

# Audit énergétique

## Rapport audit



### Audit énergétique Bâtiment Bermuda

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

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. PREAMBULE .....</b>                                                     | <b>3</b>  |
| 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 .....                                                              | 6         |
| <b>2. REFERENTIEL .....</b>                                                   | <b>7</b>  |
| 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         |
| <b>3. ETAT DES LIEUX .....</b>                                                | <b>9</b>  |
| 3.1. Indicateurs de conservation et de performance .....                      | 9         |
| 3.2. Parois du bâtiment .....                                                 | 9         |
| 3.3. Menuiseries extérieures .....                                            | 9         |
| 3.4. Equipements techniques .....                                             | 10        |
| <b>4. CONSOMMATION DE REFERENCE .....</b>                                     | <b>11</b> |
| 4.1. Electricité .....                                                        | 11        |
| 4.2. Gaz .....                                                                | 12        |
| <b>5. MODELISATION ENERGETIQUE .....</b>                                      | <b>13</b> |
| 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 au traitement d'air .....                          | 15        |
| 5.3.3. Consommations liées à l'éclairage .....                                | 15        |
| 5.4. Indicateurs de performance énergétique (IPes) .....                      | 16        |
| 5.5. Comparaison des consommations théoriques aux consommations réelles ..... | 16        |
| <b>6. PROGRAMMATION ENERGETIQUE .....</b>                                     | <b>17</b> |
| 6.1. Amélioration de la performance des équipements de chauffage .....        | 17        |

## 1. PREAMBULE

---

### 1.1. Contexte

La présente étude concerne le bâtiment Bermuda.

Le bâtiment a été construit en 2007-2008 sur une surface plancher de 1885m<sup>2</sup>. Il est utilisé comme atelier de formation, avec une partie de bureaux administratifs et de vestiaires.



*Photo de l'extérieur du bâtiment Bermuda*

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<br>Responsable de pôle BMI                                                    | 06 75 04 25 43 | christel.meyre@museeairespace.fr |
| Guido BOROLI<br>Chargé de projet bâtiment<br>Pôle bâtiment, maintenance<br>et infrastructure | 01 49 92 70 80 | guido.boroli@museeairespace.fr   |
| NEPSEN                                                                                       |                |                                  |
| Christophe DELFOUR<br>Responsable projet                                                     | 06 08 42 88 43 | christophe.delfour@nepSEN.fr     |
| Khoa Huu Anh LE<br>Ingénieur étude                                                           | 01 60 15 01 35 | huu-anh-khoa.le@nepSEN.fr        |

## 1.3. Visites de site

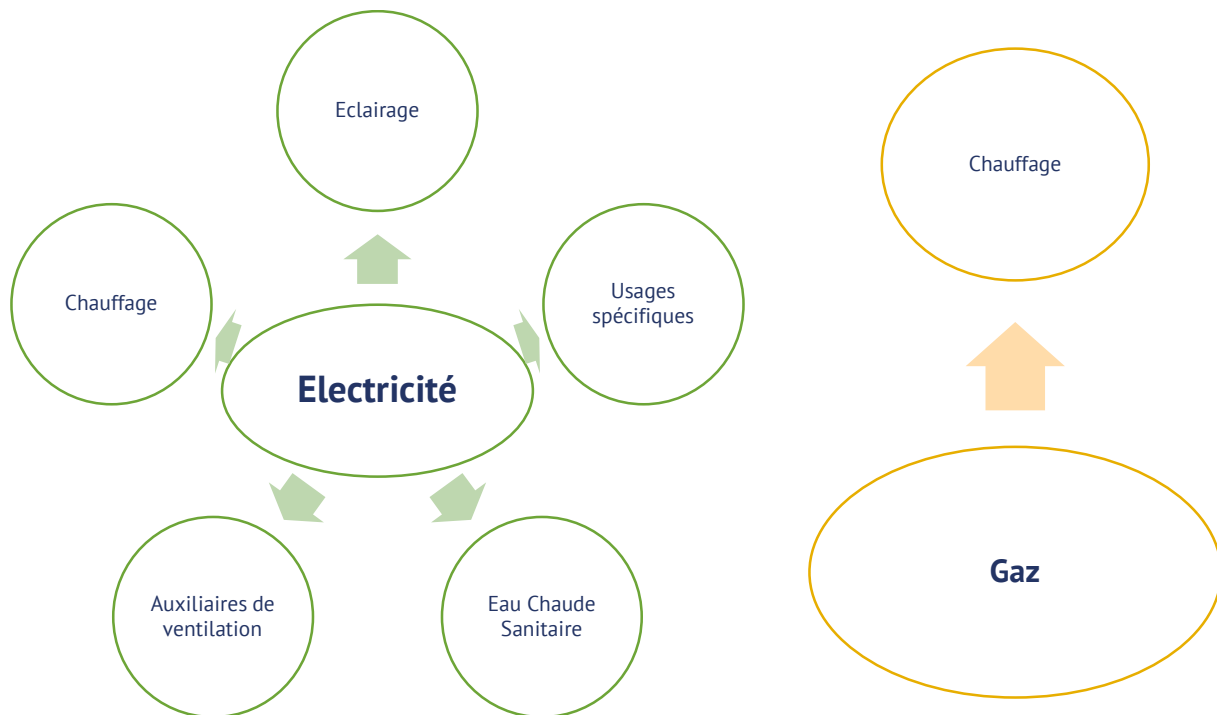
| DATE       | OBJET                           | COMMENTAIRE                                                                       |
|------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 10/05/2023 | Visite technique   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

## 1.4. Identification du site

| RENSEIGNEMENTS SUR LE SITE               |                                                                                         |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Adresse                                  | Aéroport de Paris – Site Dugny<br>1 Av. de la 2ème Division Blindée, 93440 Dugny        |
| Nom du bâtiment                          | Bermuda                                                                                 |
| Année de construction<br>/réhabilitation | 2007-2008                                                                               |
| Surface utile (SU)                       | 1885 m <sup>2</sup>                                                                     |
| Activité                                 | Atelier de formation, bureaux, réserve                                                  |
| Horaires d'occupation                    | Lundi au jeudi de 8h à 18h, vendredi de 8h à 13h<br>Ouverture selon la période scolaire |
| Energies utilisées                       | Electricité, Gaz                                                                        |

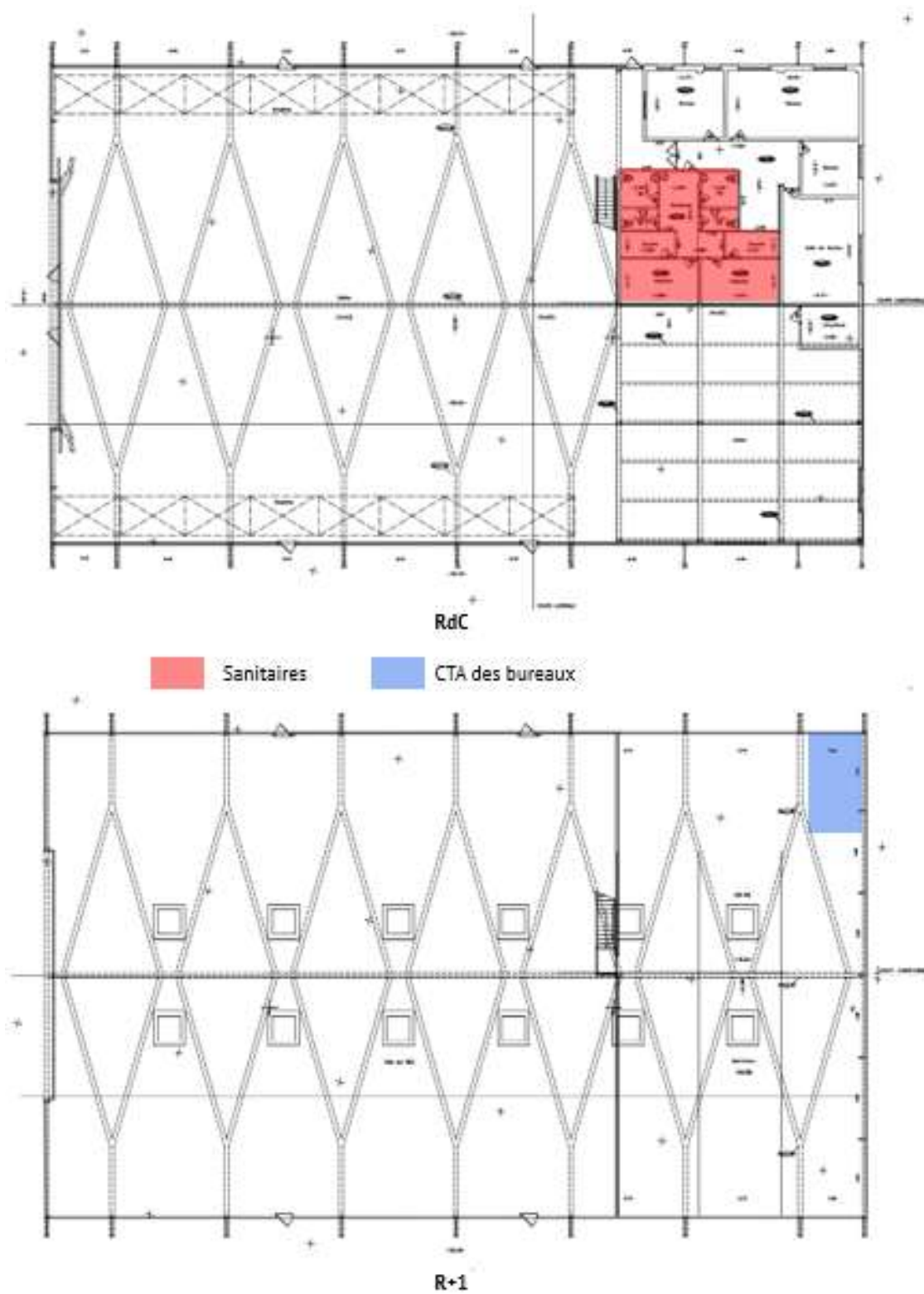
## 1.5. Energies et usages

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



*Usages énergétiques du Hall Bermuda*

## 1.6. Plans



Plan du hall Bermuda

## 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 m<sup>2</sup>,
- 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.

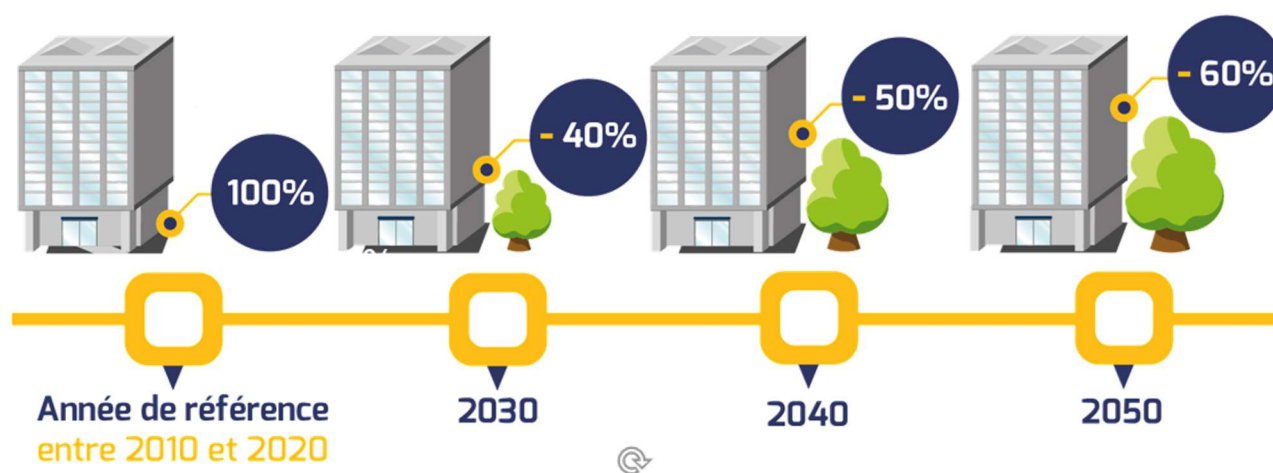
#### 2.1.2. Niveau de labélisation

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<sup>2</sup>.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<br>Couverture en bardage métallique double-peau           | Performance correcte |
|                 |                                       |                                                                                         | R : 2,3              |
|                 |                                       |                                                                                         | Ecart : -28%         |
|                 |                                       |                                                                                         | Evaluation :         |
| Toiture         | Toiture                               | Toiture non-accessible en bardage métallique<br>double peau supposée faiblement isolée  | Faible isolation     |
|                 |                                       |                                                                                         | R : 2,1              |
|                 |                                       |                                                                                         | Ecart : -53%         |
|                 |                                       |                                                                                         | Evaluation :         |
| Plancher bas    | Plancher bas sur terre-plein<br>b=0,7 | Dalle béton épaisseur inconnue (supposée 15cm)<br>Supposée faiblement isolée sous-chape | Correte              |
|                 |                                       |                                                                                         | R : 1,5              |
|                 |                                       |                                                                                         | Ecart : -            |
|                 |                                       |                                                                                         | Evaluation :         |

### 3.3. Menuiseries extérieures

| CLOS ET COUVERT |                         |                                                                    |                     |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Elément         | Désignation             | Descriptif                                                         | Performance         |
| Menuiseries     | Menuiseries extérieures | Menuiseries aluminium double-vitrage à rupteurs de ponts thermique | Performance moyenne |
|                 |                         |                                                                    | Uw : 2              |

|  |                       |                                     |                      |       |
|--|-----------------------|-------------------------------------|----------------------|-------|
|  | Polycarbonate toiture | Toiture éclairante en polycarbonate | Ecart :              | -5%   |
|  |                       |                                     | Evaluation :         |       |
|  |                       |                                     | Performance moyenne  |       |
|  |                       |                                     | Uw :                 | 2,5   |
|  | Portes extérieures    | Portes métalliques non-isolé        | Ecart :              | -32%  |
|  |                       |                                     | Evaluation :         |       |
|  |                       |                                     | Mauvaise performance |       |
|  |                       |                                     | Ud :                 | 4     |
|  |                       |                                     | Ecart :              | -100% |
|  |                       |                                     | Evaluation :         |       |

### 3.4. Equipements techniques

| EQUIPEMENTS TECHNIQUES |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                |               |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Désignation            | Descriptif                                                                                                                                                                                                      | Régulation                                                                                     | Performance   |
| Chauffage              | 4 rampes raidantes gaz de marque Applimo<br>et 2 aérothermes à gaz de marque Climair<br>Certaines radiateurs électriques dans les bureaux                                                                       | selon l'année scolaire<br>M au J, de 8h à 18h<br>V de 8h à 13h                                 | Etat correcte |
|                        |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                | Evaluation :  |
| Ventilation            | Atelier: ventilé par ouverture de fenêtres<br>Bureaux: centrale double flux avec récupérateur d'énergie<br>(efficacité supposée de 70%) de marque Caladair<br>Modèle CDFI 146 (taille 4), débit estimé: 750m³/h | selon l'année scolaire<br>M au J, de 8h à 18h<br>V de 8h à 13h                                 | Bon état      |
|                        |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                | Evaluation :  |
| Eclairage              | Le bâtiment reçoit une bonne quantité de lumière naturelle<br>Luminaires en tubes fluos dans l'atelier<br>Panneaux LED dans les bureaux<br>Puissance estimée: 4400W                                             | M au J de 8 à 18h<br>V de 8 à 13h<br>selon l'année scolaire et niveau d'éclairage<br>naturelle | Etat correcte |
|                        |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                | Evaluation :  |

## 4. CONSOMMATION DE REFERENCE

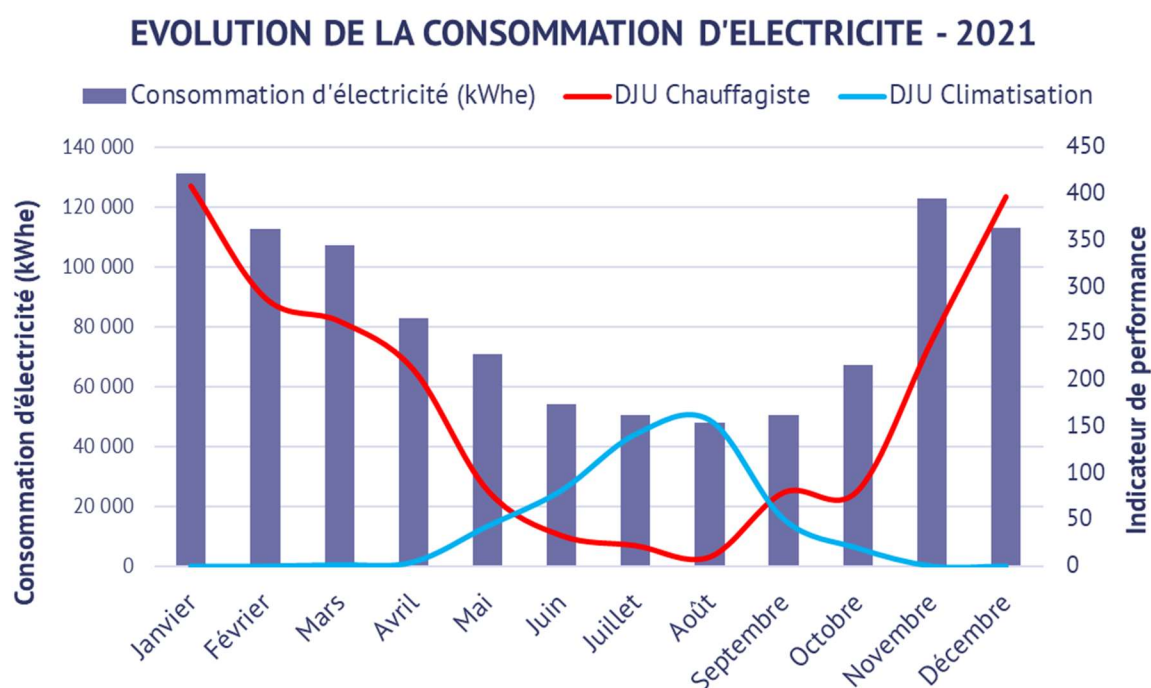
### 4.1. Electricité

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 Bermuda.

Le Contrat Electricité Structuré 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 2022.



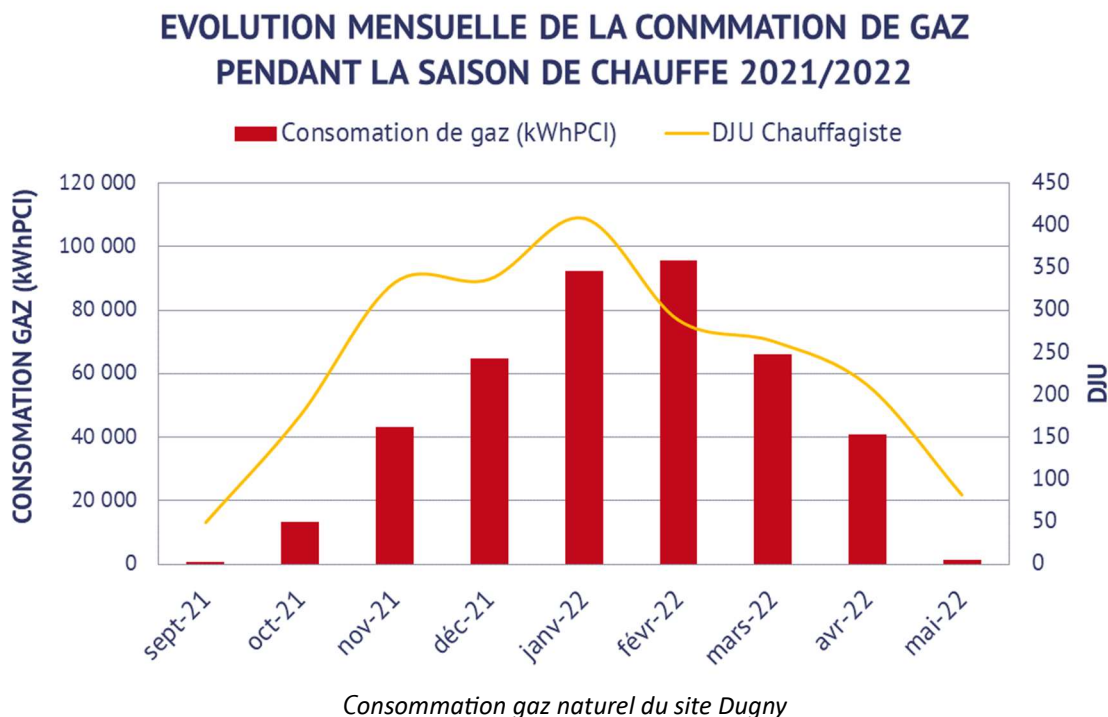
*Consommation d'électricité du site Dugny – Année 2021*

Au global, 1 011 976 kWh a été consommé en l'année 2021 avec un prix moyen de 0.104 €HT/kWh. Les consommations sont liées fortement 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 Bermuda.

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 ;



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

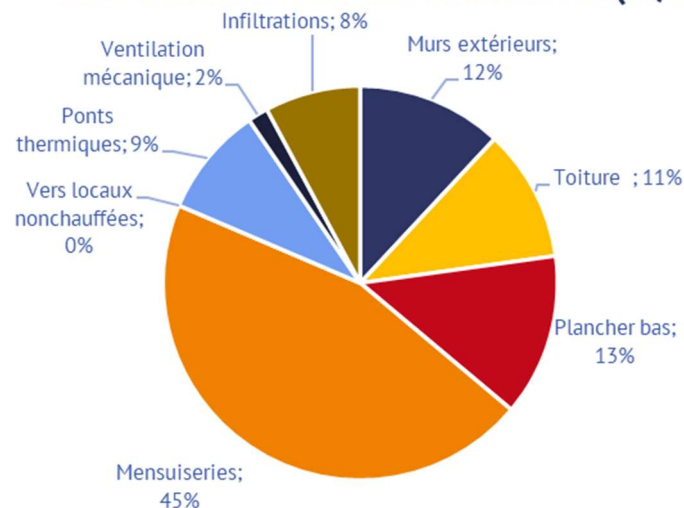
|                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| Volume chauffé   | 17 550 m <sup>3</sup>    |
| U <sub>bât</sub> | 0,89 W/m <sup>2</sup> .K |

| DEPERDITIONS GLOBALES - HALL BERMUDA |                           |                   |             |
|--------------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------|
| Localisation                         | Surface (m <sup>2</sup> ) | Déperdition (W/K) | Part (%)    |
| Murs extérieurs                      | 1371                      | 548               | 12%         |
| Toiture                              | 1109                      | 499               | 11%         |
| Plancher bas                         | 1456                      | 612               | 13%         |
| Mensueries                           | 738                       | 2082              | 45%         |
| Vers locaux nonchauffés              | 0                         | 0                 | 0%          |
| Ponts thermiques                     | -                         | 416               | 9%          |
| Ventilation mécanique                | -                         | 77                | 2%          |
| Infiltrations                        | -                         | 361               | 8%          |
| <b>TOTAL DEPERDITIONS</b>            | <b>4675</b>               | <b>4594</b>       | <b>100%</b> |
| <b>DEPERDITIONS PAR BUREAUX</b>      |                           | <b>208</b>        | <b>5%</b>   |
| <b>DEPERDITIONS PAR ATELIERS</b>     |                           | <b>4386</b>       | <b>95%</b>  |

| DEPERDITIONS VENTILATION |                                    |                    |             |
|--------------------------|------------------------------------|--------------------|-------------|
| Localisation             | Débit air neuf (m <sup>3</sup> /h) | Déperditions (W/K) | Part (%)    |
| Ventilation mécanique    | 750                                | 77                 | 17%         |
| Infiltrations            | 1 061                              | 361                | 83%         |
| <b>TOTAL VENTILATION</b> | <b>1811</b>                        | <b>437</b>         | <b>100%</b> |

| BILAN DES DERPERDITIONS   |             |                          |
|---------------------------|-------------|--------------------------|
| Déperditions bâti         | 0,24        | W/m <sup>3</sup> .K      |
| Déperditions ventilation  | 0,02        | W/m <sup>3</sup> .K      |
| <b>TOTAL DEPERDITIONS</b> | <b>0,26</b> | <b>W/m<sup>3</sup>.K</b> |

### REPARTITION DES DEPERDITIONS (W/K)



## 5.2. Répartition des consommations par usages

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

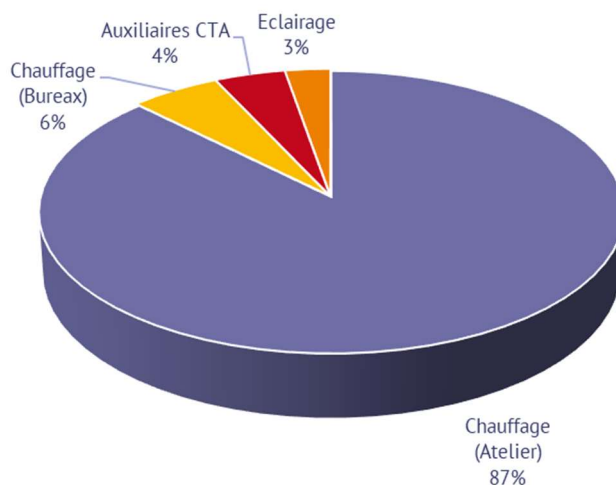
- Station météo : Paris-Le Bourget (zone H1a)
- Température extérieure de base : -5°C
- DJU chauffagiste (COSTIC trentenaires) : 2394°C
- Consigne de chauffage : 19°C
- Surface utile : 1885 m<sup>2</sup>
- Plages occupation, éclairage et chauffage : Lundi au jeudi de 8h à 18h, vendredi de 8h à 13h, selon l'année scolaire
- Surface : bureaux et sanitaires 10%, ateliers et stockage 90%

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 <sup>2</sup> SU) | %           |
| Chauffage (Atelier)               | Gaz naturel | 73 252                | 73 252                | 39                                      | 87%         |
| Chauffage (Bureaux)               | Electricité | 4 631                 | 11 948                | 6                                       | 6%          |
| Auxiliaires CTA                   | Electricité | 3 600                 | 9 288                 | 5                                       | 4%          |
| Eclairage                         | Electricité | 2 297                 | 5 926                 | 3                                       | 3%          |
| <b>Total</b>                      |             | <b>83 780</b>         | <b>100 414</b>        | <b>53</b>                               | <b>100%</b> |

### 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 - BERMUDA |             |                                     |        |                         |                          |
|--------------------------------------|-------------|-------------------------------------|--------|-------------------------|--------------------------|
| Nom                                  | Energie     | Horaires de fonctionnement          | Réduit | Consigne de température | Consommations (kWhEF/an) |
| Chauffage par gaz                    | Gaz naturel | L au J de 8h à 18h<br>V de 8h à 13h | -      | Hiver : 18°C            | 73 252                   |
| Chauffage - bureaux                  | Electricité | L au J de 8h à 18h<br>V de 8h à 13h | -      | Hiver : 19°C            | 4 631                    |
| <b>TOTAL</b>                         | -           | -                                   | -      | -                       | <b>77 883</b>            |

### 5.3.2. Consommations liées au traitement d'air

| CONSOMMATIONS DE TRAITEMENT D'AIR - BERMUDA |                       |                               |             |                                   |                         |
|---------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Nom                                         | Débit                 | Durée de fonctionnement       | Utilisation | Ratio de consommation ventilateur | Ventilateurs (kWhEF/an) |
| CTA bureaux                                 | 750 m <sup>3</sup> /h | 45h/semaine<br>40 semaines/an | Continue    | 1,30 W/(m <sup>3</sup> /h)        | 3 600                   |
| <b>TOTAL</b>                                |                       |                               |             |                                   | <b>3 600</b>            |

### 5.3.3. Consommations liées à l'éclairage

| CONSOMMATIONS D'ECLAIRAGE |              |                                          |                 |                                            |                 |              |                          |
|---------------------------|--------------|------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|--------------|--------------------------|
| Nom                       | Localisation | Surface (m <sup>2</sup> ) ou Nb d'équips | Puissance total | Horaires de fonctionnement                 | Mode d'allumage | Simultanéité | Consommations (kWhEF/an) |
| Lumières en LED           | Zone bureaux | 197                                      | 1200            | Supposé 50% des horaires de fonctionnement | Manuel          | 1,0          | 1 188                    |
| Tubes fluos               | Atelier      | 1727                                     | 3200            | Supposé 20% des horaires de fonctionnement | Manuel          | 0,7          | 1 109                    |
| <b>TOTAL</b>              | -            | -                                        | -               | -                                          | -               | -            | <b>2 297</b>             |

## 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 | 45h/semaine 2394°C        | 77 883                           | m² SU              | 1885                | <b>41,3 kWhEF/m² SU</b>            |
| Auxiliaires CTA                                                 | Horaires d'activité DJU Chauffagiste | 45h/semaine 2394°C        | 9 288                            | m² SU              | 1885                | <b>4,9 kWhEF/m² SU</b>             |
| Eclairage                                                       | Horaires d'activité                  | 45h/semaine               | 2 297                            | m² SU              | 1885                | <b>1,2 kWhEF/m² SU</b>             |
| <b>Total</b>                                                    | <b>Horaires d'activité DJU</b>       | <b>45h/semaine 2394°C</b> | <b>89 468</b>                    | <b>m² SU</b>       | <b>1885</b>         | <b>47,5 kWhEF/m² SU</b>            |

## 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                          |               |                               |                |           |
| 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                           |               |                               |                |           |

Les consommations d'énergies des modèles théoriques sont cohérentes avec lesquelles facturées. 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. PROGRAMMATION ENERGETIQUE

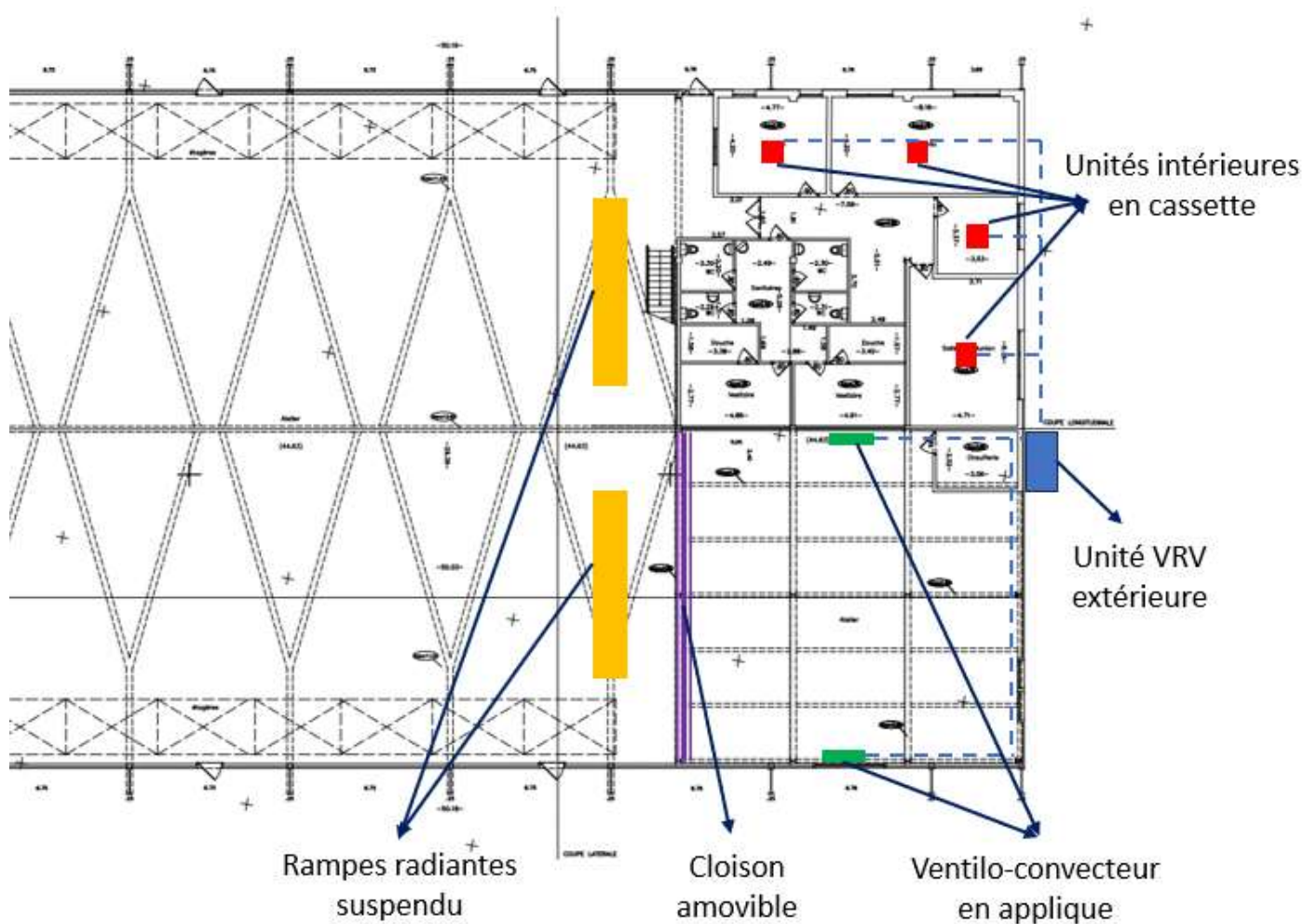
### 6.1. Amélioration de la performance des équipements de chauffage

Les équipements de chauffage actuel permettent de chauffer identiquement tout le volume du hall. Cependant, les zones avec les occupations principales du bâtiment ne comprennent que les bureaux, l'atelier et le zone de formation. En plus, enfin d'éviter la consommation de gaz naturel et d'optimiser la production de chaleur, nous proposons un chauffage par zone assurée par un système VRV en pompe à chaleur réversible.

Les travaux concernant cette préconisation sont :

- Installation un système VRV en pompe à chaleur réversible avec son système de distribution (hypothèse SCOP = 4)
- Installation et raccordement des unités cassettes dans les bureaux
- Installation et raccordement des ventilo-convecteurs dans l'atelier
- Réemploi des rampes radiantes existantes pour l'espace de formation
- Installation des cloisons mobiles pour limiter le besoin de chauffage à la zone atelier.

La figure ci-dessous présente la principe chauffage de projet :



*Principe de chauffage*

Les hypothèses pour les calculs économiques sont les suivants :

- Prix d'électricité : 0.104 €HT/kWhe
- Prix de réseau de chaleur : 0.080 €HT/kWhe €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           | Chauffage par zone, production de chaleur par une unité VRV en pompe à chaleur réversible | Installation un système VRV en pompe à chaleur réversible avec son système de distribution. Hypothèse SCOP = 4<br>Installation des unités cassettes dans les bureaux<br>Installation des ventilo-convecteurs dans l'atelier<br>Réemploi des rampes radiantés existantes pour l'espace de formation<br>Installation des cloisons mobiles légères pour limiter le besoin de chaude de l'atelier. | 48 930           | 58%            | 11435                | 1                         | 50 000 €           | 3 917 €     | 12,8                 | 11,0                      |