

Audit énergétique

Rapport audit



Audit énergétique Hall E

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	10
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	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 traitement d'air	16
5.3.3. Consommations liées à l'éclairage	16
5.4. Indicateurs de performance énergétique (IPes)	16
5.5. Comparaison des consommations théoriques aux consommations réelles	17
6. PRECONISATIONS	18
6.1. Amélioration de la performance de l'enveloppe	18
6.2. Amélioration de la performance des équipements de chauffage - ventilation	20
6.2.1. Solution 1 : Remplacement de la CTA et mise en place d'émetteurs chauffage en complément	20
6.2.2. Solution 2 : Passage sur un système de chauffage tout air par pompe à chaleur	24

6.3. Synthèse énergétique	27
7. SCENARIOS	28

1. PREAMBULE

1.1. Contexte

La présente étude concerne le hall H qui a d'une surface plancher de 2902 m².
Le bâtiment comporte un grand hall d'exposition.



Vue de l'extérieur du Hall E

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

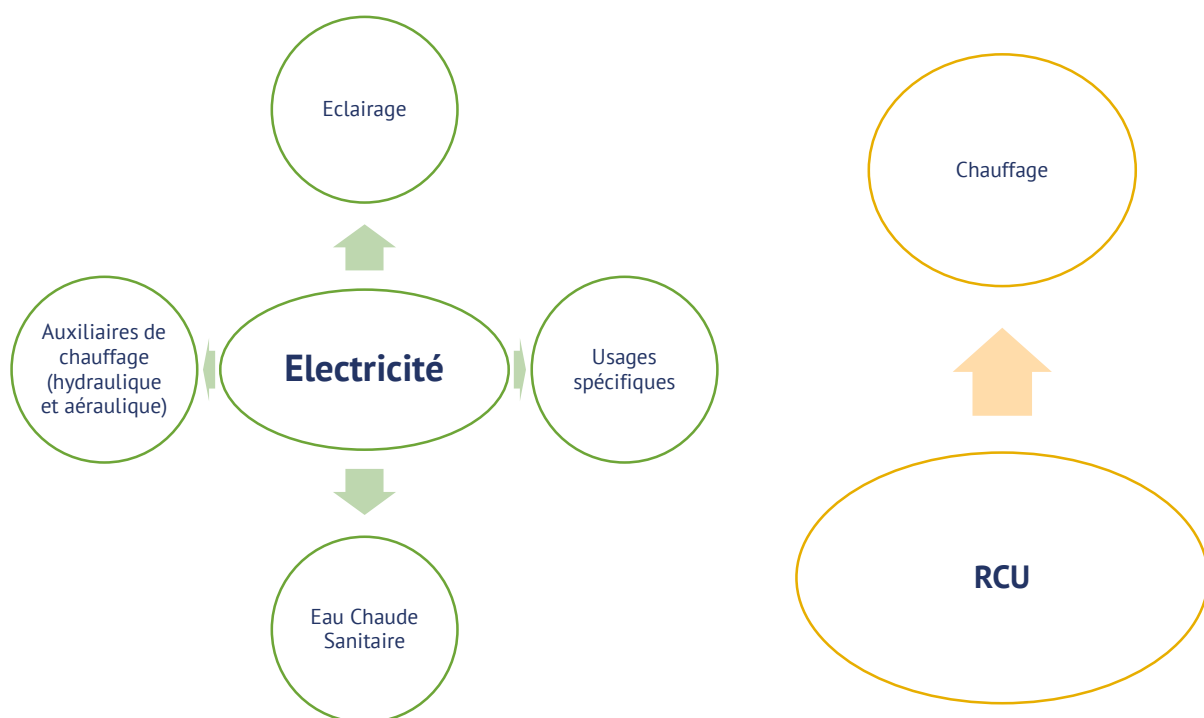
DATE	OBJET	COMMENTAIRE
10/05/2023	Visite technique	Visite générale de site - hors Dugny
05/07/2023	Visite technique complémentaire	Visite spécifique sur bâtiment 26, HM2 et chaufferie gaz centrale
17/08/2023	Visite technique complémentaire	Visite spécifique sur bâtiments Béchat, Bermuda et locaux techniques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

1.4. Identification du site

RENSEIGNEMENTS SUR LE SITE	
Adresse	Aéroport de Paris – Le Bourget, 93352 Le Bourget
Nom du bâtiment	Hall E
Année de construction /Rehabilitation	Années 1990
Surface utile (SU)	2902 m ²
Activité	ERP - Salle d'exposition
Effectifs	200 personnes
Horaires d'occupation	Mardi au Dimanche, 10h à 18h
Energies utilisées	Electricité, Réseau de chaleur

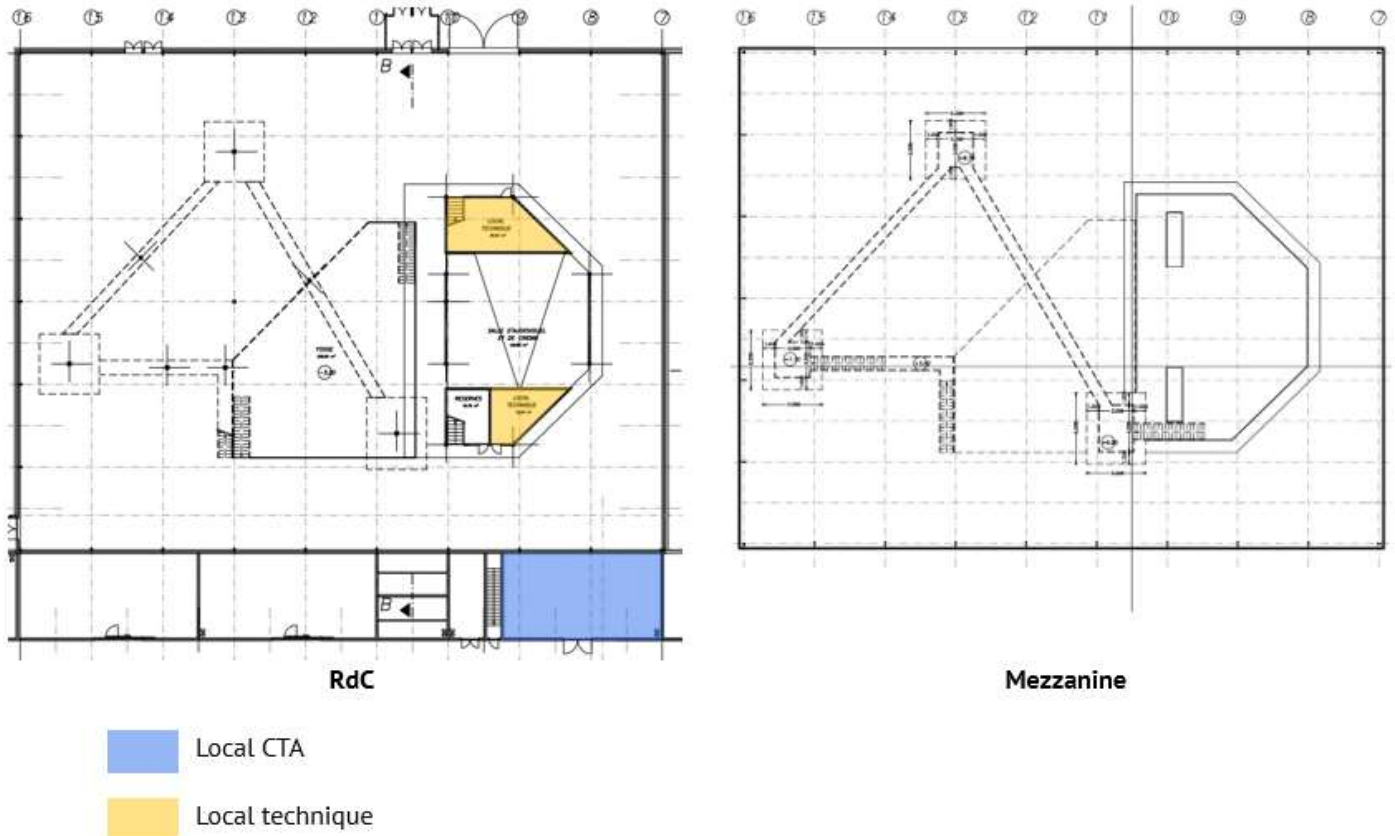
1.5. Energies et usages

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

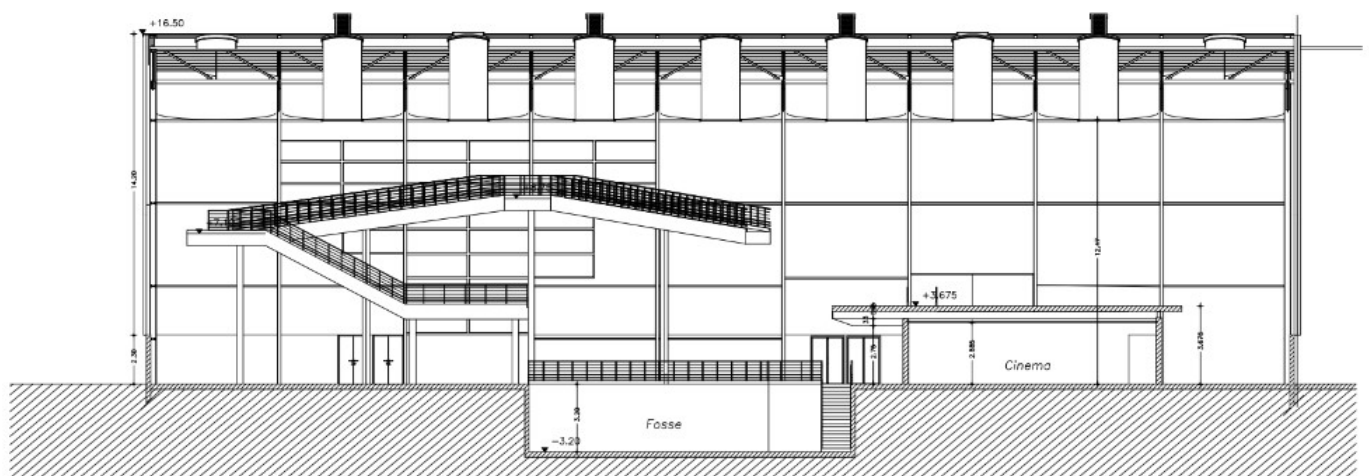


Usages énergétiques du Hall E

1.6. Plans



Plan du Hall E



Coupe longitudinale du Hall E

2. REFERENTIEL

2.1. Performance globale

2.1.1. RT « globale »

La réglementation thermique pour les bâtiments existants dite « globale » (RT Ex Globale) (décret du 29 décembre 2011 modifiant l'arrêté du 13 juin 2008) s'applique aux bâtiments existants qui respectent les critères suivants :

- Achèvement de la construction après 1948,
- Surface de plancher est supérieur à 1 000 m²,
- Coûts des travaux énergétiques de réhabilitation sont supérieurs à 25% de la valeur conventionnelle de l'immeuble.

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

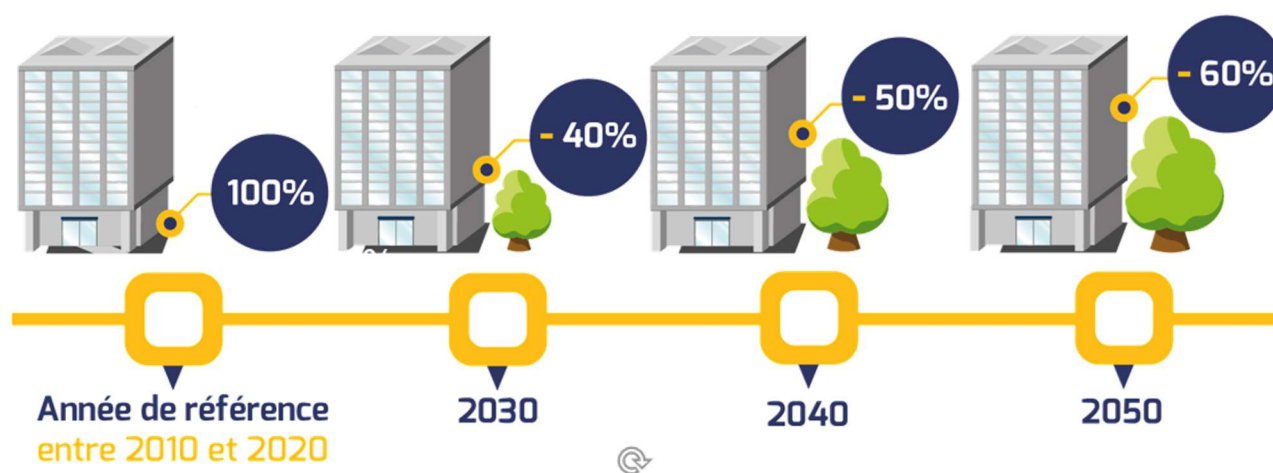
2.1.2. Niveau de labélisation

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

2.1.3. Objectifs décret tertiaire

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

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



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

Les textes d'application déjà connus sont :

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

Les textes d'application à venir sont :

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

Cabs = CVC + USE

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

2.2. Performance élément par élément

2.2.1. RT « élément par élément »

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

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

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

2.2.2. Niveau CEE

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

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

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

3. ETAT DES LIEUX

3.1. Indicateurs de conservation et de performance

Les indicateurs suivants sont utilisés pour évaluer le niveau de vétusté et de performance du bâtiment :

Indicateurs	Performance énergétique
	Bonne performance : supérieure à la réglementation thermique
	Performance moyenne : < 50% d'écart avec la réglementation thermique
	Performance mauvaise : > 50% d'écart avec la réglementation thermique
!	À remplacer dans les plus brefs délais

3.2. Parois du bâtiment

CLOS ET COUVERT			
Elément	Désignation	Descriptif	Performance
Façades	Bardage métallique	Structure ossature métallique Couverture en bardage métallique non-isolée	Absence d'isolation
			R : 0,16
			Ecart : -95%
			Evaluation : -
	Parois maçonnées	Parois maçonnées (supposée faiblement isolé de 4cm)	Faible isolation
			R : 1
			Ecart : -69%
Toiture	Toiture	Toiture terrasse non-accessible en bardage métallique double peau (supposé isolant 4cm rockwool)	Faible isolation
			R : 1,29
			Ecart : -71%
			Evaluation : -
Plancher bas	Plancher bas sur terre-plein b=0,25	Dalle béton épaisseur inconnue (supposée 15cm) Supposée non-isolée	Correte
			R : 0,29
			Ecart : -
			Evaluation : -

3.3. Menuiseries extérieures

CLOS ET COUVERT			
Elément	Désignation	Descriptif	Performance
Menuiseries	Menuiseries extérieures	Menuiseries aluminium double-vitrage 4/6/4 à rupteurs de ponts thermique	Correcte
			Uw : 2
			Ecart : -5%
			Evaluation : -
	Polycarbonate toiture	Voût éclairante non-ouvrable en polycarbonate ancien	Mauvaise performance
			Uw : 3,4
			Ecart : -79%
	Portes extérieures	Portes métalliques simples	Mauvaise performance
			Uw : 4,5
			Ecart : -125%
			Evaluation : -

3.4. Equipements techniques

EQUIPEMENTS TECHNIQUES

Désignation	Descriptif	Régulation	Performance
Chauffage	Chauffage par air sur Réseau de Chauffage Urbain (CTA) Sous-station : S6/7 Echangeur calorifugé	Période de chauffage : M au D, de 10h à 18h	Performance moyenne
			Evaluation : 
Centrale de traitement d'air	Equipement en tout recyclage avec possibilité d'apport d'air neuf (volet fermé) mettant en surpression le bâtiment Equipement dimensionné sur le débit important d'air fixe permettant d'assurer seul les besoins de chauffage par conditions extérieures défavorables. Hypothèse : 84 000 m ³ /h	Fonctionnement intermittent contrôlé manuellement par l'exploitant compte tenu du surdimensionnement du débit la très grande majorité du temps.	Pas conforme au règlement sanitaire départemental
			Evaluation : 
Eclairage	Luminaire technique LED Puissance estimée : 8250W	Temps de fonctionnement : M au D, de 10h à 18h	Bon état
			Evaluation : 

Nota sur fonctionnement du système de chauffage – ventilation :

La centrale de traitement assure un fort brassage d'air du bâtiment (2,4 vol/h) correspondant aux besoins calculés par température extérieure de base pour maintenir une ambiance à 19°C au niveau des espaces d'accueil du public par un système tout air (3m de hauteur sous plafond).

Les besoins de renouvellement d'air hygiénique sont estimés à 0,15 vol/h en considérant l'effectif maximal. Ils sont assurés aujourd'hui par infiltrations d'air, le registre d'air neuf étant fermé. L'apport mécanique d'air neuf, préconisé avec l'amélioration de l'étanchéité de l'enveloppe ou des exigences ambitieuses de qualité d'air, nécessiterait la mise en place d'un rejet avec récupération de chaleur.

Les mesures de débit et de puissance électrique ont permis de confirmer les hypothèses prises et une performance très médiocre avec une consommation importante des ventilateurs liée au fonctionnement sur le débit maximum fixe, et un faible rendement au niveau du moto-ventilateur. (0,40 Wh/m³).

Compte tenu du débit fixe sur besoin maximal, l'exploitant est contraint pour limiter les surconsommations, de faire fonctionner l'équipement ponctuellement sur besoin.

4. CONSOMMATION DE REFERENCE

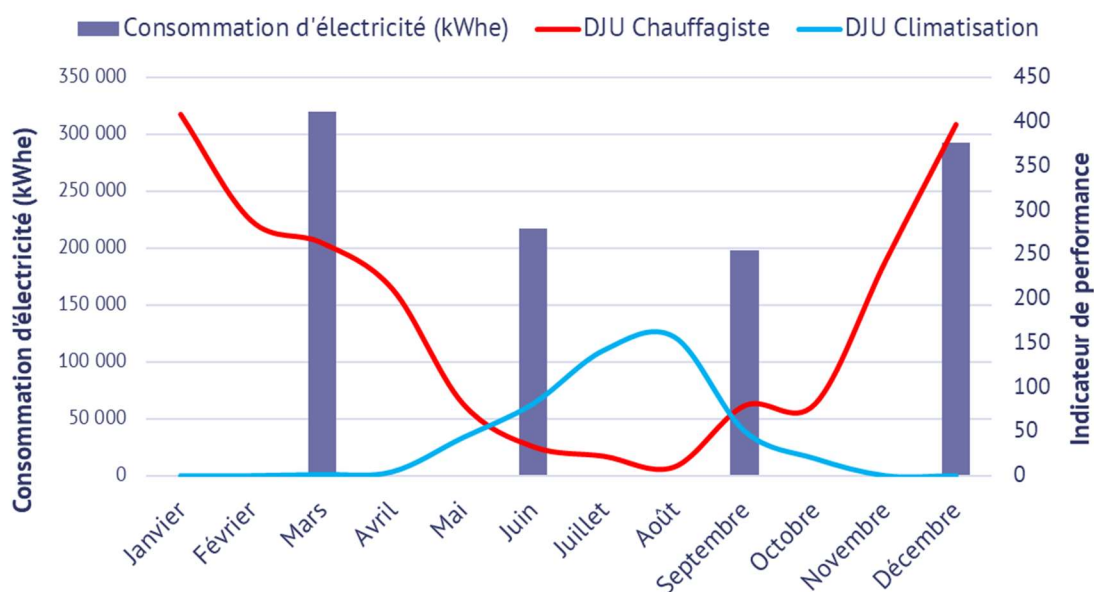
4.1. Electricité

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 au hall E.

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

EVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ELECTRICITE - 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 E, celui-ci compte principalement dans les consommations des auxiliaires de chauffage.

4.2. Réseau de chaleur

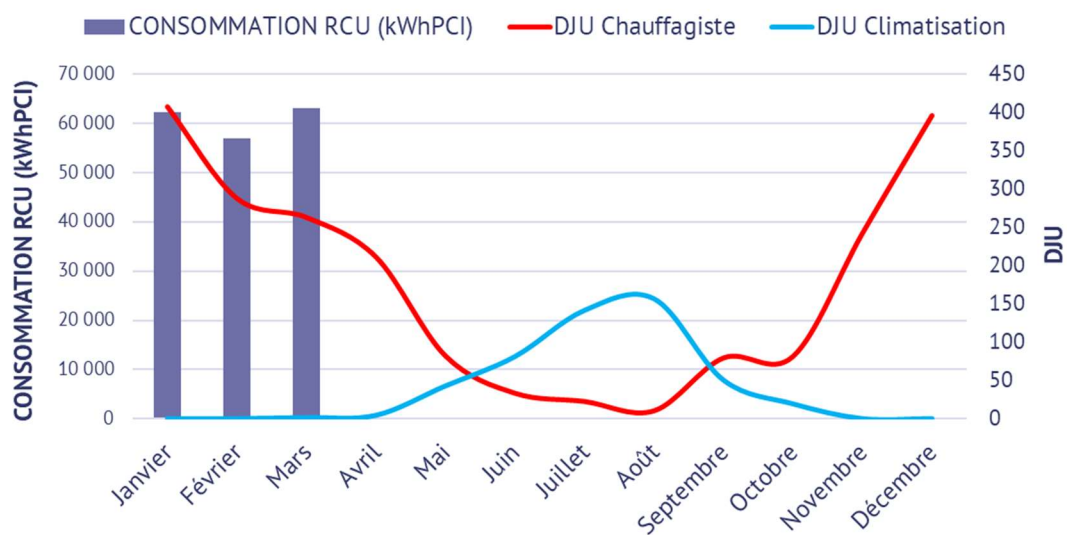
La sous-station S6/7 alimente la réseau chauffage des Halls F, E et Ebis. Il y a un comptage spécifique pour la sous-station mais pas par bâtiment.

La puissance souscrite pour la sous-station S6/7 est de 733kW en régime haute température correspondant à la puissance utile totale 550kW.

Les travaux de réhabilitation énergétique permettraient, outre le fait de diminuer les consommations, de minimiser la puissance appelée, voir le régime de température et donc de diminuer le coût de l'abonnement.

Les halls des expositions ont été réouvert au public à partir de janvier 2022. La consommation RCU du premier semestre de 2022 est présenté dans le graphique ci-dessous :

EVOLUTION DE LA CONSOMMATION RCU MENSUELLE Sous-station S6/7 - 2022



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	35 443 m ³
Ubât	1,37 W/m ² .K
T base hiver	-5
T int	18

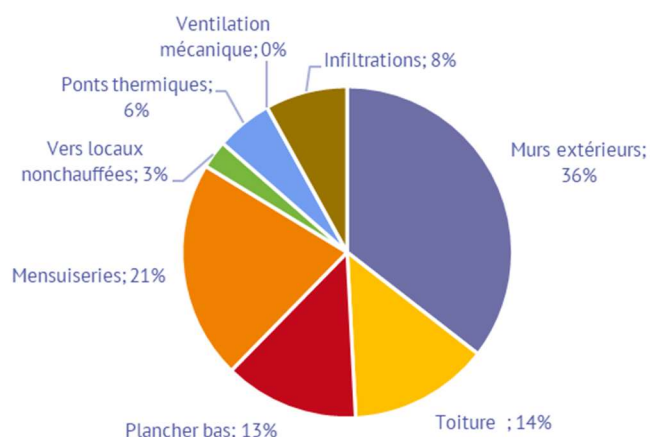
DEPERDITIONS HALL E			
Localisation	Surface (m ²)	Déperdition (W/K)	Part (%)
Murs extérieurs	1383	3711	36%
Toiture	2044	1431	14%
Plancher bas	2752	1376	13%
Mensueries	691	2231	21%
Vers locaux nonchauffés	136	286	3%
Ponts thermiques	-	577	6%
Ventilation mécanique	-	0	0%
Infiltrations	-	841	8%
TOTAL DEPERDITIONS	7006	10454	100%

DEPERDITIONS VENTILATION			
Localisation	Débit air neuf (m ³ /h)	Déperditions (W/K)	Part (%)
Ventilation mécanique	0	0	0%
Infiltrations	2 474	841	100%
TOTAL VENTILATION	2474	841	100%

BILAN DES DERPERDITIONS		
Déperditions bâti G1	0,27	W/m ³ .K
Déperditions ventilation G2	0,02	W/m ³ .K
TOTAL DEPERDITIONS G	0,29	W/m³.K
PUISANCE UTILE CHAUFFAGE	252	kW

Avec surpuissance de 5%

REPARTITION DES DEPERDITIONS (W/K)



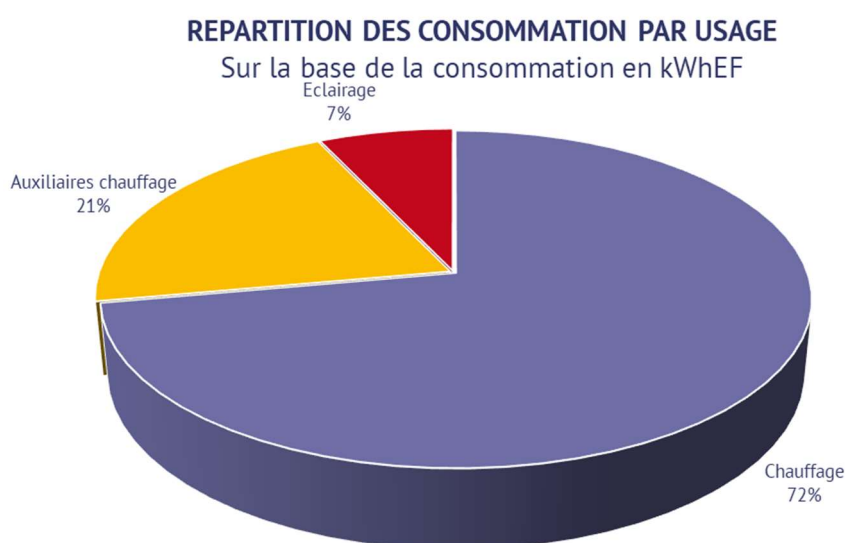
5.2. Répartition des consommations par usages

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 : 2902 m²
- Plages occupation, éclairage et chauffage : 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 :

CONSUMMATIONS D'ENERGIE PAR USAGE					
Usage	Energie	Consommations (kWhEF)	Consommations (kWhEP)	Consommations (kWhEP/m ² SU)	%
Chauffage	Réseau de chaleur	210 293	210 293	72	72%
Auxiliaires chauffage	Electricité	60 480	156 038	54	21%
Eclairage	Electricité	20 649	53 273	18	7%
Total		291 422	419 605	145	100%



5.3. Détail des consommations énergétiques par usage

5.3.1. Consommations liées au chauffage

CONSOMMATIONS DE CHAUFFAGE - Hall E					
Nom	Energie	Horaires de fonctionnement	Réduit	Consigne de température	Consommations (kWhEF/an)
CTA - Hall E	Réseau de chaleur	M au D de 10h à 18h	1	Hiver : 18°C	210 293
TOTAL	-	-	-	-	210 293

5.3.2. Consommations liées au traitement d'air

CONSOMMATIONS DE TRAITEMENT D'AIR - Hall E					
Nom	Débit	Durée de fonctionnement	Utilisation	Ratio de consommation ventilateur	Ventilateurs (kWhEF/an)
CTA Hall F	84000 m ³ /h	30h/semaine 30semaines/an	Ponctuelle	0,40 W/(m ³ /h)	60 480
TOTAL					60 480

5.3.3. Consommations liées à l'éclairage

CONSOMMATIONS D'ECLAIRAGE						
Nom	SU (m ²)	Puissance d'éclairage totale (W)	Horaires de fonctionnement	Mode d'allumage	Simultanéité	Consommations (kWhEF/an)
Hall E (Exposition)	2902	8250	8heures/jour 6jours/semaine	Commande manuelle	1,0	20 649
TOTAL	-	-	-	-	-	20 649

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	210 293	m ² SU	2902	72,5 kWhEF/m² SU
Auxiliaires chauffage	Horaires d'activité DJU Chauffagiste	48h/semaine 2394°C	60 480	m ² SU	2902	20,8 kWhEF/m² SU
Eclairage	Horaires d'activité	48h/semaine	20 649	m ² SU	2902	7,1 kWhEF/m² SU
Total	Horaires d'activité DJU	48h/semaine 2394°C	291 422	m² SU	2902	100,4 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.

Pour cette raison, la période de référence de chaque type d'énergie a été recalée sur des celles des 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

Les préconisations identifiées visent d'une part à réduire les besoins au maximum avec l'amélioration de l'isolation de l'enveloppe, et améliorer la performance des utilités.

Les hypothèses pour les calculs de gains financières sont les suivants :

- Prix d'électricité : 0.163 €HT/kWhe
- Prix de réseau de chaleur : 0.150 €HT/kWhe €HT/kWhe
- Taux d'inflation optimiste : 3%/an.

6.1. Amélioration de la performance de l'enveloppe

Cette préconisation concerne l'ensemble du clos et couvert du hall :

- Isolation par l'intérieur des murs extérieurs en bardages métalliques (avec 10cm de laine de verre, $\lambda=0,035\text{W/m.K}$)
- Isolation sous rampant de la toiture ou remplacement complète de la toiture existante (pour une résistance thermique totale $R \geq 5,2 \text{ m}^2.\text{K/W}$) sous réserve de l'état de conservation et la capacité de surcharge de couverture
- Remplacement des polycarbonates anciennes par les plaques de polycarbonate triple-paroi ($U_w=1,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$)
- Remplacement les portes métalliques par les portes métalliques performantes ($U_d=2,0 \text{ W/m}^2.\text{K}$)

Le tableau ci-dessous présente le bilan de déperditions par l'enveloppe du hall F après la rénovation :

DEPERDITIONS APRES RENOVATION - HALL E				
Localisation	Surface total (m ²)	Déperdition (W/K)	Part (%)	Réduction /Etat actuel (%)
Murs extérieurs	1383	455	10%	88%
Toiture	2044	378	9%	74%
Plancher bas	2752	1 376	31%	-
Mensueries	691	1 165	27%	48%
Vers locaux nonchauffés	136	286	7%	-
Ponts thermiques	-	234	5%	59%
Ventilation mécanique	-	0	0%	-
Infiltrations	-	477	11%	43%
TOTAL DEPERDITIONS	7006	4371	100%	58%

Récapitulatifs des travaux de l'enveloppe :

DESCRIPTION			GAIN ENERGETIQUE		GAIN ENVIRONNEMENTAL		GAIN FINANCIER			
No.	Action	Hypothèses	Gain kWhEF/an	Gain total %EF	Gain total kgéqCO2	Gain g déchets nucléaires	Investissement €HT	Gain €HT/an	Temps de retour brut	Temps de retour actualisé
1	Isolation par l'intérieur des bardages métalliques	Isolation par l'intérieur des bardages métalliques par 10cm de laine de verre $R_{total}=3,8(m^2K/W)$	91 414	31%	19206	319	178 000 €	14 049 €	13	11
2	Isolation sous-rampant de la toiture	Isolation sous-rampant de la toiture par 10cm laine de roche $R_{total}=5,2(m^2K/W)$	32 686	11%	6471	142	307 000 €	5 053 €	>25	>25
2b	Remplacement complète de la toiture existante	Rénovation complète de la toiture existante en bardage métallique pour $R_{total}=5,2(m^2K/W)$	32 686	11%	6471	142	460 000 €	5 053 €	>25	>25
3	Remplacement des polycarbonates anciennes	Remplacement des polycarbonates toiture par les plaque de polycarbonate triple-paroi $U_w=1,5 W/m2.K$	32 592	11%	6066	168	49 500 €	5 067 €	10	9
4	Remplacement des portes métalliques non-isolées	Remplacement des portes métalliques existantes par des portes métallique à isolation thermique $U_d=2 W/m2.K$	14 670	5%	1787	142	31 407 €	2 350 €	14	11

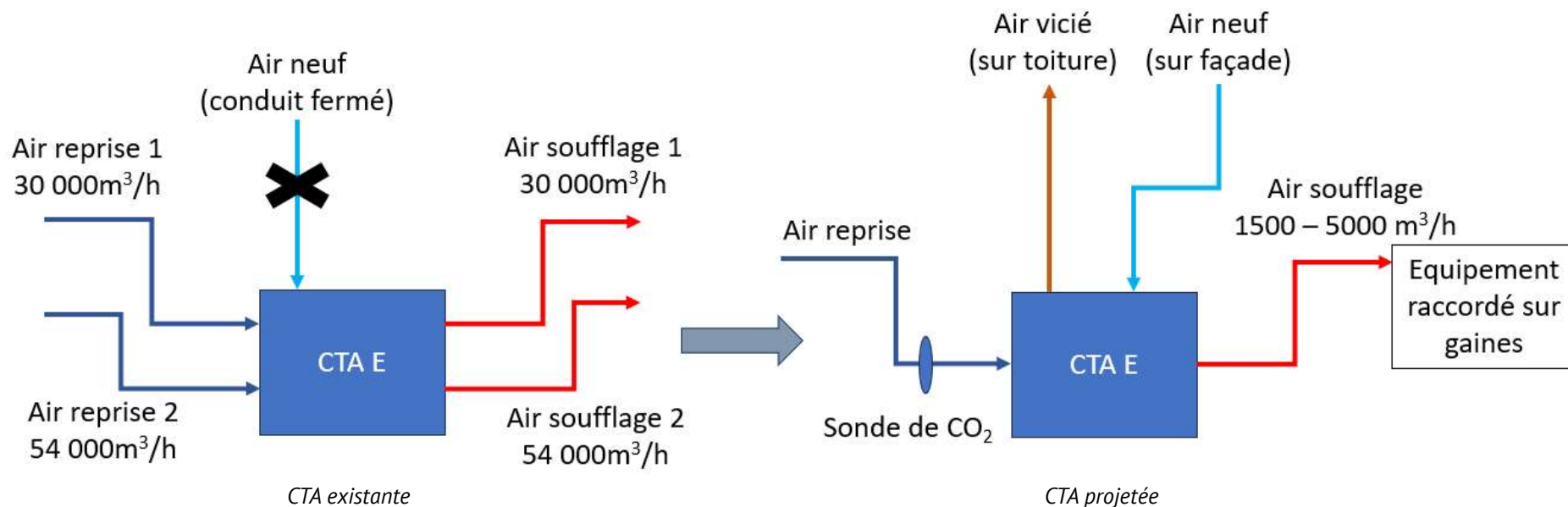
6.2. Amélioration de la performance des équipements de chauffage - ventilation

6.2.1. Solution 1 : Remplacement de la CTA et mise en place d'émetteurs chauffage en complément

La centrale de traitement d'air actuelle est la cause d'importantes consommations liées au besoin d'un brassage important pour compenser les déperditions par un système tout air déporté. De plus, le système actuel ne permet pas le renouvellement d'air hygiénique de façon efficace et performante.

Nous proposons le remplacement de la CTA par un modèle en tout air neuf avec récupération de chaleur (rejet à créer) dimensionné uniquement sur les besoins en débit d'air hygiénique et modulant en fonction des besoins réels. La CTA sera équipée d'une batterie chaude raccordée sur la sous-station RCU de sorte d'assurer une partie du chauffage du volume, notamment quand les apports internes par les personnes sont moindres. Les consommations des ventilateurs seront fortement diminuées avec des débits moindres et une meilleure efficacité (25Wh/m³).

Afin de créer un rejet, il est préconisé de réutiliser la gaine existante pour l'air neuf et débouchant en toiture comme rejet, et de créer une prise d'air neuf en façade au niveau des menuiseries en imposte.

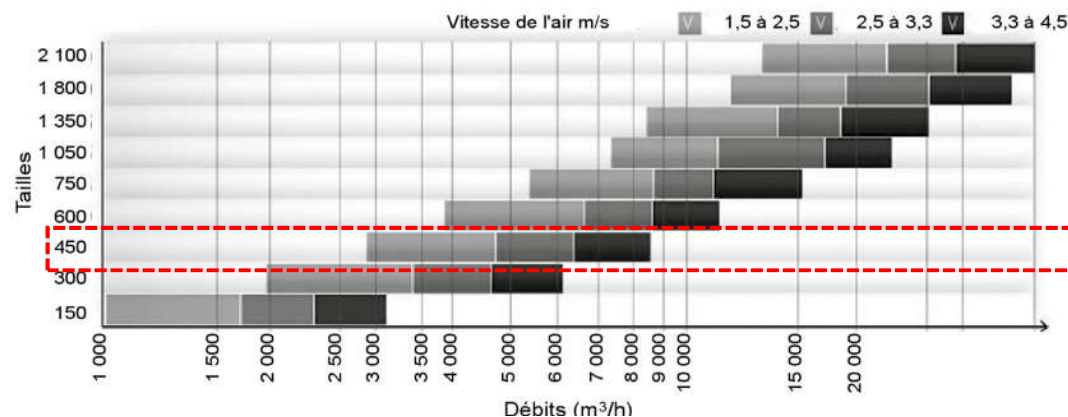


Produit de référence : Carrier 39CP L taille 450

39CP L : applications tertiaires



Tableau de sélection



Batterie électrique

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

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

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

X Option
NA Non applicable

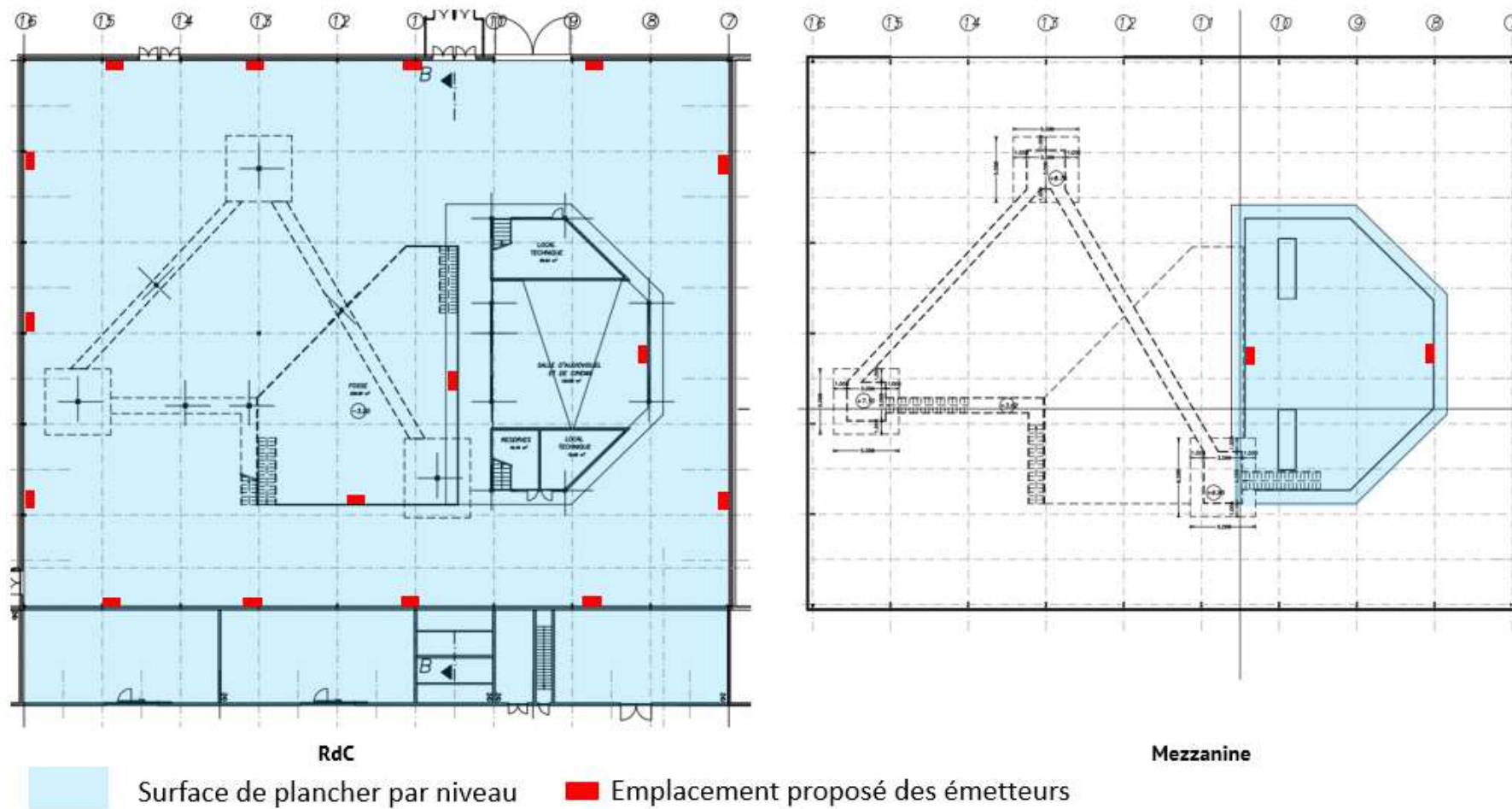
En complément, des émetteurs type rayonnant ou soufflant sur réseau de chauffage depuis sous-station RCU, seront mis en place dans les zones accessibles au public et notamment les zones de stationnement. Une distribution bitube sera à prévoir depuis la sous-station, isolée au moins sur le parcours aérien et en dehors des zones de stationnement public.

Ce type de chauffage assure une chaleur ciblée pour éviter de chauffer tout le volume du bâtiment.

Les besoins de chauffage sont recalculés en prenant en compte une diminution de la température moyenne du volume

BILAN DE CHAUFFAGE		
	Unité	Solution 1
Déperditions de l'enveloppe	W/K	9 612
Débit d'air neuf	m3/h	5 000
Déperditions totales de ventilation	W/K	2 541
Besoin de chauffage brut	kW	279,5
Coef. de réduction		1,5
Besoin de chauffage réduit	kW	186,4
BESOIN DE CHAUFFAGE (SURPUISSANCE 5%)	kW	195,7
Débit de soufflage	m3/h	5 000
Débit d'air neuf	m3/h	5 000
Taux de récupération	%	80%
COP		-
Puissance récupérée par l'échangeur	kW	31,3
Puissance chauffage fournie par CTA	kW	25,5
Puissance consommée	kW	25,5
Puissance chauffage nécessaire en complément	kW	140
PUISSANCE CHAUDE TOTALE INSTALLEE	kW	196,8
Produit de référence		CARRIER 39CP450 ou équivalent +28 émetteurs 5kW

Les plans ci-dessous présentent de manière schématique le principe de chauffage complémentaire par émetteurs locaux. La sélection des émetteurs et le plan positionnement sera à préciser au stade d'une étude de faisabilité, prenant en compte les enjeux de confort mais également les contraintes techniques, fonctionnelles et architecturales.



Plan principe de chauffage

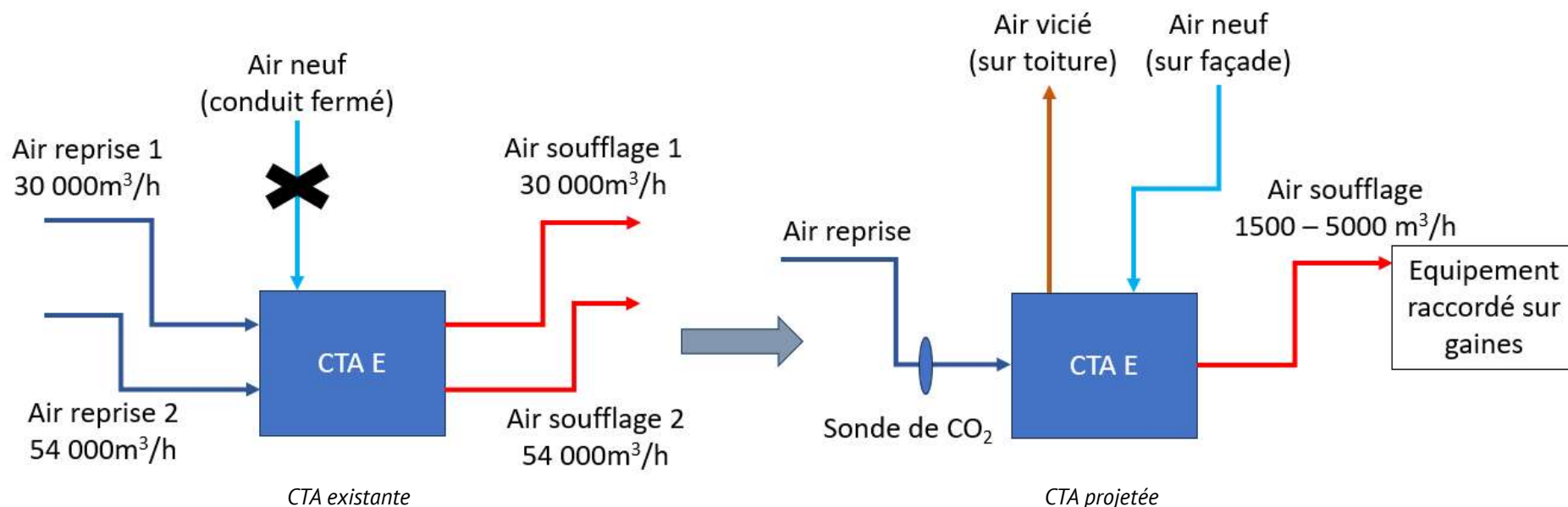
Nota : En première approche, 26 émetteurs de 5,0 kW serait nécessaires pour assurer le confort sans intervention pour améliorer la performance de l'enveloppe.

6.2.2. Solution 2 : Passage sur un système de chauffage tout air par pompe à chaleur

La proposition est de rester sur un chauffage par un système tout air mais avec une production intégrée type équipement roof top, permettant d'assurer le renouvellement d'air hygiénique, une récupération de chaleur sur air extrait, et un chauffage de l'air par pompe à chaleur sur air extérieur.

Cette préconisation est rendue possible par les gaines existantes de soufflage et reprise dimensionnées sur les débits nécessaires au chauffage.

En revanche, ces travaux impliquent soit la mise en place d'un équipement en toiture terrasse du local technique avec les dispositions structurales et urbaines induites, soit la mise en place dans le local technique mais avec la nécessité de mettre en place une bonne ventilation du local.



Les besoins de chauffage sont recalculés comme suivantes :

BILAN DE CHAUFFAGE		
	Unité	Solution 2
Dépense de l'enveloppe	W/K	9 612
Débit d'air neuf	m3/h	5 000
Dépense totale de ventilation	W/K	2 541
Besoin de chauffage brut	kW	279,5
Besoin de chauffage réduit	kW	279,5
BESOIN DE CHAUFFAGE (SURPUissance 5%)	kW	293,5
Débit de soufflage	m3/h	5 000
Débit d'air neuf	m3/h	5 000
Taux de récupération	%	80%
COP		4,0
Puissance récupérée par l'échangeur	kW	31,3
Puissance chauffage fournie par CTA	kW	262,2
Puissance consommée	kW	65,6
PUissance CHAUDE TOTALE INSTALLEE	kW	293,5
Produit de référence		CARRIER 50FC280 ou équivalent

Produit de référence : CARRIER 50FC 250 ou équivalent



UNITÉS COMPACTES DE TOITURE - 50FC 100-280

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES (EN-14511-2018)

50FF		100	110	120	130	145	160	170	180	200	220	250	280
Puissances réfrigération													
Puissance frigorifique ⁽¹⁾	kW	100,00	109,76	119,14	129,34	144,21	158,58	166,76	179,73	199,99	219,85	252,94	279,91
Puissance absorbée ⁽³⁾	kW	31,58	35,88	39,53	42,08	47,92	54,98	59,36	56,46	66,47	77,57	83,02	96,62
Efficacité EER		3,17	3,06	3,01	3,07	3,01	2,88	2,81	3,18	3,01	2,83	3,05	2,90
SEER		4,75	4,65	4,56	4,75	4,62	4,56	4,57	4,85	4,70	4,69	4,59	4,54
ηs		187%	183%	179%	187%	182%	180%	180%	191%	185%	184%	181%	179%
Puissances chauffage													
Puissance frigorifique ⁽²⁾	kW	100,20	109,97	121,14	131,24	148,31	162,78	170,96	189,73	209,99	234,84	280,12	308,40
Puissance absorbée ⁽³⁾	kW	27,69	31,07	35,22	36,33	41,86	47,28	50,15	50,69	58,44	67,23	78,11	89,48
Efficacité EER		3,62	3,54	3,44	3,61	3,54	3,44	3,41	3,74	3,59	3,49	3,59	3,45
SEER		3,44	3,45	3,42	3,42	3,42	3,34	3,37	3,38	3,38	3,38	3,38	3,37
ηs		135%	135%	134%	134%	134%	131%	132%	132%	132%	132%	132%	132%
Ventilateur circuit extérieur		Hélicoïde électronique											
Débit d'air nominal	m³/h	44.000	44.000	44.000	58.000	58.000	64.000	64.000	80.000	86.000	86.000	120.000	120.000
Pression statique disp.	mmCE	5											
Nombre / Diamètre	mm	2 / 800			2 / 910				4 / 800			4 / 910	
Puissance moteur	kW	1.100			1.070				1.100			1.070	
Vitesse maximale	tr/min	2 x 3,0			2 x 3,3				4 x 3,0			4 x 3,3	
Intensité max. absorbée	A	2 x 4,6			2 x 5,0				4 x 4,6			4 x 5,0	
Ventilateur soufflage circ. intérieur		PlugFan électronique (Polypropylène)											
Débit d'air nominal	m³/h	18.000	19.800	21.600	23.400	26.100	28.800	30.600	32.400	36.000	39.000	40.500	45.000
Pression statique disp.	mmCE	25	25	25	30	35	35	35	35	35	35	35	35
Débit d'air minimal	m³/h	10.800			14.040				19.440			24.300	
Débit d'air maximal	m³/h	25.920			36.720				46.800			54.000	
Nombre / Diamètre	mm	3 / 500				4 / 500			5 / 500			6 / 500	
Vitesse	tr/min	1.700				1.700			1.700			1.700	
Puissance moteur	kW	3 x 2,6				4 x 2,6			5 x 2,6			6 x 2,6	
Intensité max. absorbée	A	3 x 4,0				4 x 4,0			5 x 4,0			6 x 4,0	
Compresseur		Scroll											
Nb compresseurs / étages / circuits		4 / 4 / 2						4 / 4 / 2					
Type huile		Copeland 3MAF 32cST, Danfoss POE 160SZ, ICI Emkarate RL 32CF, Mobil EAL Artic 22CC											
Volume d'huile	l	4 x 3,0	2 x 3,0 + 2 x 3,3	4 x 3,3	4 x 3,3	4 x 3,3	4 x 3,3	2 x 3,3 + 2 x 3,6	2 x 3,3 + 2 x 3,6	3 x 3,6 + 1 x 6,1	1 x 3,6 + 3 x 6,1	4 x 6,1	4 x 6,1
Caractérist. électriques													
Tension de réseau		400 V / III ph / 50 Hz (±10%)											
Alimentation		3 Fils + Terre + Neutre											
Intensité max. absorbée	A	85,6	90,9	99,4	107,4	120,0	129,9	137,5	149,9	166,7	185,3	207,7	230,3
Réfrigérant		R-410A											
Potentiel de réchauffement global ⁽⁴⁾	GWP	2.088											
Charge	kg	34,0	34,0	34,0	37,0	37,0	37,5	38,0	54,0	56,0	56,0	67,0	68,0
Impact environnemental	teqCO ₂	71,0	71,0	71,0	77,3	77,3	78,3	79,3	112,8	116,9	116,9	139,9	142,0
Poids													
Montage B1	kg	1.420	1.435	1.450	1.630	1.665	1.670	1.675	2.255	2.355	2.455	2.785	2.845

6.3. Synthèse énergétique

DESCRIPTION			GAIN ENERGETIQUE		GAIN ENVIRONNEMENTAL		GAIN FINANCIER			
No.	Action	Hypothèses	Gain kWhEF/an	Gain total %EF	Gain total kgéqCO2	Gain g déchets nucléaires	Investissement €HT	Gain €HT/an	Temps de retour brut	Temps de retour actualisé
1	Amélioration la performance thermique de l'enveloppe	Isolation par l'intérieur des murs extérieurs en bardages métalliques Isolation sous rampant de la toiture ou remplacement complète de la toiture existante Remplacement des polycarbonates anciennes Remplacement les portes métalliques non-isolées	118 681	41%	25484	375	600 000 €	24 050 €	23	19
2	Diminution de 1°C de la température de consigne	Diminuation de température de consigne par 1°C Soit 17°C	23 003	8%	4714	89	0 €	3 060 €	-	-
3	Remplacement de la CTA existante et mise en place d'émetteurs chauffage en complément	Remplacement de la CTA existante par une ventilation d'hygiène. Débit: 1500-5000m3/h, récupérateur de chaleur : 80% Création d'une prise d'air neuf en façade Mise en place d'émetteurs chauffage en complément	121 786	42%	22034	673	159 000 €	12 226 €	14	11
4	Remplacement de la CTA existante par une unité de toiture pompe à chaleur air/air	Remplacement de la CTA existante par une unité de toiture pompe à chaleur air/air, COP: 3,38	166 136	57%	50967	-543	390 000 €	31 106 €	12	11

7. SCENARIOS

	Coûts	Consommations après travaux			Gain énergétique		Gain financier			Gain environnementaux	
Phase de réalisation	Investissements €HT	Total kWhEF/an	Total kWhEP/an	Total kWhEP/m²SU.a n	En kWhEF/an	Par rapport à l'état existant	Gain financier €HT/an	Temps de retour brut année	Temps de retour actualisé	Emissions CO2 kgéqCO2/an	Déchets nucléaires g/an
Programme 1 Enveloppe + Système 1 +Diminuation Tconsigne	720 000	86 744	128 469	44,3	204 687	70%	31 414	22,9	17,6	39 689	673
Programme 2 Enveloppe + Système 2 +Diminuation Tconsigne	800 000	63 999	165 118	56,9	227 431	78%	34 337	23,3	17,9	50 650	211

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

Les besoins de chauffage et le prédimensionnement des systèmes énergétiques correspondant à chaque scénario de rénovation sont recalculés comme suivantes :

BILAN DE CHAUFFAGE

	Unité	Programme 1	Programme 2
Dépense de l'enveloppe	W/K	3 895	3 895
Débit d'air neuf	m3/h	5 000	5 000
Dépense totale de ventilation	W/K	2 177	2 177
Besoin de chauffage brut	kW	133,6	133,6
Coef. de réduction		1,4	-
Besoin de chauffage réduit	kW	95,4	133,6
BESOIN DE CHAUFFAGE (SURPUissance 5%)	kW	100,2	140,2
Débit de soufflage	m3/h	5 000	5 000
Débit d'air neuf	m3/h	5 000	5 000
Taux de récupération	%	80%	80%
COP		-	4,0
Puissance récupérée par l'échangeur	kW	29,9	29,9
Puissance chauffage fournie par CTA	kW	25,5	115,0
Puissance consommée	kW	25,5	28,8
Puissance chauffage nécessaire en complément	kW	50	-
PUissance CHAUDE TOTALE INSTALLEE	kW	105,4	144,9
Produit de référence		CARRIER 39CP450 ou équivalent +10 émetteurs 5kW	CARRIER 50FC120