et Nord (49N). Il y a un comptage spécifique par sous-station.

Les puissances souscrites en régime haute température sont de 1000kW pour la sous-station 49N et 826kW pour la sous-station 49S, soit une puissance souscrite totale de 1826kW.

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.

L'analyse des factures nous permet d'indiquer les consommations de RCU pendant la saison de chauffe de 10/2021 à 03/2022 comme dans les graphiques ci-dessous :



Dans la période de facturation (10/2021-03/2022), 1 145 090 kWhPCI a été consommé avec le prix moyen de 0.160 €/kWhPCI.

5. MODELISATION ENERGETIQUE

5.1. Bilan des déperditions thermiques

Volume chauffé	85 971 m ³
Ubât	1,38 W/m ² .K
T ext base hiver	-5
T int bureaux	19
T int exposition	18

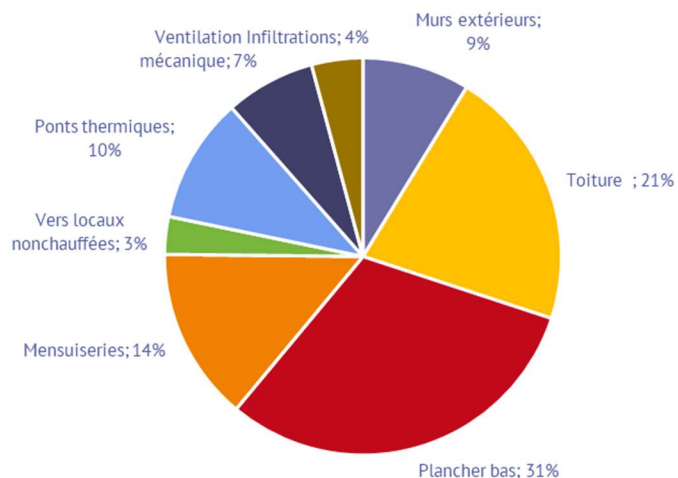
DEPERDITIONS - Aérogare			
Localisation	Surface (m ²)	Déperdition (W/K)	Part (%)
Murs extérieurs	3272	4603	9%
Toiture	13026	11186	21%
Plancher bas	13026	16283	31%
Menuiseries	3307	7423	14%
Vers locaux nonchauffés	2688	1613	3%
Ponts thermiques	-	5386	10%
Ventilation mécanique	-	3853	7%
Infiltrations	-	2197	4%
TOTAL DEPERDITIONS	35319	52544	100%
BUREAUX & TOUR CONTRÔLE		14564	28%
ZONE EXPOSITION		37980	72%

DEPERDITIONS VENTILATION			
Localisation	Débit air neuf (m ³ /h)	Déperditions (W/K)	Part (%)
Ventilation mécanique	45 330	3 853	64%
Infiltrations	6 462	2 197	36%
TOTAL VENTILATION	51792	6050	100%

BILAN DES DERPERDITIONS		
Déperditions bâti G1	0,52	W/m ³ .K
Déperditions ventilation G2	0,07	W/m ³ .K
TOTAL DEPERDITIONS G	0,59	W/m³.K
PUISSANCE UTILE BUREAUX	282	kW
PUISSANCE UTILE ZONE EXPOSITION	961	kW
PUISSANCE UTILE TOTALE	1243	kW

Avec surpuissance de 10%

REPARTITION DES DEPERDITIONS (W/K)



5.2. Consommations annuelles par usages

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

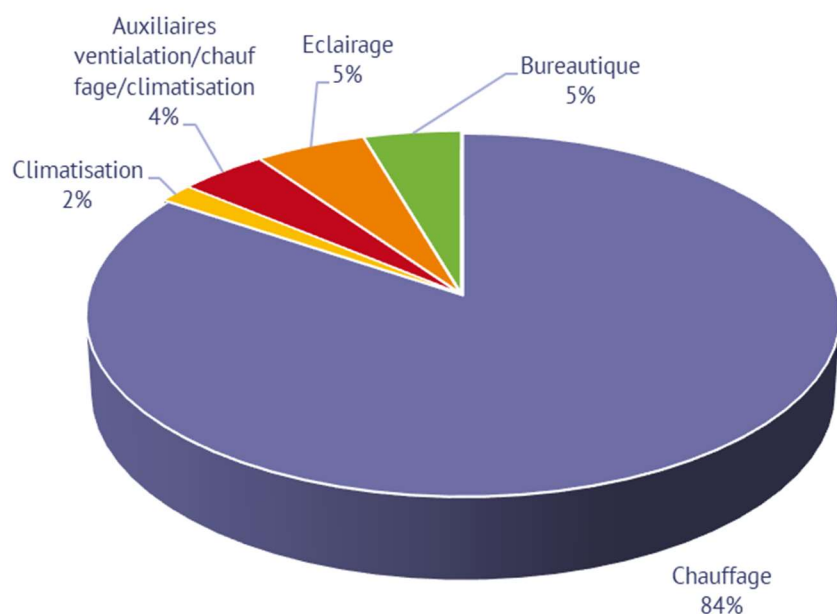
- Station météo : Paris-Le Bourget (zone H1a)
- Température extérieure de base : -5°C
- DJU chauffagiste (COSTIC trentenaires) : 2394°C
- DJU climaticien : 498.6°C
- Consigne de chauffage : 19°C (bureau) et 18°C (exposition)
- Consigne de climatisation : 20°C (planète pilote)
- Surface utile : 19 000 m²
- Occupations : bureaux : lundi au vendredi 8h-18h ; zone exposition : 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/m²SU)	%
Chauffage	Réseau de chaleur	1 464 618	1 464 618	77	84%
Climatisation	Electricité	28 043	72 351	4	2%
Auxiliaires ventilation/chauffage/climatisation	Electricité	72 726	187 632	10	4%
Eclairage	Electricité	91 322	235 612	12	5%
Bureautique	Electricité	79 872	206 070	11	5%
Total		1 736 581	2 166 283	114	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 - Aérogare					
Nom	Energie	Horaires de fonctionnement	Consigne de température	Réduit	Consommations (kWhEF/an)
Bureaux	Réseau de chaleur	L au V de 8h à 18h	Hiver : 19°C	Hiver : 17°C	976 872

Zone d'expositions	Réseau de chaleur	M au D de 10h à 18h	Hiver : 18°C	-	487 746
TOTAL					1 464 618

5.3.2. Consommations liées à la climatisation

CONSOMMATIONS DE REFROIDISSEMENT						
Nom	Energie	Puissance calorifique totale	Horaires de fonctionnement	Réduit	Consigne de température	Consommations (kWhEF/an)
Planète Pilote	Electricité	100 kW	M au D de 10h à 18h	1	Eté : 26°C	28 364
TOTAL						28 64

5.3.3. Consommations liées au traitement d'air

CONSOMMATIONS DE TRAITEMENT D'AIR - Aérogare						
Nom	Débit	Durée de fonctionnement	Réduit	Utilisation	Ratio de consommation ventilateur	Ventilateurs (kWhEF/an)
CTA Sud	8 190 m ³ /h	50h/semaine	-	En continue	0,25 W/(m ³ /h)	8 073
CTA Nord	11 100 m ³ /h	50h/semaine	-	En continue	0,25 W/(m ³ /h)	14 430
CTA Centrale	6 040 m ³ /h	24/24h	40%	En continue	0,25 W/(m ³ /h)	19 023
CTA Planète Pilot	20 000 m ³ /h	50h/semaine	-	En continue	0,30 W/(m ³ /h)	31 200
TOTAL						72 726

5.3.4. Consommations liées à l'éclairage

CONSOMMATIONS D'ECLAIRAGE						
Nom	SU (m ²)	Puissance d'éclairage estimée (W)	Horaires de fonctionnement	Mode d'allumage	Simultanéité	Consommations (kWhEF/an)
Bureaux	5700	22800	10heures/jour 5jours/semaine	Commande manuelle	0,7	41 496
Zone d'exposition	9000	27000	8heures/jour 6jours/semaine	Commande manuelle	0,7	47 174
Sous-sol	3400	10200	Ponctuel supposé 10h/semaine	Commande manuelle	0,5	2 652
TOTAL						91 322

5.3.5. Consommations liées à l'usage bureautique

BUREAUTIQUE / SERVEURS		
Nom	Hypothèses	Consommations (kWhEF/an)
Bureautique	200 pers environ avec 2ème écran 5 photocopieurs	79 872

TOTAL
79 872

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	50h/semaine 2394°C	1 464 618	m² SU	19005	77,1 kWhEF/m² SU
Climatisation	Horaires d'activité DJU Chauffagiste	50h/semaine 495°C	28 364	m² SU	19005	1,5 kWhEF/m² SU
Auxiliaires ventilation/chauffage/climatisation	Horaires d'activité DJU Chauffagiste	50h/semaine 2394°C 495°C	72 726	m² SU	19005	3,8 kWhEF/m² SU
Eclairage	Horaires d'activité	50h/semaine	91 322	m² SU	19005	4,8 kWhEF/m² SU
Bureautique	Horaires d'activité	50h/semaine	79 872	m² SU	19005	4,2 kWhEF/m² SU
Total	Horaires d'activité DJU	50h/semaine 2394°C 495°C	1 565 708	m² SU	19005	82,4 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 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
Aérogare	49S & 49N	10/2021 - 03/2022	1 804	1 108 741	1 108 741	1 145 090	-36 349	-3%

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

6. PRECONISATIONS

Nota : 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.

Les préconisations identifiées visent à améliorer la performance des utilités en passant sur les centrale double intégrée une pompe à chaleur. Les choix de produits de référence sont présentés dans le tableau ci-dessous :

CTA Existant			CTA intégrée pompe à chaleur à remplacer	
CTA SUD	CARRIER 39SL85	Débit soufflage : 8190m ³ /h Récupérateur rotatif : 74,98% Puissance calorifique : 71,52kW	CARRIER 50FC 074 (ou équivalent)	Débit soufflage nominal : 15500m ³ /h Puissance chauffage : 71,77kW Puissance absorbée : 20,27kW COP : 3,55
CTA Nord	CARRIER 39SL120	Débit soufflage : 11100 m ³ /h Récupérateur rotatif : 77,41% Puissance calorifique : 96,93kW	CARRIER 50FC 100 (ou équivalent)	Débit soufflage nominal : 18000m ³ /h Puissance chauffage : 100,2kW Puissance absorbée : 27,69kW COP : 3,62
CTA Centrale	CARRIER 39SL65	Débit soufflage : 6040 m ³ /h Récupérateur rotatif : 77,41% Puissance calorifique : 52,75 kW	CARRIER 50FC 086 (ou équivalent)	Débit soufflage nominal : 16000m ³ /h Puissance chauffage : 80,38kW Puissance absorbée : 22,91kW COP : 3,51
CTA Planète Pilot	CLIMATCIAT AIRTECH 250	Débit soufflage : 20 000 m ³ /h Puissance utile : 100kW Récupérateur de chaleur : 75% groupe frigorifique CIAT CIATCOOLER LJA 350-80kW R407C 9,2+8kg puissance absorbée : 40,9kW	CARRIER 50FC 100 (ou équivalent) + Groupe froide réemploi	Débit soufflage nominal : 18000m ³ /h Puissance chauffage : 100,2kW Puissance absorbée : 27,69kW COP : 3,62

Produit de référence :



UNITÉS COMPACTES DE TOITURE - 50FF - 50FC 020-093

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES (EN-14511-2018)

50FC		020	028	037	040	045	047	052	058	062	070	074	088	093
Puissances réfrigération														
Puissance frigorifique ⁽¹⁾	kW	22,31	27,78	33,44	36,90	41,50	43,92	53,22	57,80	60,39	68,26	72,22	80,66	90,18
Puissance absorbée ⁽²⁾	kW	7,00	8,98	10,25	11,79	13,40	14,26	16,53	18,38	19,38	21,27	22,89	25,77	28,94
Efficacité EER		3,19	3,09	3,26	3,13	3,10	3,08	3,22	3,14	3,12	3,21	3,15	3,13	3,12
SEER		4,82	4,83	4,57	4,44	4,34	4,35	4,82	4,82	4,85	4,62	4,56	4,44	4,45
ηs		190%	190%	180%	175%	171%	171%	190%	190%	191%	182%	179%	175%	175%
Puissances chauffage														
Puissance frigorifique ⁽²⁾	kW	21,88	27,72	33,05	36,61	41,82	44,56	50,71	55,79	58,57	67,68	71,77	80,38	89,66
Puissance absorbée ⁽²⁾	kW	5,82	7,99	9,09	10,21	12,00	12,95	14,43	16,01	16,89	18,97	20,27	22,91	25,90
Efficacité EER		3,76	3,47	3,64	3,59	3,49	3,44	3,51	3,48	3,47	3,57	3,54	3,51	3,46
SEER		3,47	3,43	3,45	3,45	3,46	3,44	3,57	3,59	3,50	3,49	3,55	3,59	3,58
ηs		136%	134%	135%	135%	135%	135%	140%	141%	137%	137%	139%	141%	140%
Ventilateur circuit extérieur														
Débit d'air nominal	m³/h	9.000	14.500	17.000	17.000	17.000	17.750	31.000	31.000	31.000	33.000	33.000	34.500	35.000
Pression statique disp.	mmCE	5												
Nombre / Diamètre	mm	1/630	1/800					2/800						
Puissance moteur	kW	0,9	2,6					2 x 2,6						
Vitesse maximale	tr/min	1.140	1.020					1.020						
Intensité max. absorbée	A	1,6	3,9					7,8						
Ventilateur soufflage circ. intérieur														
Débit d'air nominal	m³/h	5.100	6.500	8.500	8.750	9.000	9.000	12.000	12.500	12.500	15.500	15.500	16.000	16.000
Pression statique disp.	mmCE	12	12	12	15	15	15	20	20	20	20	20	20	25
Nombre / Diamètre	mm	1/500	1/500	1/500				2/500					2/500	
Puissance moteur	kW	1 x 2,65	1 x 2,83					2 x 2,65					2 x 2,83	
Puissance absorbée	kW	0,62	1,01	1,79	1,90	2,00	2,04	2,20	2,20	2,20	3,53	3,53	3,42	3,75
Vitesse	tr/min	1.700												
Intensité max. absorbée	A	4,2		4,3				8,4					8,6	
Compresseur														
Nb compresseurs / étages / circuits		2 / 2 / 1												
Type huile		Copeland 3MAF 32cST, Danfoss POE 160SZ, ICI Emkarate RL 32CF, Mobil EAL Artic 22CC												
Volume d'huile	l	2,5	2,5	3,3	3,5	3,5	3,5	2,5 + 2,5	2,5 + 2,5	2,5 + 3,3	3,3 + 3,3	3,3 + 3,5	3,5 + 3,5	3,5 + 3,5
Caractérist. électriques														
Tension de réseau		400 V / III ph / 50 Hz (±10%)												
Alimentation		3 Filis + Terre + Neutre												
Intensité max. absorbée	A	18,9	26,5	26,4	29,9	33,6	34,0	48,1	53,5	53,2	56,3	60,2	68,8	73,8
Réfrigérant														
Potential de réchauffement global ⁽⁴⁾	GWP	R-410A 2.088												
Charge	kg	8,0	8,3	11,0	11,0	11,3	11,6	2 x 6,3	2 x 6,4	2 x 6,5	2 x 10,0	2 x 10,2	2 x 10,2	2 x 10,3
Impact environnemental	teqCO ₂	16,7	17,3	23,0	23,0	23,6	24,2	26,1	26,7	27,1	41,8	42,4	42,4	42,8
Charge supplémentaire de la déshumidification active (opt.) ⁽⁵⁾	kg	4,9	4,9	4,6	4,6	4,6	4,6	11,2	11,2	11,2	11,5	11,5	11,5	11,5
Impact environnemental de la déshumidification active	teqCO ₂	10,2	10,2	9,6	9,6	9,6	9,6	23,4	23,4	23,4	24,0	24,0	24,0	24,0
Poids														
Montagne R1	kn	585	610	675	680	685	690	990	995	1.040	1.155	1.160	1.165	1.170

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	279,61
Puissance absorbée ⁽²⁾	kW	31,58	35,88	39,53	42,08	47,82	54,98	59,36	66,47	77,57	83,02	96,62	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 ⁽²⁾	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													
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													
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													
Nb compresseurs / étages / circuits		Scroll 4 / 4 / 2											
Type huile		Copeland 3MAF 32cST, Danfoss POE 160SZ, ICI Emkarate RL 32CF, Mobil EAL Artic 22CC 4 / 4 / 2											
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	4 x 3,3	2 x 3,3 + 2 x 3,6	3 x 3,6 + 1 x 3,6 + 1 x 6,1	4 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 Filis + 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													
Potential de réchauffement global ⁽⁴⁾	GWP	R-410A 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

Récapitulatifs des travaux :

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	Remplacement de la CTA Sud	Remplacement de la CTA existante par une CTA avec une pompe à chaleur air/air intégrée Produit de référence : CARRIER 50FC 074	99 971	6%	34790	-615	90 000 €	14 346 €	6,3	5,9
2	Remplacement de la CTA Nord	Remplacement de la CTA existante par une CTA avec une pompe à chaleur air/air intégrée Produit de référence : CARRIER 50FC 100	135 489	8%	47150	-833	120 000 €	19 443 €	6,2	5,8
3	Remplacement de la CTA Centrale	Remplacement de la CTA existante par une CTA avec une pompe à chaleur air/air intégrée Produit de référence : CARRIER 50FC 086	90 404	5%	31460	-556	100 000 €	12 973 €	7,8	7,1
4	Remplacement de la CTA Planète Pilot	Remplacement de la CTA existante par une CTA avec une pompe à chaleur air/air intégrée Produit de référence : CARRIER 50FC 100	58 475	3%	20349	-360	120 000 €	8 391 €	14,4	12,1

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.an	En kWhEF/an	Par rapport à l'état existant	Gain financier €HT/an	Temps de retour brut	Temps de retour actualisé	Emissions CO2 kgéqCO2/an	Déchets nucléaires g/an
Remplacement de l'ensemble des CTA existantes en passant sur les CTA intégrée pompe à chaleur air/air	430 000	1 352 242	2 085 571	668,2	384 339	22%	55 153	7,8	7,1	118 761	-2 364