

Audit énergétique

Rapport de l'audit



Audit énergétique Hall Ebis

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 site	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. Indicateurs de conservation et de performance	9
3.2. Parois du bâtiment	9
3.3. Menuiseries extérieures	10
3.4. 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. Répartition des consommations 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 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

1. PREAMBULE

1.1. Contexte

Le présent rapport est pour l'objet de la réalisation de l'audit énergétique du Hall Ebis.
Le bâtiment comporte un hall d'exposition sur une surface plancher de 1 251 m².



Photo de façade du Hall Ebis sur rue de Rome

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 Pole 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
Huu Anh Khoa LE Ingénieur étude	01 60 15 01 35	huu-anh-khoa.le@nepsen.fr

1.3. Visites de site

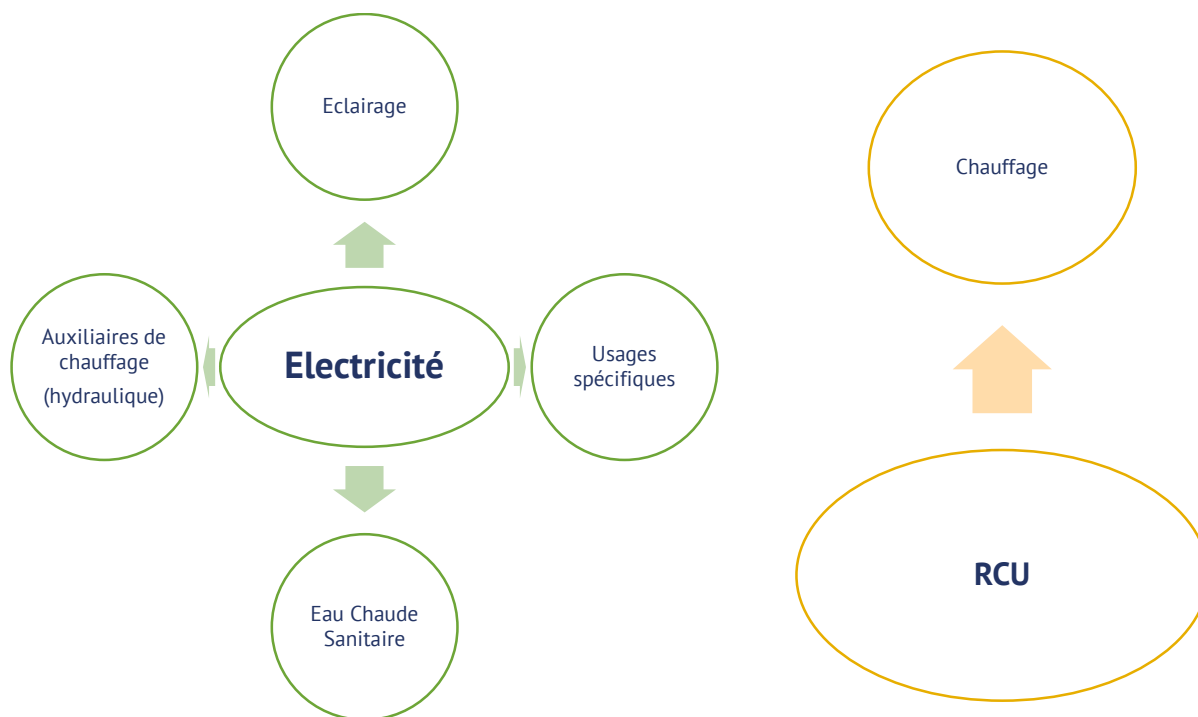
DATE	OBJET	COMMENTAIRE
10/05/2023	Visite technique	Visite générale de site - hors Dugny
05/07/2023	Visite technique complémentaire	Visite spécifique sur bâtiment 26, HM2 et chaufferie gaz centrale
17/08/2023	Visite technique complémentaire	Visite spécifique sur bâtiments Béchat, Bermuda et locaux techniques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

1.4. Identification du site

RENSEIGNEMENTS SUR LE SITE	
Adresse	Aéroport de Paris – Le Bourget, 93352 Le Bourget
Nom du bâtiment	Hall Ebis
Année de construction /Rehabilitation	Une extension construite en 2006-2007
Surface utile (SU)	1251 m ²
Activité	ERP - Salle d'exposition
Effectifs	50 personnes
Horaires d'occupation	Mardi au Dimanche, 10h à 18h
Energies utilisées	Electricité, Réseau de chaleur

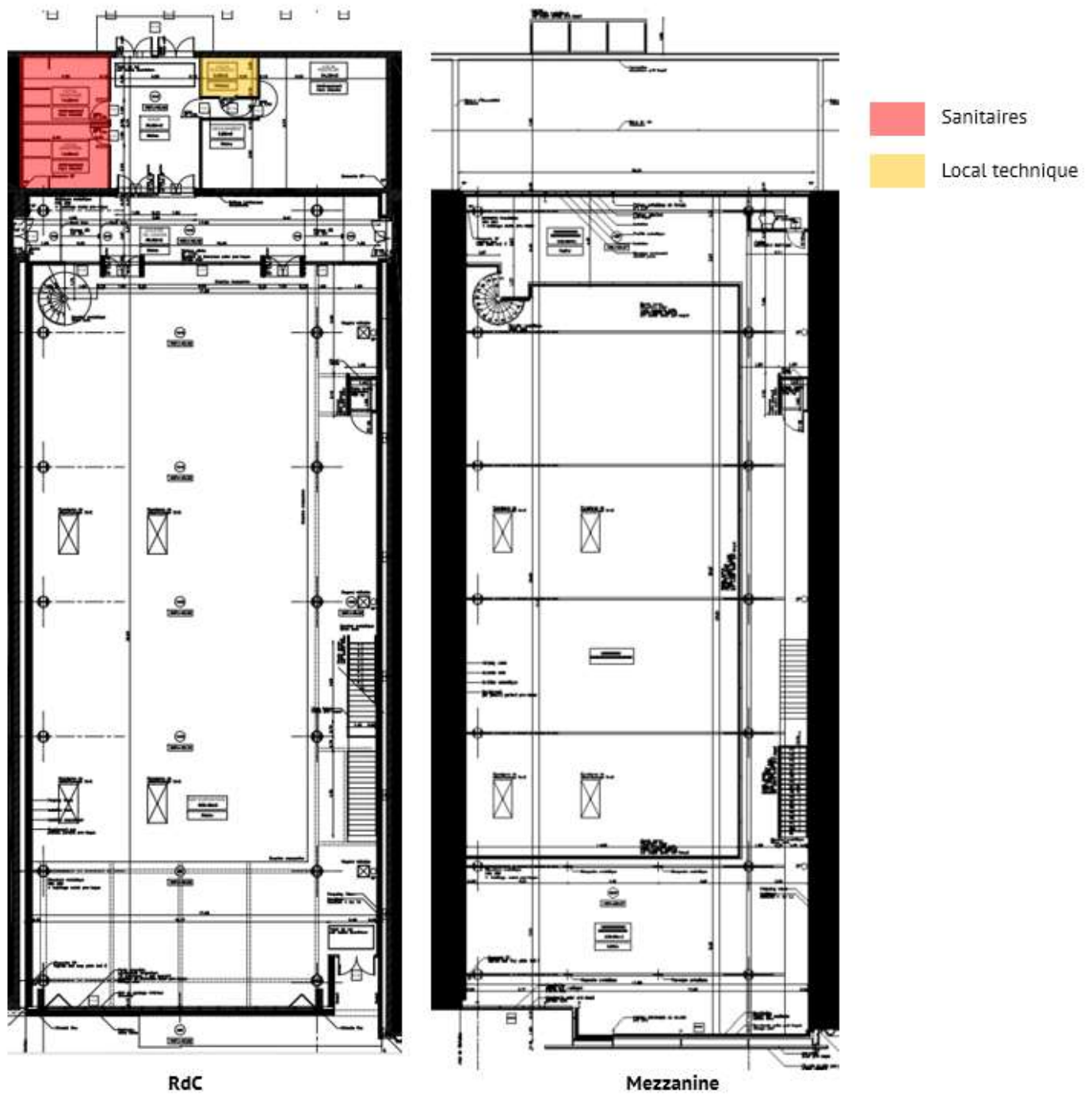
1.5. Energies et usages

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



Usages énergétiques du Hall Ebis

1.6. Plans



Plan du Hall Ebis

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.

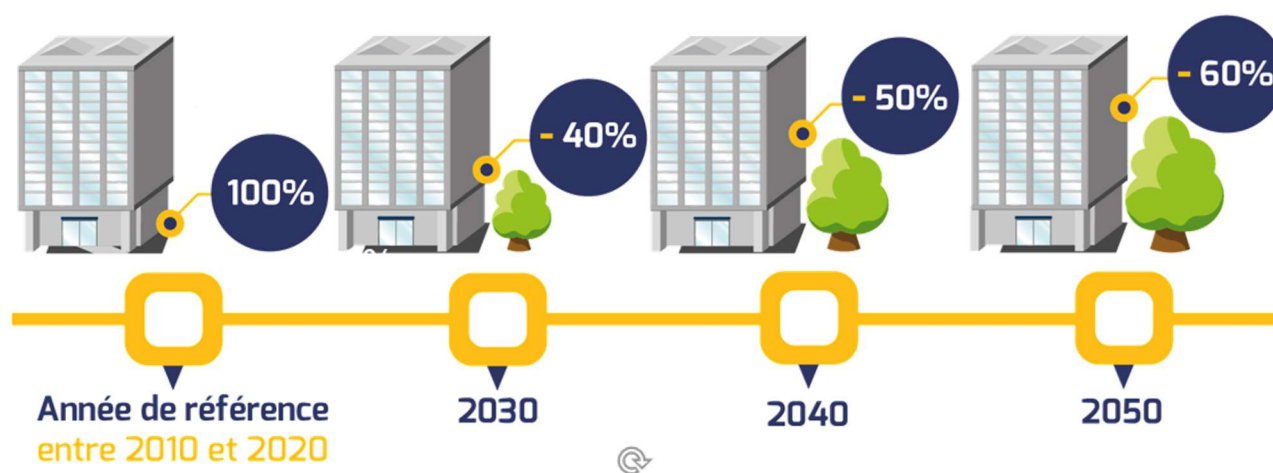
2.1.2. Niveau de labélisation

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

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 de l'année 2007-2008 Supposée faiblement isolée (4cm de rockwool)	Faible isolation
			R : 1,2
			Ecart : -68%
			Evaluation :
Toiture	Toiture	Toiture rampant en bardage métallique double peau Supposée faiblement isolée (4cm de rockwool)	Faible isolation
			R : 1,2
			Ecart : -73%
			Evaluation :
Plancher bas	Plancher bas sur terre-plein b=0,8	Dalle béton épaisseur inconnue (supposée 15cm) Supposée faiblement isolée	Correte
			R : 1,3
			Ecart : -
			Evaluation : -

3.3. Menuiseries extérieures

CLOS ET COUVERT			
Elément	Désignation	Descriptif	Performance
Menuiseries	Menuiseries extérieures	Menuiseries aluminium à rupteurs de ponts thermique	Correcte
			Uw : 2
			Ecart : -5%
			Evaluation :
	Désenfumage toiture	Désenfumage toiture	Correcte
			Uw : 2,5
			Ecart : -32%
	Portes extérieures	Portes métalliques	Evaluation :
			Mauvaise performance
			Uw : 4,5
			Ecart : -125%
			Evaluation :

3.4. Equipements techniques

EQUIPEMENTS TECHNIQUES			
Désignation	Descriptif	Régulation	Performance
Chauffage	4 aérothermes eau chaude sur Réseau de Chauffage Urbain Sous-station : S6/7 Echangeur calorifugé	Période de chauffage : M au D, de 10h à 18h	Etat correcte
			Evaluation :
Ventilation	Pas de système de ventilation mécanique dans la salle d'exposition Renouvellement d'air par l'infiltration	-	-
			Evaluation :
Eclairage	Luminaires technique LED Puissance estimée : 500W	Temps de fonctionnement : M au D, de 10h à 18h	Bonne état
			Evaluation :

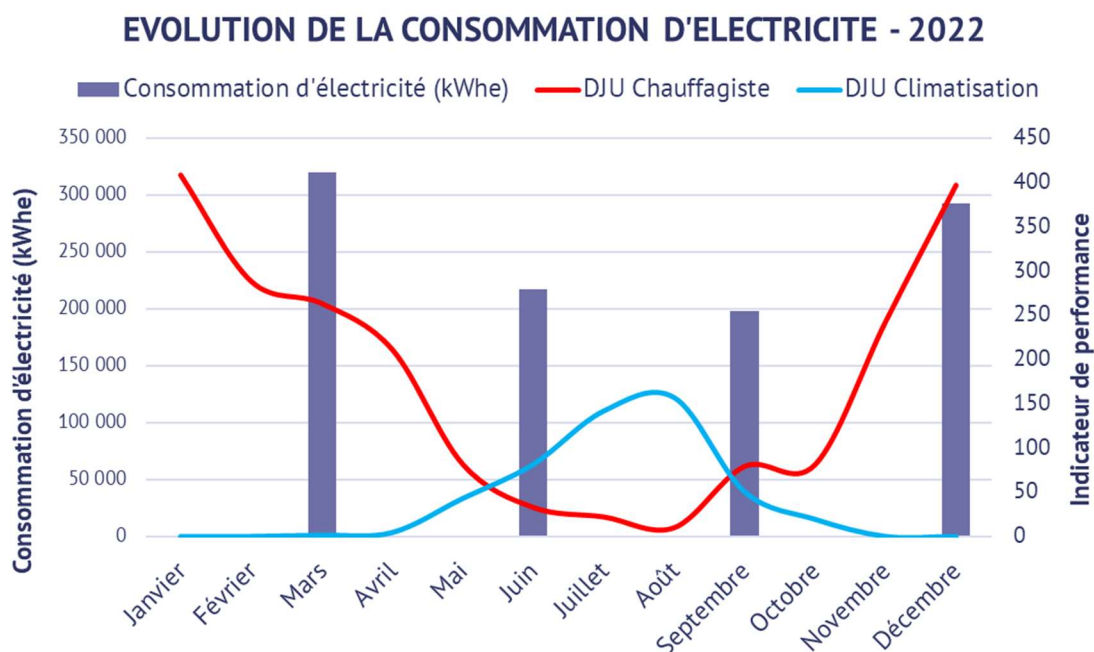
4. CONSOMMATION DE REFERENCE

4.1. Electricité

Le compteur MAE (159-167-49)bis relève 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 Ebis.

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.

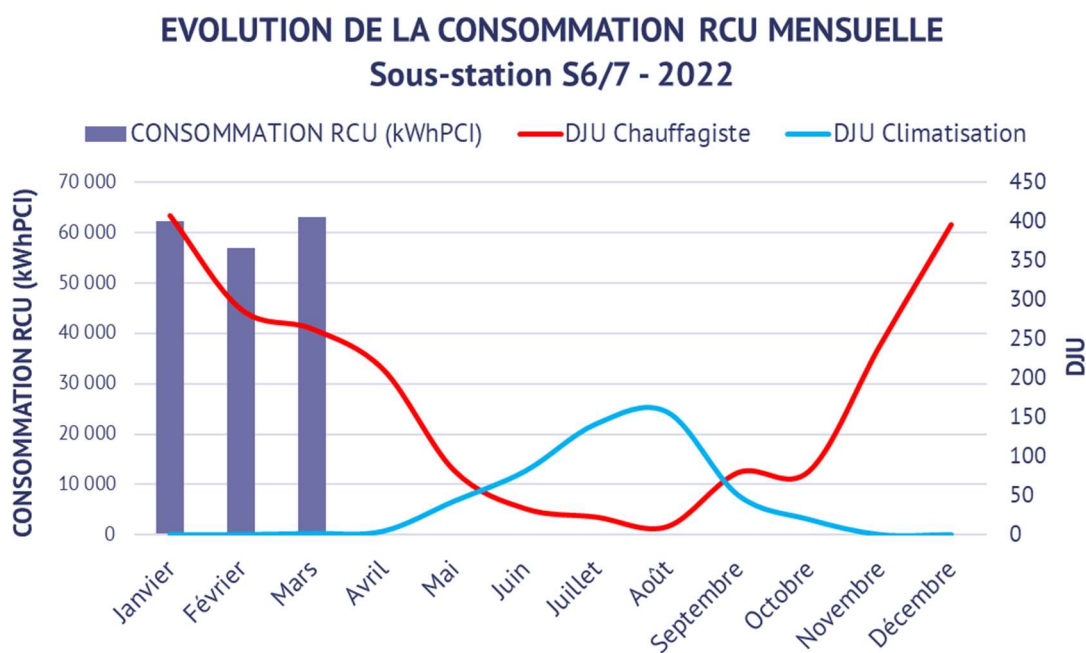
4.2. Réseau de chaleur

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.

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 le 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

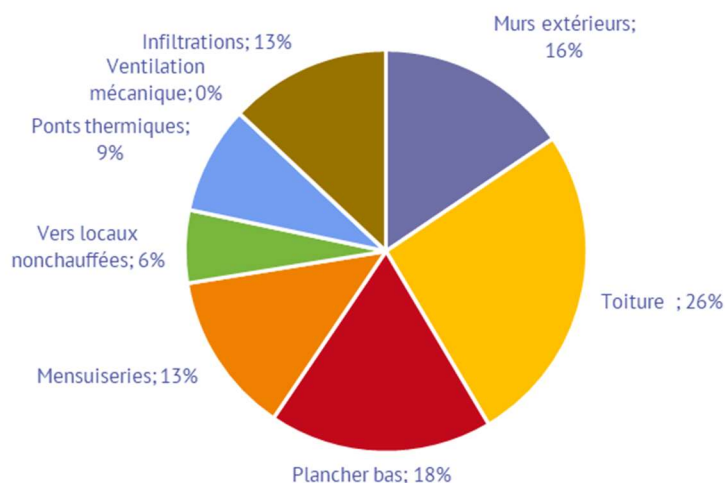
Volume chauffé	9 689 m ³
Ubât	0,87 W/m ² .K
T ext base hiver	-5°C
T int	18°C

DEPERDITIONS HALL Ebis			
Localisation	Surface (m ²)	Déperdition (W/K)	Part (%)
Murs extérieurs	482	352	16%
Toiture	786	586	26%
Plancher bas	769	407	18%
Mensueries	145	294	13%
Vers locaux nonchauffés	74	132	6%
Ponts thermiques	-	197	9%
Ventilation mécanique	-	0	0%
Infiltrations	-	294	13%
TOTAL DEPERDITIONS	2256	2262	100%

DEPERDITIONS VENTILATION			
Localisation	Débit air neuf (m ³ /h)	Déperditions (W/K)	Part (%)
Ventilation mécanique	0	0	0%
Infiltrations	865	294	100%
TOTAL VENTILATION	865	294	100%

BILAN DES DERPERDITIONS		
Déperditions bâti G1	0,20	W/m ³ .K
Déperditions ventilation G2	0,03	W/m ³ .K
TOTAL DEPERDITIONS G	0,23	W/m³.K
PUISSANCE UTILE	52	kW

REPARTITION DES DEPERDITIONS (W/K)



5.2. Répartition des consommations par usages

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

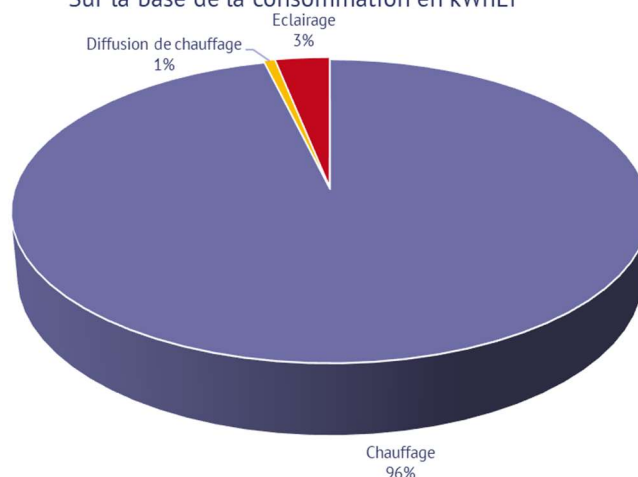
- Station météo : Paris-Le Bourget (zone H1a)
- Température extérieure de base : -5°C
- DJU chauffagiste (COSTIC trentenaires) : 2394°C
- Consigne de chauffage : 18°C
- Surface utile : 1251 m²
- Plages occupation, éclairage et chauffage : Mardi au dimanche - 10-18h
- Surface : salle d'exposition 100%
- Nombre d'occupant : max. 50 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	46 807	46 807	37	96%
Diffusion de chauffage	Electricité	576	1 486	1	1%
Eclairage	Electricité	1 251	3 229	3	3%
Total		48 635	51 522	41	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 Ebis						
Nom	Energie	Puissance	Horaires de fonctionnement	Réduit	Consigne de température	Consommations (kWhEF/an)
Aérothermes eau chaude	Réseau de chaleur	60 kW	M au D de 10h à 18h	1	Hiver : 18°C	46 807
Soufflage vertical des aérothermes	Electricité	400 W	M au D de 10h à 18h	1	-	576
TOTAL	-	-	-	-	-	47 383

5.3.2. Consommations liées à l'éclairage

CONSOMMATIONS D'ECLAIRAGE						
Nom	SU (m²)	Puissance d'éclairage totale (W)	Horaires de fonctionnement	Mode d'allumage	Simultanéité	Consommations (kWhEF/an)
Hall EBis (Exposition)	1251	500	8heures/jour 6jours/semaine	Commande manuelle	1,0	1 251
TOTAL	-	-	-	-	-	1 251

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	46 807	m² SU	1251	37,4 kWhEF/m² SU
Auxiliaires chauffage	Horaires d'activité DJU Chauffagiste	48h/semaine 2394°C	576	m² SU	1251	0,5 kWhEF/m² SU
Eclairage	Horaires d'activité	48h/semaine	1 251	m² SU	1251	1 kWhEF/m² SU
Total	Horaires d'activité DJU	48h/semaine 2394°C	48 635	m² SU	1251	38,9 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 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

Le hall Ebis a une performance moyenne. Il consomme environ 10% de la consommation d'énergie RCU de la sous-station S6/7. Nous proposons dans le présent rapport la préconisation pour optimiser l'exploitant du hall.

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.

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	Diminution de 1°C de la température de consigne	Diminuation de température de consigne par 1°C Soit 17°C	4 716	10%	1226	0	0 €	707 €	-	-