

Audit énergétique

Rapport audit



Audit énergétique Hall Béchat

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 site	5
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	12
3.4. Equipements techniques	12
4. CONSOMMATION DE REFERENCE	13
4.1. Electricité	13
5. MODELISATION ENERGETIQUE	14
5.1. Bilan des déperditions thermiques	14
5.2. Répartition des consommations par usages	15
5.3. Détail des consommations énergétiques par usage	16
5.3.1. Consommations liées au chauffage	16
5.3.2. Consommations liées au refroidissement	16
5.3.3. Consommations liées au traitement d'air	16
5.3.4. Consommations liées à l'éclairage	17
5.4. Indicateurs de performance énergétique (IPes)	17
5.5. Comparaison des consommations théoriques aux consommations réelles	17
6. PRECONISATION	18

1. PREAMBULE

1.1. Contexte

La présente étude concerne le bâtiment Béchat.

Le bâtiment a été construit en 2017 sur une surface plancher de 3000m². Il est destiné au stockage et conditionné 24/24h pour une température l'intérieur de 16-18°C.



Photo de l'extérieur du bâtiment Béchat

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

1.3. Visites de site

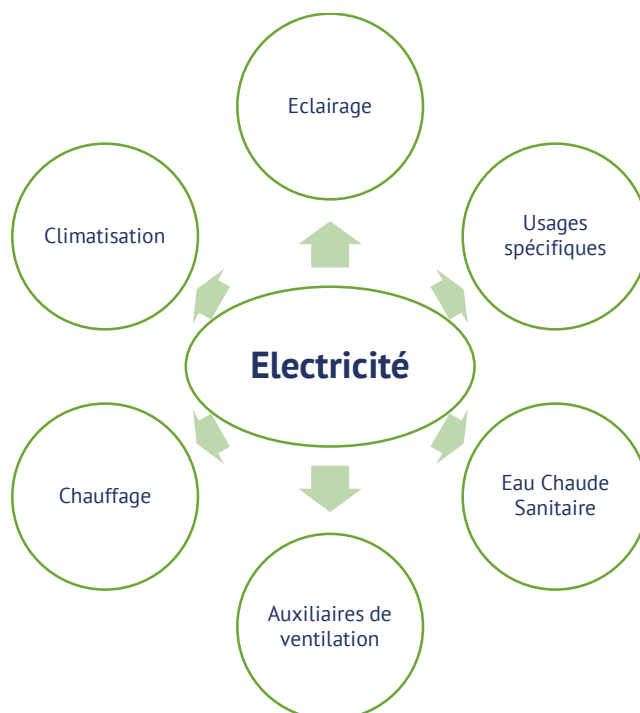
DATE	OBJET	COMMENTAIRE
10/05/2023	Visite technique	Visite générale de site - hors Dugny
05/07/2023	Visite technique complémentaire	Visite spécifique sur bâtiment 26, HM2 et chaufferie gaz centrale
17/08/2023	Visite technique complémentaire	Visite spécifique sur bâtiments Béchat, Bermuda et locaux techniques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

1.4. Identification du site

RENSEIGNEMENTS SUR LE SITE	
Adresse	Aéroport de Paris – Site Dugny 1 Av. de la 2ème Division Blindée, 93440 Dugny
Nom du bâtiment	Béchat
Année de construction	2017
Surface utile (SU)	3000 m ²
Activité	Hall de stockage conditionné
Temps de fonctionnement	24/24h
Energies utilisées	Electricité

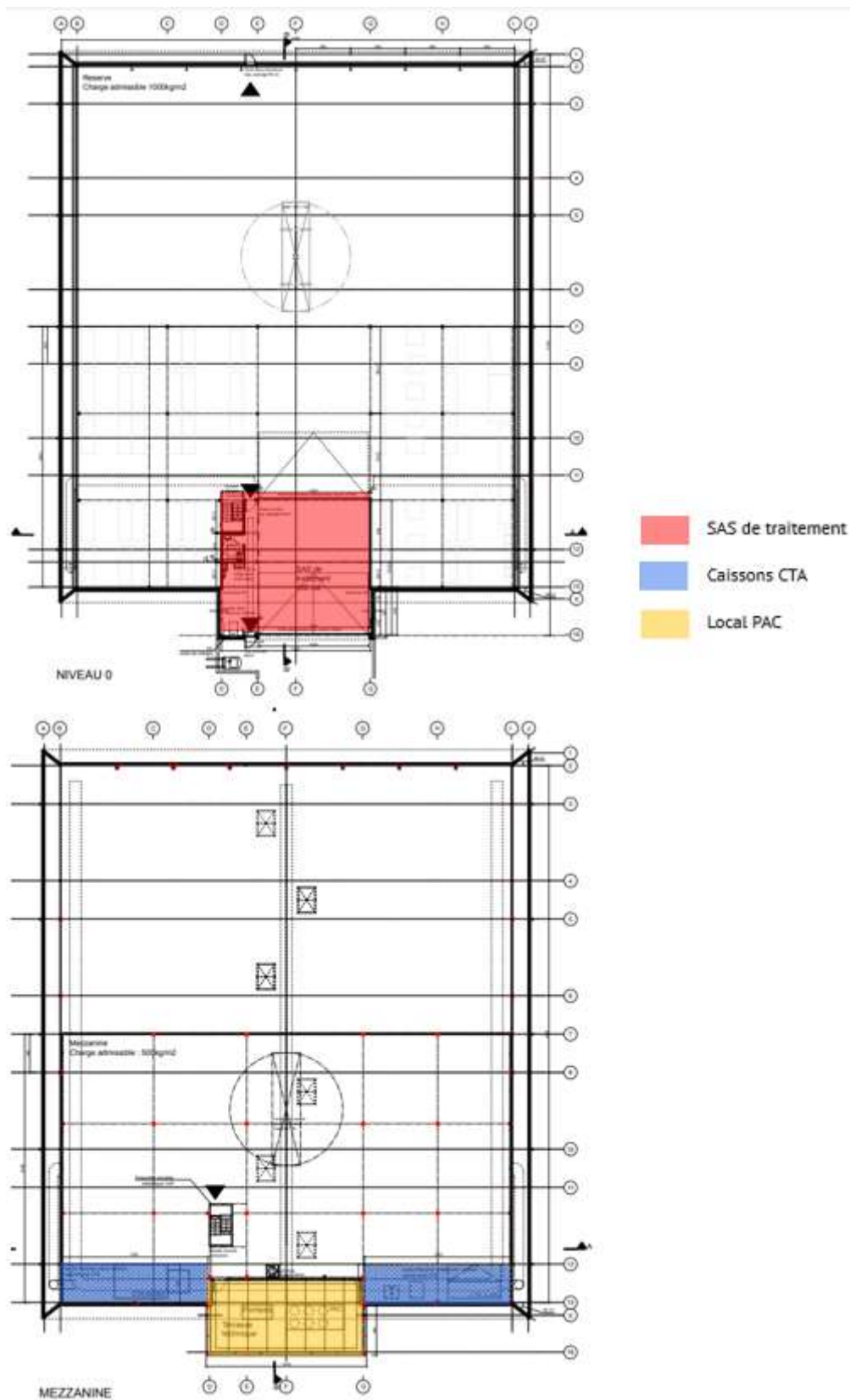
1.5. Energies et usages

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



Usages énergétiques du hall Béchat

1.6. Plans



Plan du Hall Béchat

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.

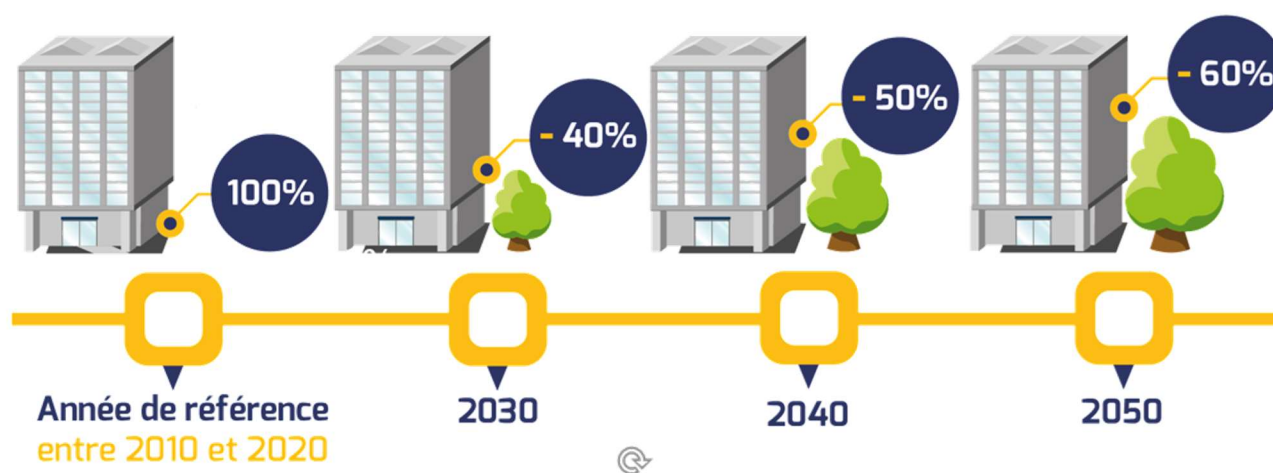
2.1.2. Niveau de labélisation

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 Façade en panneau sandwich Promisol S 1000 Epaisseur nominale de 120mm	Bonne performance
			R : 4,59
			Ecart : 43%
			Evaluation :
	Longrine	Longrine en béton armé , isolée avec 5cm de polyfoam drain	Performance moyenne
			R : 1,78
			Ecart : -44%
Toiture	Toiture	Toiture terrasse non-acessible, étanchéité bitume soudée en plein Panneau isolant en laine de roche (16,5cm) avec revêtement d'une couche de bitume	Bonne performance
			R : 4,32
			Ecart : -4%
			Evaluation :
	Terrasse technique	Terrasse technique sur dalle béton de 7cm, isolée avec 12cm de mousse polyuréthane et revêtement de l'asphalte sablé	Performance moyenne
			R : 2,96
			Ecart : -34%
Plancher bas sur terre-plein	Plancher bas sur terre-plein	Plancher bas en béton armé sur terre-pleine avec isolation de périphérique verticale (h 0,7m)	Bonne performance
			U : 0,223
			Ecart : -
			Evaluation :

3.3. Menuiseries extérieures

CLOS ET COUVERT			
Elément	Désignation	Descriptif	Performance
Menuiseries	Exutoire de désenfumage	Exutoire de désenfumage	Bonne performance
			Uw : 1,4
			Ecart : 26%
			Evaluation :
	Porte métallique	Porte d'accès au SAS de personnel	Bonne performance
			Ud : 2
			Ecart : 0%
			Evaluation :
	Porte sectionnelle	Grande porte d'entrée de 50m2, bien isolée	Bonne performance
			Ud : 1,2
			Ecart : 40%
			Evaluation :

3.4. Equipements techniques

EQUIPEMENTS TECHNIQUES			
Désignation	Descriptif	Régulation	Performance
Production chaude/froide	Pompe à chaleur scroll air/eau CARRIER 30RQP-0240 Puissance frigorifique : 235,1 kW EER : 3,09 ; ESEER : 4,10 Puissance chauffage : 118,7 kW ; COP : 1,52	Fonctionnement 24/24h Température de consigne : 16-18°C	Installé en 2017 Performance correcte
			Evaluation :
Centrale de traitement d'air	CTA 01 de la marque CARRIER, modèle 39HA18,14 Débit : 60 000/30 000 m3/h Puissance nominale : 28,94 kW Pf : 120 kW ; Pc : 130 kW Batterie électrique : 45 kW (15+15+15)	Fonctionnement en continue	Installé en 2017 Performance correcte
			Evaluation :
	CTA 02 de la marque CARRIER, modèle 39SL125 Débit : 9000 m3/h (100% air neuf en fonc. normale) Puissance nominale : 2,795 kW Pf: 111 kW; Pc: 92 kW	Fonctionnement en continue	Installé en 2017 Performance correcte
			Evaluation :
Eclairage	Luminaire technique LED Puissance estimée : 3500W	Utilisation ponctuelle	Performance correcte
			Evaluation :
ECS	Chauffe-eau sous évier 2000W	Production instantanée	Performance correcte
			Evaluation :

4. CONSOMMATION DE REFERENCE

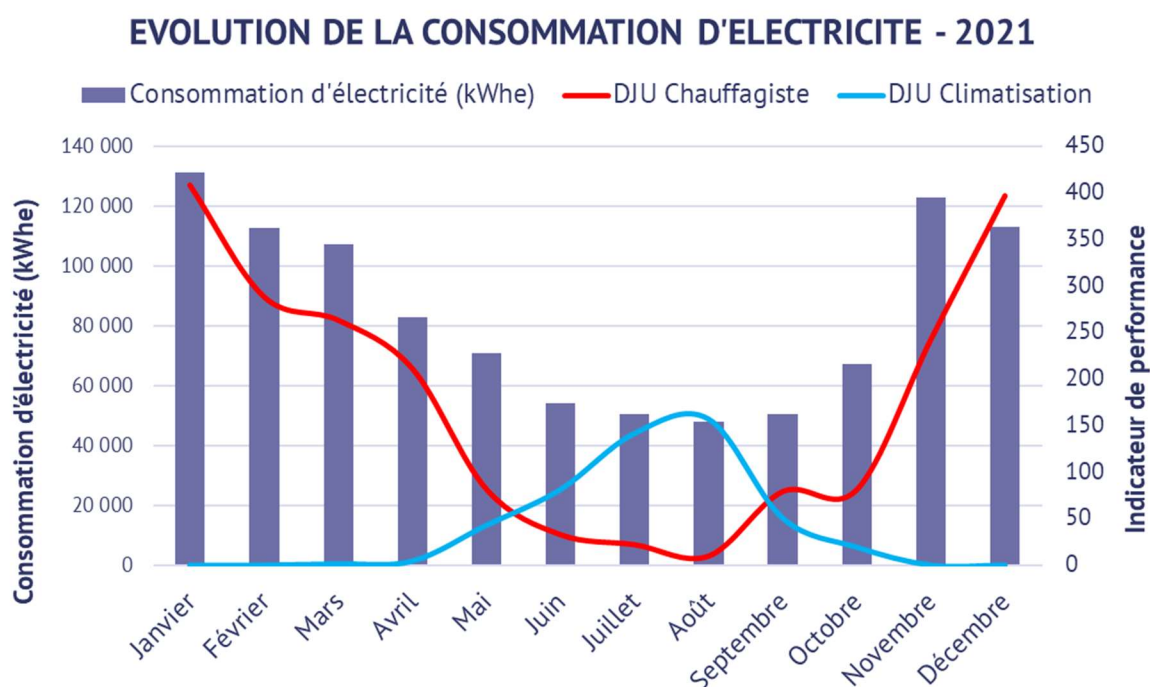
4.1. Electricité

Les consommations d'électricité de l'ensemble des bâtiments du site Dugny sont relevées par le compteur d'électricité général du site Dugny.

Il n'existe pas de sous-comptage dédié au bâtiment Béchat.

Le Contrat Electricité du site a de référence 1-EFB0SYH avec les prix non-réglementés

Le graphique ci-dessous présente les consommations annuelles d'électricité en kWh pour l'année de référence utilisée, à savoir 2021.



Consommation d'électricité du site Dugny – Année 2021

Au global, 1 011 976 kWh a été consommé en l'année 2021 par le site Dugny avec un prix moyen de 0.104 €HT/kWh.

Compte tenu des usages, les consommations sont principalement liées au chauffage et donc sont fortement liées à la rigueur climatique hivernale (+100% par rapport à la période estivale).

Le bâtiment Béchat représente une grosse part des consommations estivales du fait de la climatisation avec des conditions intérieures strictes fixées.

5. MODELISATION ENERGETIQUE

5.1. Bilan des déperditions thermiques

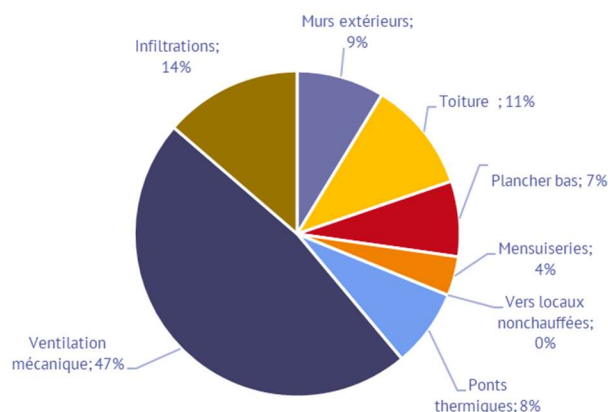
Volume chauffé	28 547 m ³
Ubât	0,37 W/m ² .K

DEPERDITIONS BATIMENT BECHAT				
Localisation	Surface (m ²)	Déperdition (W/K)	Déperditions (W)	Part (%)
Murs extérieurs	2466	562	14045	9%
Toiture	2231	713	17830	11%
Plancher bas	1988	483	12077	7%
Menuiseries	170	252	6298	4%
Vers locaux nonchauffés	-	0	0	0%
Ponts thermiques	-	500	12495	8%
Ventilation mécanique	-	3060	76500	47%
Infiltrations	-	882	22059	14%
TOTAL DEPERDITIONS	6855	6452	161304	100%

DEPERDITIONS VENTILATION			
Localisation	Débit air neuf (m ³ /h)	Déperditions (W/K)	Part (%)
Ventilation mécanique	9 000	3 060	78%
Infiltrations	2 595	882	22%
TOTAL VENTILATION	11595	3942	100%

BILAN DES DERPERDITIONS		
Déperditions bâti G1	0,09	W/m ³ .K
Déperditions ventilation G2	0,14	W/m ³ .K
TOTAL DEPERDITIONS G	0,23	W/m³.K

REPARTITION DES DEPERDITIONS (W/K)



5.2. Répartition des consommations par usages

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

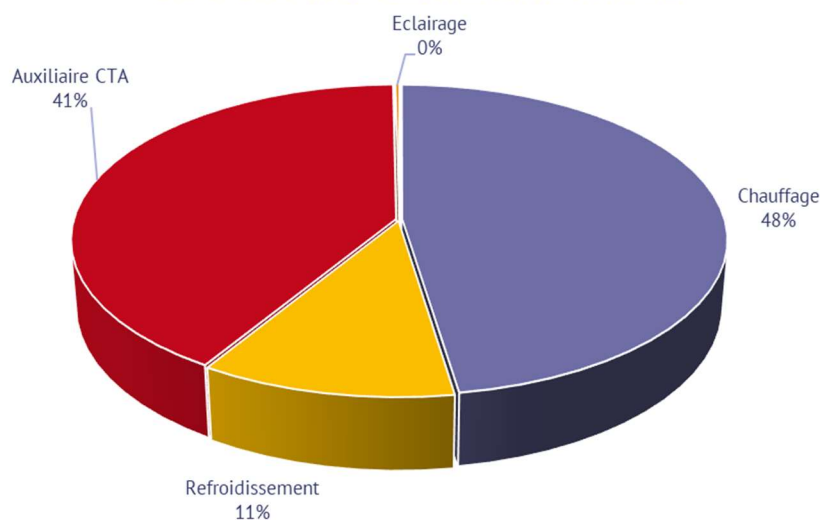
- Station météo : Paris-Le Bourget (zone H1a)
- Température extérieure de base : -5°C
- DJU chauffagiste (COSTIC trentenaires) : 2394°C
- DJU climaticien (18°C) : 459°C
- Consigne de chauffage : 16-18°C
- Consigne de climatisation : 16-18°C
- Surface utile : 3000 m²
- Fonctionnement : 24/24h
- Usage : hall de stockage conditionné.

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	Electricité	314 618	811 714	271	48%
Refroidissement	Electricité	74 182	191 389	64	11%
Auxiliaire CTA	Electricité	271 291	699 930	233	41%
Eclairage	Electricité	1 278	3 296	1	0%
Total		661 368	1 706 329	569	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						
Nom	Localisation	Energie	Horaires de fonctionnement	DJU	Consigne de température	Consommations (kWhEF/an)
Pompe à chaleur	Terrasse technique	Electricité	24/24h	2394	Hiver : 18°C	314 618
TOTAL						314 618

5.3.2. Consommations liées au refroidissement

CONSOmmATIONS DE REFROIDISSEMENT								
Nom	Localisation	Energie	Puissance calorifique totale	EER	Horaires de fonctionnement	DJU climatisation	Consigne de température	Consommations (kWhEF/an)
Pompe à chaleur	Terrasse technique	Electricité	235,1 kW	3,09	24/24h	459	Eté : 18°C	63 627
TOTAL								63 627

5.3.3. Consommations liées au traitement d'air

CONSOmmATIONS D'ELECTRICITE POUR LE TRAITEMENT D'AIR					
Nom	Localisation	Débit	Fonctionnement	Puissance active	Ventilateurs (kWhEF/an)
CTA 1	Hall	60000 m3/h	24/24h	28,94	253 514
CTA 2	Hall	9000 m3/h	24/24h	2,795	17 776
TOTAL					271 291

5.3.4. 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)
Béchat	3000	3500	supposé 1h/jour	Commande manuelle	1,0	1 278
TOTAL	-	-	-	-	-	1 278

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 de fonctionnement DJU Chauffagiste	24/24h 2394°C	314 618	m² SU	3000	104,9 kWhEF/m² SU
Refroidissement	Horaires de fonctionnement DJU Climaticien	24/24h 459°C	74 182	m² SU	3000	24,7 kWhEF/m² SU
Centrale de traitement d'air	Horaires de fonctionnement	24/24h	271 291	m² SU	3000	90,4 kWhEF/m² SU
Eclairage	Horaires d'activité	1h/jour	1 278	m² SU	3000	0,4 kWhEF/m² SU
Total	Horaires d'activité DJU chauffagiste DJU climaticien	24/24h 2394°C 459°C	661 368	m² SU	3000	220,5 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. 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
HM2	Dugny	01/2021 - 12/2021	2 452	27 875	1 006 085	1 011 976	-5 891	-1%
Bermuda				19 172				
Béchat				669 038				
Autres				290 000				

Le bâtiment Béchat a consommé 66% de la consommation d'électricité du site Dugny pendant l'année 2021 selon nos calculs théoriques. Une partie de la consommation d'électricité (20%) est supposée dédiée aux usages bureautiques et aux usages spécifiques concernant les activités de restauration et formation.

6. PRECONISATION

Compte tenu de la performance du bâtiment, aucune préconisation n'est faite sur l'enveloppe ou les systèmes.

Bien que des contraintes d'exploitation liées à la conservation d'œuvres contraignent à des consignes de température stricte, l'économie réalisée par une modification d'un degré de la température d'ambiance est indiquée ci-après.

La modification d'un degré peut résulter d'une modification de la consigne ou de la plage neutre.

DESCRIPTION		GAIN ENERGETIQUE		GAIN ENVIRONNEMENTAL		GAIN FINANCIER
No.	Action	Gain kWhEF/an	Gain total %EF	Gain total kgéqCO2	Gain g déchets nucléaires	Gain €HT/an
1	Diminution de 1°C de la température consigne de chauffage	23 655	9%	1987	291	2 460 €
2	Augmentation de 1°C de la température consigne de climatisation	16 323	6%	1371	201	1 698 €

La préconisation d'installation de panneaux photovoltaïques, qui a du sens pour compenser des consommations électriques résiduels, est présentée dans le rapport de synthèse à l'échelle du site.