

Audit énergétique

Rapport audit



Audit énergétique Bâtiment HM2

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	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	10
3.3. Menuiseries extérieures	11
3.4. Equipements techniques	11
4. CONSOMMATION DE REFERENCE	13
4.1. Electricité	13
4.2. Gaz	14
5. MODELISATION ENERGETIQUE	15
5.1. Bilan des déperditions thermiques	15
5.2. Répartition des 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 au traitement d'air	17
5.3.3. Consommations liées à l'éclairage	18
5.4. Indicateurs de performance énergétique (IPes)	18
5.5. Comparaison des consommations théoriques aux consommations réelles	18
6. PROGRAMMATION ENERGETIQUE	19
6.1. Amélioration de la performance de l'enveloppe	19
6.2. Récupération de chaleur sur l'air extrait de la cabine de peinture	21
6.3. Production de chaleur par pompe de chaleur air/eau avec appoint gaz	22

6.4. Synthèse de préconisations	24
7. SCENARIOS	25

1. PREAMBULE

1.1. Contexte

Le présent rapport concerne l'audit énergétique du bâtiment HM2.

Le bâtiment est utilisé pour la restauration des avions. Il se compose de trois zones principales : un hangar, les bureaux et ateliers et une zone de logements.



Photo de la façade Est du bâtiment HM2

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

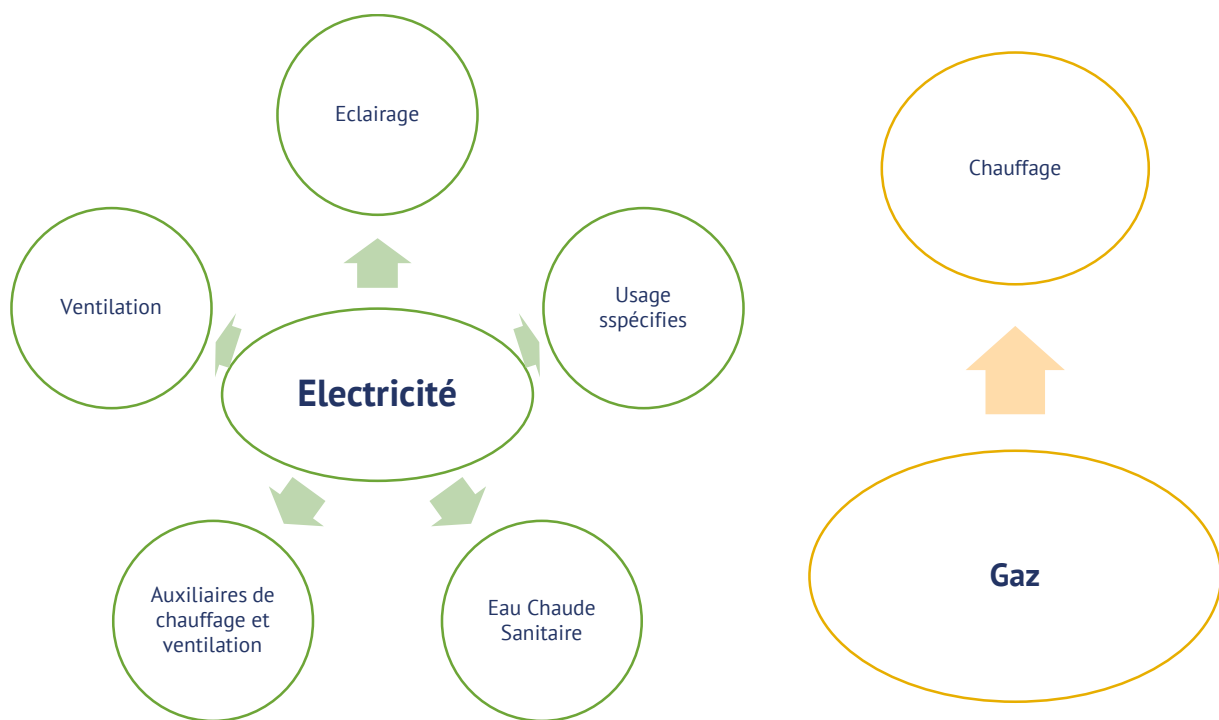
1.4. Identification du site

RENSEIGNEMENTS SUR LE SITE	
Adresse	Aéroport de Paris – Site Dugny 1 Av. de la 2ème Division Blindée, 93440 Dugny
Nom du bâtiment	HM2
Année de construction /réhabilitation	1990s
Surface utile (SU)	3401 m ²
Activité	Atelier de restaurations, Bureaux, Logements
Effectifs	30 personnes
Horaires d'occupation	Partie jour: Lundi au vendredi de 8h à 18h

	Partie nuit: de 20h à 7h
Energies utilisées	Electricité, Gaz

1.5. Energies et usages

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



Usages énergétiques du Hall HM2

1.6. Plans



Plan du bâtiment HM2

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 supérieure à 1 000 m²,
- Coûts des travaux énergétiques de réhabilitation sont supérieurs à 25% de la valeur conventionnelle de l'immeuble.

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

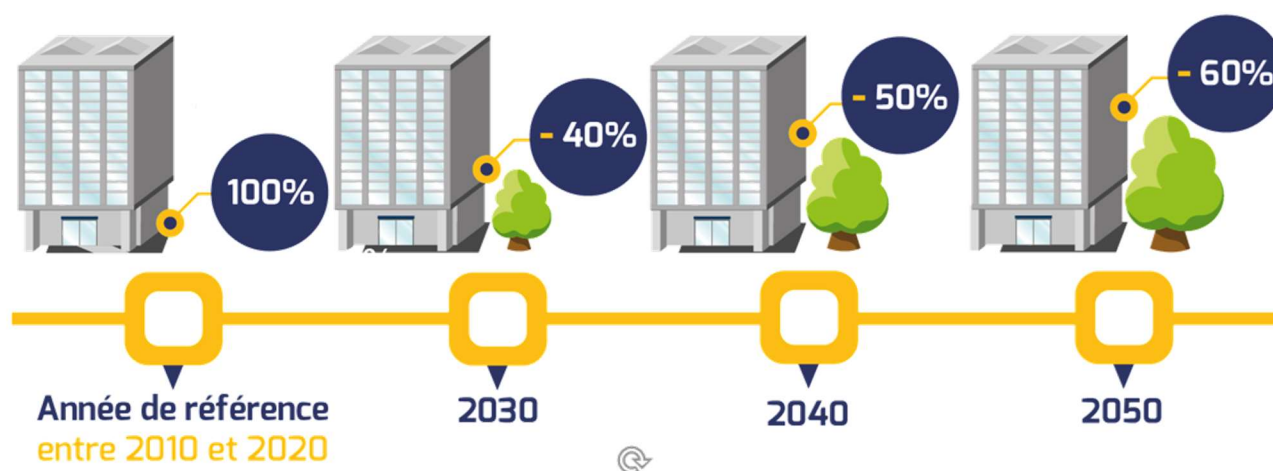
2.1.2. Niveau de labélisation

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

2.1.3. Objectifs décret tertiaire

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

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



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

Les textes d'application déjà connus sont :

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

Les textes d'application à venir sont :

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

Cabs = CVC + USE

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

2.2. Performance élément par élément

2.2.1. RT « élément par élément »

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

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

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

2.2.2. Niveau CEE

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

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

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

3. ETAT DES LIEUX

3.1. Indicateurs de conservation et de performance

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

3.2. Parois du bâtiment

CLOS ET COUVERT				
Elément	Désignation	Descriptif	Performance	
Façades	Bardage métallique	Couverture extérieure en bardage métallique double-peau (supposé isolation de 6cm en panolène)	Performance moyenne	
			R :	1,7
			Ecart :	-47%
			Evaluation :	
	Mur intérieur	Murs intérieurs entre le hangar et les ateliers/bureaux Paroi en aggloméré 20 non-isolée	Etat correct	
			R :	0,25
			Ecart :	-
			Evaluation :	
Toiture	Toiture	Toiture rampant en bardage métallique double peau (supposé isolant 10cm laine de roche)	Performance moyenne	
			R :	2,2
			Ecart :	-51%
			Evaluation :	
Plancher bas	Plancher bas sur terre-plein b=0,6	Dalle béton épaisseur inconnue (supposée 15cm) Supposée isolée sous chape de 5cm d'isolant	Etat correct	
			R :	1,5
			Ecart :	-
			Evaluation :	

3.3. Menuiseries extérieures

CLOS ET COUVERT			
Elément	Désignation	Descriptif	Performance
Menuiseries	Grande porte de hangar	Porte métallique non-isolé	Mauvaise performance
			Uw : 4,5
			Ecart : -125%
			Evaluation :
	Fenêtres	Fenêtres alu en double-vitrage 4/6/4	Etat correct
			Uw : 2,5
			Ecart : -32%
			Evaluation :
	Polycarbonate	Eléments éclairantes en polycarbonate ancien sur toiture et murs extérieurs du bâtiment Mauvais état de conservation	Mauvaise performance
			Uw : 3,5
			Ecart : -84%
			Evaluation :
	Skydômes	Skydômes en simple-vitrage	Mauvaise performance
			Uw : 4,5
			Ecart : -137%
			Evaluation :

3.4. Equipements techniques

EQUIPEMENTS TECHNIQUES BAT HM2			
Désignation	Descriptif	Régulation	Performance
Production de chaleur	3 chaudières murales gaz à condensation de marque ATLANTIC, modèle VARFREE 120, installées en 2021 P nominale 80/60°C : 119,5 kW, rendement : 97,5% P à 30% de charge 40,1 kW, rendement 97,7%	Régulation embarquée	Bonne état
			Evaluation :
Emetteurs de chaleur	Le hangar : les panneaux rayonnants d'eau chaude avec destratificateurs d'air Température de consigne supposée de 15°C	Période de chauffage : M au V de 8h à 18h	Bonne état
			Evaluation :
	Bureaux : radiateurs d'eau chaude Température de consigne supposée de 19°C Température de réduit : 17°C	Période de chauffage : M au V de 8h à 18h	Bonne état
			Evaluation :
	Ateliers et magasin : Aérothermes d'eau chaude Température de consigne supposée de 19°C Température de réduit : 17°C	Période de chauffage : M au V de 8h à 18h	Etat correct
			Evaluation :
	Logements : radiateurs électrique Température de consigne supposée de 19°C	Fonctionnement principale en période nocturne, supposée de 20h à 7h	Etat correct
			Evaluation :

Ventilation	Extracteurs de l'air vicié dans les ateliers Débit total estimé : 10 500 m ³ /h	Environ 8h/semaine	Etat correct Evaluation : 
	Ventilation spécifique pour la cabine peinture : soufflante à pression élevée de l'air préchauffé à 60°C par brûleur gaz Débit estimé : 25 000 m ³ /h	Environ 8h/semaine Supposé faible utilisation pendant période estivale (mai à septembre)	Système énergivore Pas de récupérateur de chaleur Evaluation : 
Eclairage	Bureaux et ateliers : réglette étanche LED 2x58W Bureaux d'étage : pavé LED 4*18W Puissance totale estimée : 9000W	Régulation manuelle	Etat correct en général Evaluation : 

4. CONSOMMATION DE REFERENCE

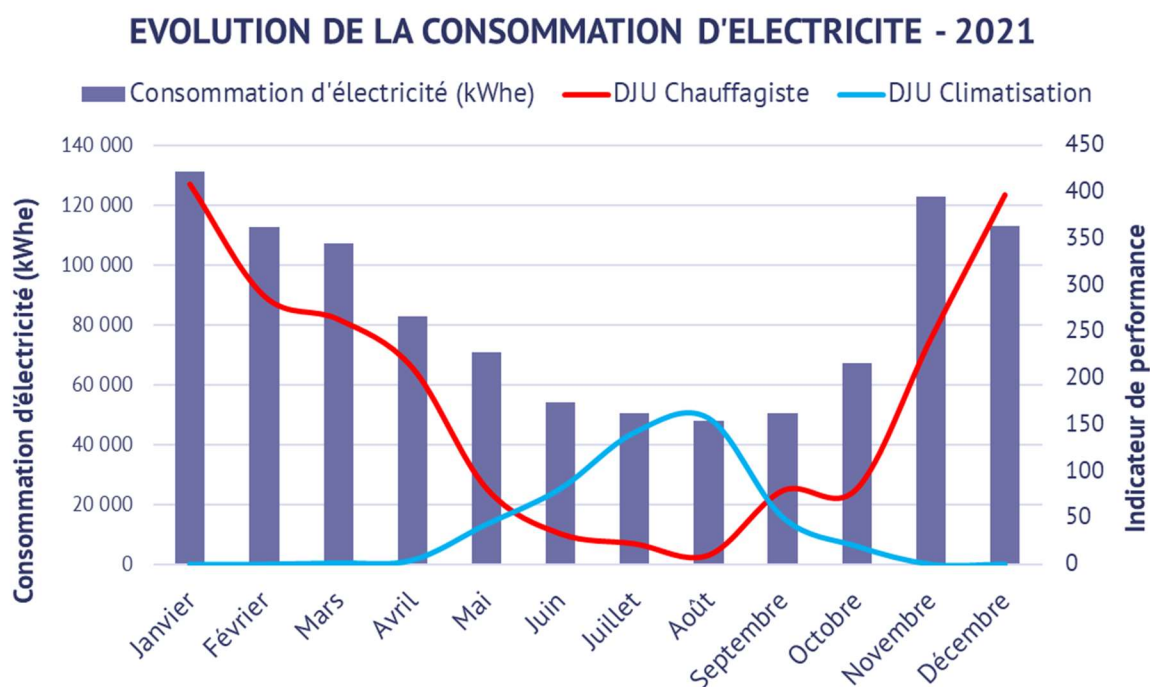
4.1. Electricité

L'ensemble de la consommation d'électricité du site Dugny est relevé par l'acheminement 30002250051617.

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

Il n'y a pas de sous-comptage pour le bâtiment HM2.

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



Consommation d'électricité du site Dugny – Année 2021

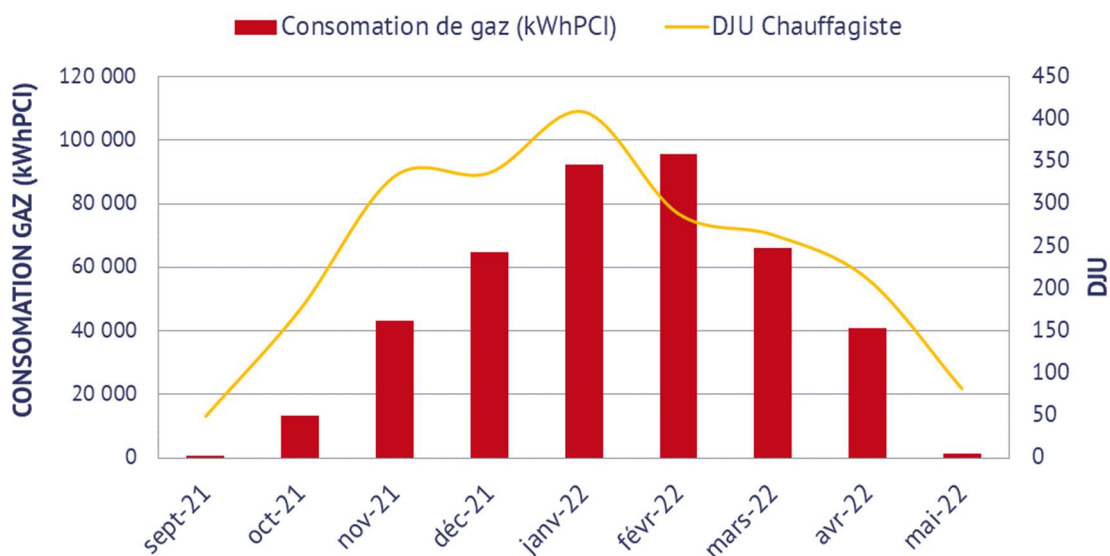
Au global, 1 011 976 kWh a été consommé sur l'année 2021 avec un prix moyen de 0.104 €HT/kWh. Les consommations sont fortement liées à la rigueur climatique. La plupart de la consommation d'électricité du site concerne la consommation de chauffage et de refroidissement du hall Béchat (voir rapport synthèse).

4.2. Gaz

La consommation de gaz du site correspond aux besoins de chauffage des halls HM2 et Bermuda. Le numéro de compteur est 0415230100566. Le tarif d'acheminement T3 est appliqué pour cet abonnement. Il n'y a pas de sous-comptage pour le bâtiment HM2.

La consommation gaz du site Dugny est présenté dans le graphique ci-dessous. A savoir, la période de référence pour la comparaison de la consommation est la saison de chauffe 2021/2022 ;

EVOLUTION MENSUELLE DE LA CONMMATION DE GAZ PENDANT LA SAISON DE CHAUFFE 2021/2022



Consommation gaz naturel du site Dugny

Pendant la saison de chauffe 10/2021-04/2022, 419 142 kWhPCI a été consommé avec un prix moyen de 0,080 €HT/kWhPCI. Les consommations sont liées au chauffage et donc sont fortement liées à la rigueur climatique hivernale.

5. MODELISATION ENERGETIQUE

5.1. Bilan des déperditions thermiques

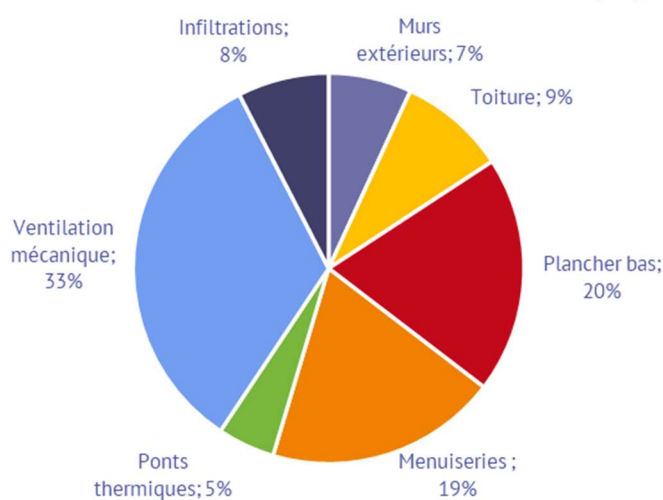
Volume chauffé	22 316 m ³
Ubât	1,01 W/m ² .K
T ext base hiver	-5°C
T int de confort	19°C
T int hangar	15°C

DEPERDITIONS THERMIQUE HM2			
Localisation	Surface totale (m ²)	Déperdition (W/K)	Part (%)
Murs extérieurs	1347	741	7%
Toiture	2235	961	9%
Plancher bas	2352	2117	20%
Menuiseries	540	2072	19%
Ponts thermiques	-	512	5%
Ventilation mécanique	-	3570	33%
Infiltrations	-	815	8%
TOTAL DEPERDITIONS	6474	10789	100%
DEPERDITIONS HANGAR		3837	36%
DEPERDITIONS LOGEMENTS		133	1%
DEPERDITIONS ATELIERS ET BUREAUX		6819	63%

DEPERDITIONS VENTILATION			
Localisation	Débit air neuf (m ³ /h)	Déperditions (W/K)	Part (%)
Ventilation mécanique	10 500	3 570	81%
Infiltrations	2 398	815	19%
TOTAL VENTILATION	12898	4385	100%
Soufflante spécifique (60°C)	25 000	8 500	-

BILAN DES DEPERDITIONS		
Déperditions bâti G1	0,29	W/m ³ .K
Déperditions ventilation G2	0,68	W/m ³ .K
TOTAL DEPERDITIONS G	0,96	W/m³.K
PUISSANCE UTILE CHAUFFAGE	244	kW

REPARTITION DES DEPERDITIONS (W)



5.2. Répartition des consommations annuelles par usages

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

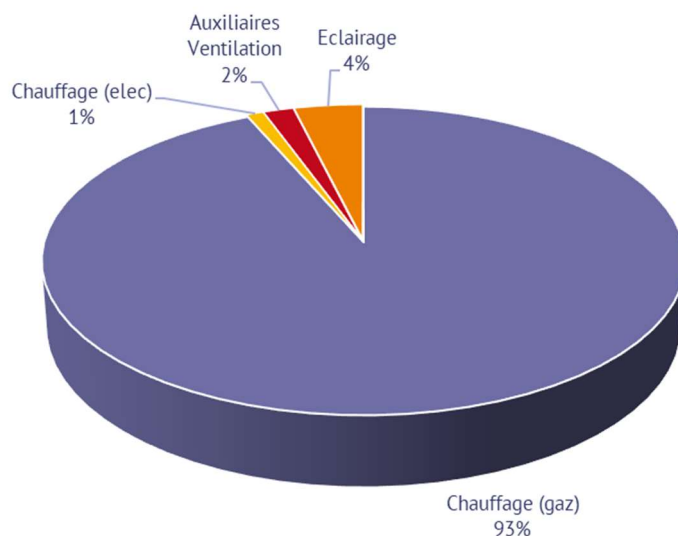
- Station météo : Paris-Le Bourget (zone H1a)
- Température extérieure de base : -5°C
- DJU chauffagiste (COSTIC trentenaires) : 2394°C
- Consigne de chauffage : ateliers, bureaux et logements 19°C ; hangar 15°C
- Surface utile : 3401 m²
- Plages occupation, éclairage : et chauffage : Lundi au vendredi de 8h à 18h
- Période de chauffage : Lundi au vendredi de 8h à 18h, 30 semaines/an
- Surface : hangar 32%, ateliers et bureaux salle d'exposition 65%, logements 3%

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 (gaz)	Gaz naturel	396 255	396 255	117	93%
Chauffage (elec)	Electricité	4 170	10 759	3	1%
Auxiliaires chauffage/ventilation	Electricité	7 280	18 782	6	2%
Eclairage	Electricité	16 425	42 377	12	4%
Total		424 130	468 173	138	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 - HM2					
Zone	Energie	Horaires de fonctionnement	Réduit	Consigne de température	Consommations (kWhEF/an)
Hangar	Gaz naturel	L au V de 8h à 18h	-	Hiver : 15°C	54 817
Ateliers et bureaux	Gaz naturel	L au V de 8h à 18h	Sans occupation: 17°C	Hiver : 19°C	223 836
Logements	Electricité	Les soirs 20h-7h	-	Hiver : 19°C	4 170
Brûleur gaz - Soufflante cabine peinture	Gaz naturel	8h/semaine	-	Soufflante : 60°C	117 602
TOTAL					400 425

5.3.2. Consommations liées au traitement d'air

CONSOmmATIONS TRAITEMENT D'AIR - HM2				
Nom	Débit	Durée de fonctionnement	Ratio de consommation ventilateur	Ventilateurs (kWhEF/an)
Extracteurs ateliers	10500 m3/h	8h/semaine	0,40 W/(m3/h)	1 680
Soufflante cabine peinture	25000 m3/h	8h/semaine	0,80 W/(m3/h)	5 600
TOTAL				7 280

5.3.3. Consommations liées à l'éclairage

CONSOMMATIONS D'ECLAIRAGE - HM2						
Nom	SU (m²)	Puissance d'éclairage totale (W)	Horaires de fonctionnement	Mode d'allumage	Simultanéité	Consommations (kWhEF/an)
HM2	3401	9000	L au V de 8h à 18h	Commande manuelle	0,7	16 425
TOTAL	-	-	-	-	-	16 425

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	455 318	m² SU	3401	133,9 kWhEF/m² SU
Auxiliaires CTA	Horaires d'activité	8h/semaine	9 680	m² SU	3401	2,8 kWhEF/m² SU
Eclairage	Horaires d'activité	50h/semaine	16 425	m² SU	3401	4,8 kWhEF/m² SU
Total	Horaires d'activité DJU	50h/semaine 8h/semaine 2394°C	481 423	m² SU	3401	141,6 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. Pour chaque type d'énergie, les consommations théoriques et les données climatiques ont été calculées selon la disponibilité des factures d'énergies.

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				
Bâtiment	Gaz naturel							
	Sous-station	Période	DJU de la période	Consommations théoriques (kWhEF)	Total (kWhEF)	Consommations réelles (kWhEF)	Ecart en kWhEF	% d'Ecart
HM2	Gaz Dugny	10/2021 - 4/2022	2 016	342 750	404 427	419 142	-14 715	-4%
Bermuda				61 677				

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

6. PROGRAMMATION ENERGETIQUE

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 gaz naturel : 0.080 €HT/kWhPCI
- 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 :

- Remplacement des polycarbonates anciennes par les plaque de polycarbonate triple-paroi (performance de référence : $U_w=1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)
- Remplacement des menuiseries aluminium existantes par les menuiseries PVC double-vitrage performantes ($U_w=1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)
- Isolation par l'intérieur des murs de hangar
- Installation le faux-plafond isolant dans hangar

DEPERDITIONS THERMIQUE HM2 - Après rénovation				
Localisation	Surface totale (m2)	Déperdition (W/K)	Part (%)	Réduction /Etat actuel (%)
Murs extérieurs	1347	629	6%	15%
Toiture	2235	708	7%	26%
Plancher bas	2352	2117	22%	-
Menuiseries	540	1548	16%	25%
Ponts thermiques	-	435	4%	15%
Ventilation mécanique	-	3570	36%	0%
Infiltrations	-	815	8%	-
TOTAL DEPERDITIONS	6474	9822	100%	9%

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	Remplacement des polycarbonates toiture existants	Remplacement des polycarbonates toiture par les plaque de polycabonate triple-paroi Uw=1,5 W/m2.K	6 545	2%	1532	0	10 200 €	524 €	20	16
2	Remplacement des polycarbonates façades existants	Remplacement des polycarbonates façades par les plaque de polycabonate triple-paroi Uw=1,5 W/m2.K	16 850	4%	3943	0	15 000 €	1 348 €	12	10
3	Remplacement des menuiseries en alu	Remplacement des menuiseries en alu par les menuiseries PVC double-vitrage performantes Uw=1,4 W/m2.K	1 453	0%	269	6	6 750 €	155 €	>25	>25
4	Doublage intérieur des parois verticales de hangar	Doublage intérieur des parois verticales de hangar par 6cm de laine de verre	1 547	0%	362	0	20 000 €	124 €	>25	>25
5	Installation du faux-plafond avec isolation dans hangar	Installation du faux-plafond avec isolation dans hangar par 10cm de laine de roche	3 612	1%	845	0	65 940 €	289 €	>25	>25

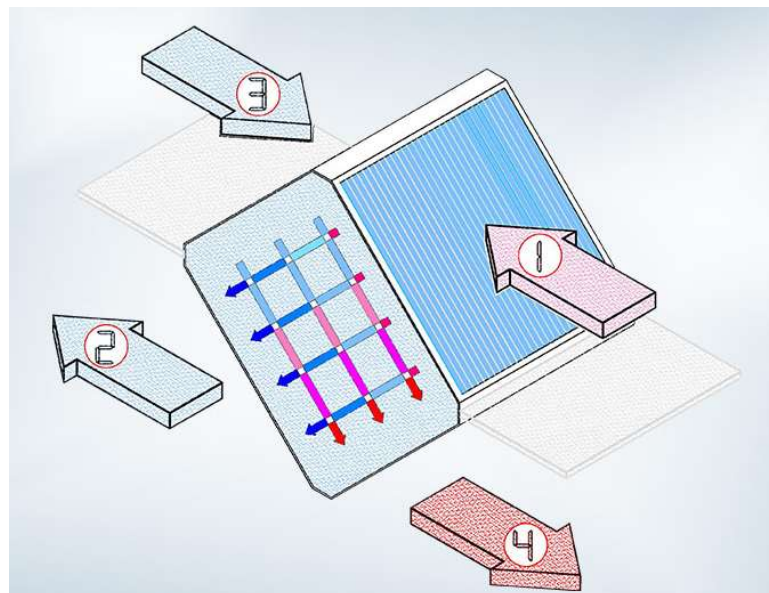
6.2. Récupération de chaleur sur l'air extrait de la cabine de peinture

Le brûleur gaz de la cabine de peinture consomme environ 30% de la consommation du gaz totale du bâtiment. Afin de limiter les coûts d'énergie, nous proposons d'installer un échangeur de chaleur à courants croisés afin de préchauffer l'air frais par l'air chaud évacué.

Cette solution permet de récupérer de 50-60% de chaleur de l'air évacué.

Nos hypothèses pour le calcul d'économie d'énergie sont les suivantes :

- Débit de soufflage : 25 000m³/h
- Température d'air soufflé : 60°C
- Temps de fonctionnement : environ 8h pendant l'hiver
- Taux de récupération de chaleur : 50%



6.3. Production de chaleur par pompe de chaleur air/eau avec appoint gaz

La proposition est de rester sur un chauffage par le réseau hydraulique actuel mais avec une production de chaleur par pompe à chaleur type air/eau avec appoint gaz en réemployant les chaudières gaz existant.

Les pre-dimensionnements des pompes à chaleur sont présentées comme suivantes :

BILAN DE CHAUFFAGE			
	Unité	Sans rénovation de l'enveloppe	Avec rénovation de l'enveloppe
Déperditions thermique (hangar)	W/K	3 837	3 363
T consigne (hangar)	°C	15	15
Déperditions thermique (bureaux et ateliers)	W/K	6 819	6 003
T consigne (bureaux et atelier)	°C	19	18
Besoin de chauffage brut	kW	240,4	205,3
BESOIN DE CHAUFFAGE (SURPUISSANCE 5%)	kW	252,4	215,6
Appoint chaudière gaz	kW	119,5	119,5
COP pompe à chaleur		3,0	3,0
Puissance chauffage fournie par PAC	kW	136,8	106,6
Puissance consommée estimée	kW	45,6	35,5
PUISSANCE CHAUFFAGE TOTALE INSTALLEE	kW	256,3	226,1
Produit de référence		CARRIER 30RQ 140R	CARRIER 30RQ 100R

Produit de référence : CARRIER 30RQ 140R ou équivalent



30RQ				040R	045R	050R	060R	070R	080R	090R	100R	120R	140R	160R
Chauffage														
Unité Standard Performances pleine charge*	HA1	Capacité nominale	kW	44,1	47,9	54,3	61,6	68,2	61,8	93,3	106,6	119,1	136,8	123,0
		COP	kW/kW	3,91	3,97	3,89	3,80	3,80	3,03	3,80	3,75	3,74	3,80	3,03
	HA2	Capacité nominale	kW	42,7	47,0	53,5	59,5	67,2	75,7	91,7	104,5	117,6	134,9	150,2
		COP	kW/kW	3,07	3,16	3,12	3,01	3,08	3,01	3,10	3,09	3,09	3,08	3,00
Efficacité énergétique saisonnière**		SCOP _{30/35°C}	kWh/kWh	3,82	3,85	3,81	3,57	3,67	3,64	3,60	3,55	3,79	3,76	3,78
		η _{s heat} _{30/35°C}	%	150	151	149	140	144	143	141	139	149	147	148
	HA1	P _{rated}	kW	31,6	33,5	36,4	42,7	49,8	55,0	59,9	68,4	87,0	99,6	109,3
Refroidissement														
Unité Standard Performances pleine charge*	CA1	Capacité nominale	kW	41,0	43,1	50,3	60,2	65,2	74,3	87,0	99,9	114,2	131,6	147,2
		EER	kW/kW	2,89	2,69	2,66	2,97	2,90	2,66	2,88	2,84	2,93	2,85	2,66
		SEER _{12/7°C} Comfort low temp.	kWh/kWh	4,19	4,23	4,18	4,34	4,25	4,03	4,48	4,86	4,88	4,20	4,09
		SEPR _{12/7°C} Process high temp.	kWh/kWh	6,01	5,85	5,62	6,06	5,81	5,34	5,74	5,71	5,76	5,41	5,15
Niveaux sonores														
Unité + option 16														
Puissance acoustique ⁽¹⁾			dB(A)	82	83	84	89	89,5	89,5	92	92	92	92,5	92
Pression acoustique à 10 m ⁽²⁾			dB(A)	50	52	53	58	58	58	60	61	60	61	60
Unité standard														
Puissance acoustique ⁽¹⁾			dB(A)	82	83	84	89	89,5	89,5	92	92	92	92,5	92
Pression acoustique à 10 m ⁽²⁾			dB(A)	50	52	53	58	58	58	60	61	60	61	60
Unité + option 15LS ⁽³⁾														
Puissance acoustique ⁽¹⁾			dB(A)	78,5	79	80,5	80,5	80,5	80,5	83,5	83,5	83,5	83,5	83,5
Pression acoustique à 10 m ⁽²⁾			dB(A)	47	48	49	49	49	49	52	52	52	52	52

- * Selon EN14511-3:2018.
- ** Selon EN14825:2018, conditions climatiques moyennes.
- HA1 Conditions en mode chauffage: Température entrée/sortie d'eau échangeur à eau 30°C/35°C, température d'air extérieur tdb/twb= 7 °C db/6 °C wb, facteur d'encrassement de l'évaporateur 0 m². k/W
- HA2 Conditions en mode chauffage: Température entrée/sortie d'eau échangeur à eau 40°C/45°C, température d'air extérieur tdb/twb= 7 °C db/6 °C wb, facteur d'encrassement de l'évaporateur 0 m². k/W
- CA1 Conditions en mode refroidissement: Température entrée/sortie d'eau à l'évaporateur 12°C/7°C, température d'air extérieur à 35°C, facteur d'encrassement de l'évaporateur 0 m². k/W
- η_{s heat} 30/35°C & SCOP_{30/35°C} Valeurs en gras conformément à la réglementation Ecodesign (UE) No 813/2013 pour application Chauffage
- SEER_{12/7°C} & SEPR_{12/7°C} Réglementation Ecodesign applicable (UE) No 2016/2281
- (1) En dB ref=10⁻¹² W, pondération (A). Valeur d'émission sonore déclarée dissociée conformément à l'ISO 4871 avec une incertitude de +/-3dB(A). Mesurée selon ISO 9614-1 et certifiée par Eurovent.
- (2) En dB ref 20μPa, pondération (A). Valeur d'émission sonore déclarée dissociée conformément à l'ISO 4871 avec une incertitude de +/-3dB(A). Pour information, calculée à partir de la puissance acoustique Lw(A).
- (3) Options: 15LS = Très bas niveau sonore, 116W = Module Hydraulique pompe double haute pression vitesse variable, 307 = Module ballon tampon

6.4. Synthèse de préconisations

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 de l'enveloppe	Améliorer l'ensemble de la performance du clos et couvert du hall	30 002	7%	6950	6	130 000 €	2 439 €	>25	>25
2	Récupération de chaleur sur air extrait cabine	Récupération de chaleur sur l'air extrait de cabine peinture Taux de récupération supposé : 50%	58 801	14%	13759	0	35 000 €	4 704 €	8	7
3	Production de chaleur par pompe de chaleur air/eau avec appoint gaz	Installation d'une production de chaleur par pompe à chaleur type air/eau avec appoint gaz en réemployant les chaudières gaz existant Hypothèse COP : 3	148 615	35%	45922	-914	110 000 €	5 722 €	20	15
4	Diminution de la température de chauffage par 1°C	Diminution de la température de chauffage par 1°C (dans ateliers, bureaux et logements)	79 494	19%	18551	4	0 €	6 387 €	0	0

7. SCENARIOS

	Coûts	Consommations après travaux			Gain énergétique		Gain financier		
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
Programme 1 Enveloppe + Récupération de chaleur + Diminution Tconsigne	165 000	316 886	360 185	115,4	107 244	25%	8 619	19,1	15,3
Programme 2 Enveloppe + Récupération de chaleur + Diminution Tconsigne + Production par PAC	275 000	193 856	334 349	107,1	230 274	54%	13 355	20,6	16,2

Le phasage proposé se base sur l'indice de priorité des préconisations présentées au paragraphe précédent.