

## BATIMENT CIRQUE

Musée des Arts du Cirque et des Espaces de travail,  
de diffusion et de Création pour le PALC  
VILLE DE CHALONS-EN-CHAMPAGNE

PHASE APD

05-06-2026

## NOTICE QUALITE ENVIRONNEMENTALE



Maître d'ouvrage:

**Châlons-en-Champagne**

Bureau de contrôle:

**Bureau Veritas**

AMO Bâtiment : **IDA Concept**

AMO Musée: **Lamaya**

Maîtrise d'oeuvre:

**Architecte mandataire**

**MOATTI-RIVIERE**

22 rue de Paradis 75 010 Paris

T: (01) 45 65 44 04

agence@moattiriviere.com

BET Economie, Structure, Etudes  
Fluides - Thermique - Electricité

**AIA Ingenierie**

BET Environnement

**AIA Environnement**

Scénographe

**Atelier Maciej Fiszer**

Scénographe d'équipement

**Theatre Project**

Conception Jeux / Manip

**Snoopp**

Conception Multimédia

**Acte 1**

Graphisme Signalétique

**C Album**

Eclairagiste

**8'18"**

BET Acoustique

**Lasa**

Coordination SSI

**Namixis**

Coordination préventive

**Ask**

## **TABLE DES MATIERES**

|       |                                                          |    |
|-------|----------------------------------------------------------|----|
| 1     | Préambule .....                                          | 3  |
| 2     | Contexte et objectifs .....                              | 4  |
| 2.1   | Réglementation.....                                      | 4  |
| 2.1.1 | RE2020.....                                              | 4  |
| 2.1.2 | Eco Décret Tertiaire .....                               | 4  |
| 2.1.3 | Décret BACS .....                                        | 5  |
| 2.1.4 | Loi AER – Loi Climat Résilience.....                     | 6  |
| 2.2   | Exigences programmatiques .....                          | 7  |
| 2.3   | Synthèse de la démarche environnementale.....            | 8  |
| 2.4   | Axonométrie environnementale.....                        | 9  |
| 3     | Qualité environnementale et sanitaire des matériaux..... | 10 |
| 3.1   | Plan d'approvisionnement des matériaux.....              | 10 |
| 3.1.1 | Recensement des entreprises de la région.....            | 10 |
| 3.1.2 | Cartographie d'approvisionnement .....                   | 12 |
| 3.2   | Qualité de l'air intérieur .....                         | 13 |
| 3.3   | Pré-étude Carbone.....                                   | 14 |
| 3.3.1 | Objectifs de l'étude .....                               | 14 |
| 3.3.2 | Logiciel interne – Décarbone+ Neuf.....                  | 14 |
| 3.3.3 | Méthodologie de calcul.....                              | 14 |
| 3.3.4 | Résultats de l'étude.....                                | 18 |
| 3.4   | Le label biosourcé .....                                 | 21 |
| 3.4.1 | Les matériaux du projet .....                            | 21 |
| 3.4.2 | Calcul de la quantité de matière biosourcé .....         | 22 |
| 4     | Gestion des eaux .....                                   | 24 |
| 4.1   | Solutions hydro-économiques .....                        | 24 |
| 4.2   | Estimation des consommations.....                        | 24 |
| 4.3   | Récupération des eaux pluviales .....                    | 25 |
| 4.3.1 | Cas 1 – Utilisation sur l'ensemble du bâtiment .....     | 25 |
| 4.3.2 | Cas 2 – Utilisation uniquement au RDC .....              | 26 |
| 4.3.3 | Conclusion .....                                         | 28 |
| 5     | Performance énergétique et confort hygrothermique .....  | 29 |
| 5.1   | Caractéristiques du bâti .....                           | 29 |
| 5.2   | Calcul Réglementaire.....                                | 31 |
| 5.2.1 | Périmètre .....                                          | 32 |
| 5.2.2 | Synthèse des hypothèses considérées .....                | 32 |
| 5.2.3 | Résultats RE2020.....                                    | 36 |
| 5.3   | Confort Hygrothermique .....                             | 37 |

|       |                                                    |    |
|-------|----------------------------------------------------|----|
| 5.3.1 | Site et environnement .....                        | 37 |
| 5.3.2 | Apports internes .....                             | 39 |
| 5.3.3 | Systèmes .....                                     | 41 |
| 5.3.4 | Etudes et résultats .....                          | 45 |
| 5.4   | Etude des consommations .....                      | 50 |
| 5.4.1 | Besoins, consommations finales et primaires.....   | 50 |
| 5.4.2 | Périmètre étude.....                               | 50 |
| 5.4.3 | Consommations et besoins par postes.....           | 50 |
| 6     | Confort Visuel .....                               | 53 |
| 6.1   | Hypotheses de calcul .....                         | 53 |
| 6.1.1 | Logiciel .....                                     | 53 |
| 6.1.2 | Modélisation 3D .....                              | 53 |
| 6.1.3 | Parois et coefficients de réflexion .....          | 54 |
| 6.1.4 | Coefficients de transmission lumineuse .....       | 54 |
| 6.1.5 | Masques et protections solaires .....              | 54 |
| 6.1.6 | Zone de calcul.....                                | 54 |
| 6.1.7 | Plan de travail .....                              | 54 |
| 6.1.8 | Locaux étudiés.....                                | 54 |
| 6.2   | Résultats ALJ .....                                | 55 |
| 6.2.1 | Hall .....                                         | 55 |
| 6.2.2 | Salle d'entrainement.....                          | 55 |
| 6.2.3 | Bureau partagés PALC 3 pers.....                   | 56 |
| 6.2.4 | Bureau administratif musée .....                   | 56 |
| 6.2.5 | Bureau partagés PALC 4 pers.....                   | 56 |
| 6.2.6 | Espace médiation .....                             | 57 |
| 7     | Maintenance et exploitation facilitées .....       | 58 |
| 7.1   | Flexibilité et adaptabilité .....                  | 58 |
| 7.2   | Entretien-maintenance.....                         | 58 |
| 7.2.1 | Stratégie de maintenance .....                     | 58 |
| 7.2.2 | Clos-Couvert (Structure, Toiture et Façades) ..... | 59 |
| 7.2.3 | Matériaux de finitions .....                       | 62 |
| 7.2.4 | Locaux et installations techniques .....           | 64 |
| 7.2.5 | Suivi des performances .....                       | 67 |
| 8     | Chantier à faibles nuisances.....                  | 69 |
| 9     | ANNEXE 1 : Note entretien maintenance CVC .....    | 70 |

---

## **1 PREAMBULE**

Une démarche de développement durable irrigue l'ensemble des disciplines de la maîtrise d'œuvre. Elle traduit un état d'esprit fondé sur la sensibilité écologique, l'ouverture à l'innovation et la remise en question permanente de nos réflexes de concepteurs.

Chaque membre de notre équipe est sensibilisé à cette approche citoyenne et maîtrise les enjeux propres à son métier. Pour fédérer, animer et donner une vision globale à cette démarche, AIA Life Designers s'appuie sur une structure dédiée : AIA Environnement.

Au-delà des dispositifs environnementaux spécifiques à chaque projet, AIA Environnement veille à la transversalité des actions et à leur cohérence.

Les ambitions environnementales portées par la Ville de Châlons-en-Champagne et l'ensemble des acteurs du projet (PALC, musée) ont été intégrées et sont détaillées dans ce rapport.

Dans un contexte où la réglementation environnementale évolue en continu, la maîtrise d'œuvre technique se doit d'accompagner le musée et le projet dans cette dynamique de progrès, de sobriété et de frugalité.

## 2 CONTEXTE ET OBJECTIFS

En France, le bâtiment représente 23 % des émissions de gaz à effet de serre au niveau national. Face aux enjeux climatiques actuels, une trajectoire nationale neutralité carbone à tenir pour 2050 a été établie.

Le projet du Musée des Arts du Cirque et des Espaces de travail, de diffusion et de création du PALC de Châlons-en-Champagne est soumis à plusieurs réglementation et doit respecter les ambitions environnementales définies par la Maitrise d'ouvrage. Ces axes sont développés dans ce présent rapport.

### 2.1 REGLEMENTATION

#### 2.1.1 RE2020

Les musées ne sont à ce jour pas soumis à la réglementation environnementale RE2020. Or le bâtiment intègre un usage différent de son usage principal. L'article 2 du 4 aout 2021 indique :

« Art. 2. – Une partie de bâtiment peut être assimilée à l'usage principal du bâtiment, avec application des exigences associées, lorsque les conditions cumulatives suivantes sont remplies :



- la surface de référence de la partie de bâtiment considérée est inférieure à 150 m<sup>2</sup> et inférieure à 10 % de la surface de référence de l'usage principal du bâtiment ;
- la partie de bâtiment correspondant à l'usage principal est soumise au présent arrêté, ou à l'arrêté du 26 octobre 2010 susvisé, ou à l'arrêté du 28 décembre 2012 susvisé.

Une partie de bâtiment à usage de maison individuelle ne peut être assimilée à un autre usage. La surface de référence du bâtiment, notée S<sub>ref</sub>, est définie au X du chapitre I de l'annexe de l'article R. 172-4 du code de la construction et de l'habitation. Sauf mention contraire, il s'agit de la surface utilisée dans l'ensemble du présent arrêté. »

« N.B : La règle ci-dessus ne s'applique pas au cas particulier de locaux de petite taille (au sens de l'article 2 de l'arrêté du 4 aout 2021) situés dans des bâtiments dont les autres locaux ne sont pas soumis à la réglementation thermique. Le local de petite taille ne peut pas dans ce cas prendre l'usage des autres locaux. Il reste soumis à la réglementation thermique. »

L'administration à une surface utile (226 m<sup>2</sup>) de plus de 150 m<sup>2</sup>, même si sa surface est inférieure à 10% de la surface utile totale du projet (4462 m<sup>2</sup>).

Depuis la publication du décret n° 2026-16 du 15 janvier 2026, le champ d'application de la RE2020 est étendu. Les équipements sportifs sont donc soumis à la RE2020, ainsi le studio d'échauffement s'intègre dans cet usage il y est donc soumis

**Cela signifie donc que l'administration et le studio d'échauffement de ce bâtiment sont soumis à la RE2020.** Ce présent rapport intégrera donc les pré-études énergétiques et carbone liés aux enjeux de la réglementation.

#### 2.1.2 Eco Décret Tertiaire

Texte de loi : [Arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire - Légifrance](#)

Éco Énergie Tertiaire (EET) est une obligation réglementaire qui engage tous les acteurs du tertiaire vers la sobriété énergétique. Issue du décret tertiaire (article 175 de la loi Élan), elle impose une réduction progressive de la consommation d'énergie dans les bâtiments à usage

tertiaire afin de lutter contre le changement climatique. Elle concerne les bâtiments, parties de bâtiments ou ensemble de bâtiments, présentant une surface d'activités tertiaires (ou un cumul de surfaces) **égale ou supérieure à 1 000 m²**.

Les objectifs sont progressifs. Éco Énergie Tertiaire impose la réduction des consommations d'énergie finale de l'ensemble du parc tertiaire d'au moins -40 % en 2030, -50 % en 2040, -60 % en 2050 (par rapport à 2010). Ils peuvent être atteints suivant deux modalités alternatives, l'atteinte de l'objectif en valeur relatif (%) ou en valeur absolue ; dans le cas d'une construction neuve, la valeur absolue est retenue. Les valeurs à respecter sont fixées par arrêté avant le début de chaque décennie et les objectifs doivent être atteints à chaque échéance.

Cet arrêté définit les valeurs absolues du projet à ne pas dépasser par typologie d'espace tel que décrit dans le tableau suivant. Le tableau précise également le calcul de la valeur cible à ne pas dépasser.

| Famille décret                                           | Catégorie fine                                        | Surface (m²)    | Intensité cible (kWh/m²/an) | Conso cible (kWh/an)    |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------|
|                                                          | Musée - salle d'exposition                            | 2 014,71        | 101,79                      | 205 078,73              |
| Musée ou centre d'art avec protection patrimoniale       | Musée - valeur par défaut                             | 298,37          | 83,30                       | 24 853,22               |
|                                                          | Musée - salle d'animation audiovisuelle               | 148,32          | 106,21                      | 15 753,68               |
|                                                          | Musée - conservation sans contrôle hygrométrique      | 94,16           | 48,00                       | 4 519,68                |
|                                                          | Musée - conservation avec contrôle climatique complet | 83,04           | 78,00                       | 6 477,12                |
| <b>Total Musée</b>                                       |                                                       | <b>2 638,60</b> |                             | <b>256 682,43</b>       |
| Salle de spectacles vivants avec protection patrimoniale | Spectacle - salle de spectacle / création             | 1 090,76        | 119,98                      | 130 868,43              |
|                                                          | Spectacle - studio d'échauffement / répétition        | 167,43          | 75,01                       | 12 558,54               |
|                                                          | Spectacle - foyer et convivialité                     | 100,55          | 191,22                      | 19 227,14               |
|                                                          | Spectacle - stockage                                  | 92,29           | 48,39                       | 4 466,09                |
|                                                          | Spectacle - atelier technique                         | 82,35           | 80,22                       | 6 606,13                |
|                                                          | Spectacle - valeur par défaut                         | 45,35           | 87,00                       | 3 945,45                |
|                                                          | Spectacle - loges artistes                            | 41,03           | 167,49                      | 6 872,12                |
| <b>Total Spectacle</b>                                   |                                                       | <b>1 619,76</b> |                             | <b>184 543,90</b>       |
| Accueil / commun                                         | Accueil / parties communes - accueil public           | 844,03          | 66,86                       | 56 427,92               |
| <b>Total Accueil / commun</b>                            |                                                       | <b>844,03</b>   |                             | <b>56 427,92</b>        |
| Bureaux                                                  | Bureaux - standard                                    | 453,14          | 66,00                       | 29 907,24               |
| <b>Total Bureaux</b>                                     |                                                       | <b>453,14</b>   |                             | <b>29 907,24</b>        |
| <b>TOTAL GÉNÉRAL</b>                                     |                                                       | <b>5 555,52</b> |                             | <b>527 561,49</b>       |
|                                                          |                                                       |                 |                             | Conso cible (kWh/an.m²) |
|                                                          |                                                       |                 |                             | 94,96                   |

Figure 1 - Tableau des Cabs du décret tertiaire pour les musées et salle de spectacle vivant

**Le projet est donc soumis à l'Eco Décret Tertiaire et la valeur cible est de 95 kW/².an.**

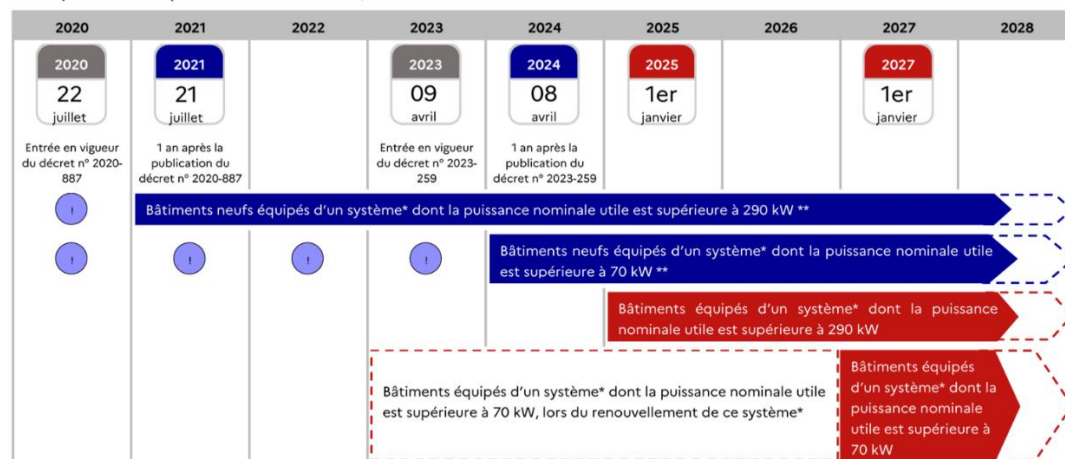
### 2.1.3 Décret BACS

Textes de loi :

- [Décret n° 2020-887 du 20 juillet 2020 relatif au système d'automatisation et de contrôle des bâtiments non résidentiels et à la régulation automatique de la chaleur](#)
- [Décret n° 2023-259 du 7 avril 2023 relatif aux systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments tertiaires](#)

Afin d'optimiser la performance énergétique des bâtiments, l'installation de systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments (BACS) est imposée pour tous les bâtiments tertiaires équipés de système de chauffage ou de climatisation, combiné ou non avec un système de ventilation, dont la puissance est supérieure à 290 kW ou 70 kW, selon le calendrier suivant :

Ces textes réglementaires visent à optimiser la performance énergétique des bâtiments en imposant l'installation de systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments (BACS) pour tous les bâtiments tertiaires équipés de système de chauffage ou de climatisation, combiné ou non avec un système de ventilation, dont la puissance est supérieure à 290 kW ou 70 kW, selon le calendrier suivant :



\* Système de chauffage ou de climatisation, combiné ou non avec un système de ventilation.

\*\* La date de dépôt de permis de construire faisant foi.

Les bâtiments pour lesquels le permis de construire a été déposé avant les dates d'entrée en vigueur des obligations pour les bâtiments neufs (à savoir le 22 juillet 2021 pour les puissances supérieures à 290 kW et le 09 avril 2024 pour les puissances supérieures à 70 kW) devront se mettre en conformité en tant que « bâtiments existants » avant le 1er janvier 2025 ou 2027, selon la puissance installée.

Figure 2 - Calendrier d'application du décret BACS (Guide d'application du décret BACS - Mai 2023)

**Le projet dispose d'une puissance d'installation supérieur à 290 kW, il est donc soumis au décret BACS.**

## 2.1.4 Loi AER – Loi Climat Résilience

Texte de loi : [Code de la construction et de l'habitation : article L171-4](#)

Lors de leur construction, de leurs extensions ou de rénovations lourdes, certains bâtiments – notamment à usage tertiaire – sont soumis à des obligations environnementales. Ils doivent intégrer, sur au moins 30 % de la surface de toiture ou sur les ombrières couvrant leurs aires de stationnement, un procédé de production d'énergies renouvelables (par exemple photovoltaïque ou solaire thermique) ou un système de végétalisation.

Ce pourcentage évoluera progressivement :

- 40 % à partir du 1er juillet 2026
- 50 % à partir du 1er juillet 2027

Ces obligations concernent les constructions neuves à usage commercial, industriel, artisanal, bureaux, entrepôts, hangars, équipements sportifs, de loisirs ou récréatifs, hôpitaux, bâtiments scolaires et universitaires.

Selon les articles R.151-27 et R.151-28 du Code de l'Urbanisme et l'arrêté du 10 novembre 2016 (NOR : LHAL1622621A), les constructions sont réparties en cinq destinations, dont « équipements d'intérêt collectif et services publics », incluant notamment :

- Équipements sportifs : gymnases, stades, piscines, salles de sport, patinoires...
- Équipements de loisirs ou récréatifs (définition non précisée dans le texte)
- Équipements culturels : musées, salles d'art et de spectacle

La Base Permanente des Équipements (BPE) de l'INSEE étaye une distinction en trois catégories :

- Équipements sportifs
- Équipements de loisirs

- Équipements culturels et socioculturels (dont les musées).

L'article R.171-32 du Code de la Construction et de l'Habitation précise :

« Un bâtiment est soumis aux obligations prévues aux I et III de l'article L.171-4 si au moins la moitié de sa surface de plancher est affectée à un ou plusieurs des usages mentionnés aux 1° et 2° du II de cet article, indépendamment de l'usage auquel est affectée sa toiture. »

Dans notre cas, le musée représente plus de 60 % de la surface de plancher (SDP) : il constitue donc l'usage principal du bâtiment, ce qui détermine le champ d'application.

Même si le musée représente plus de 60 % de la surface de plancher, il n'entre pas dans les usages listés au II de l'article L171-4.

**Le musée n'est pas soumis à l'obligation de solarisation ou végétalisation des toitures. Cependant une option photovoltaïque a été étudié dans le projet.**

## **2.2 EXIGENCES PROGRAMMATIQUES**

En complément des exigences réglementaires, le programme vise les ambitions suivantes en matière **de performance énergétique** :

- Intégrer une installation photovoltaïque afin de couvrir une partie des besoins en électricité.
- Prévoir le raccordement au réseau de chaleur urbain (RCU).
- Mettre en place une Gestion Technique Centralisée (GTC).
- Utiliser un éclairage 100 % LED.
- Assurer une gestion climatique optimisée pour le confort et la sobriété énergétique.

Les objectifs en matière **de performance environnementale** sont les suivants :

- Atteindre le niveau 1 du label Bâtiment Biosourcé (18 kg/m²), sans objectif de certification, tout en recherchant le niveau 2 (24 kg/m²).
- Mettre en place la récupération des eaux pluviales pour l'arrosage, le nettoyage et les sanitaires.
- Élaborer un plan d'approvisionnement favorisant les matériaux locaux et/ou biosourcés.
- Organiser un chantier à faible nuisance.

En termes de **confort des occupants**, le projet vise à :

- Limiter les périodes de surchauffe à moins de 2,5 % du temps annuel d'occupation dans les locaux à occupation prolongée lorsque la température dépasse 28 °C ou dans la zone de confort de Givoni.
- Réaliser une note de calcul pour évaluer l'autonomie en lumière naturelle.

Enfin, le projet se veut :

- Flexible et adaptable aux évolutions futures.
- Capable d'assurer un suivi des performances des systèmes CVC, de l'éclairage et de la consommation d'eau.
- Conçu pour réduire et optimiser les coûts d'entretien.
- Organisé de manière à minimiser les perturbations pour les utilisateurs.

## 2.3 **SYNTHESE DE LA DEMARCHE ENVIRONNEMENTALE**

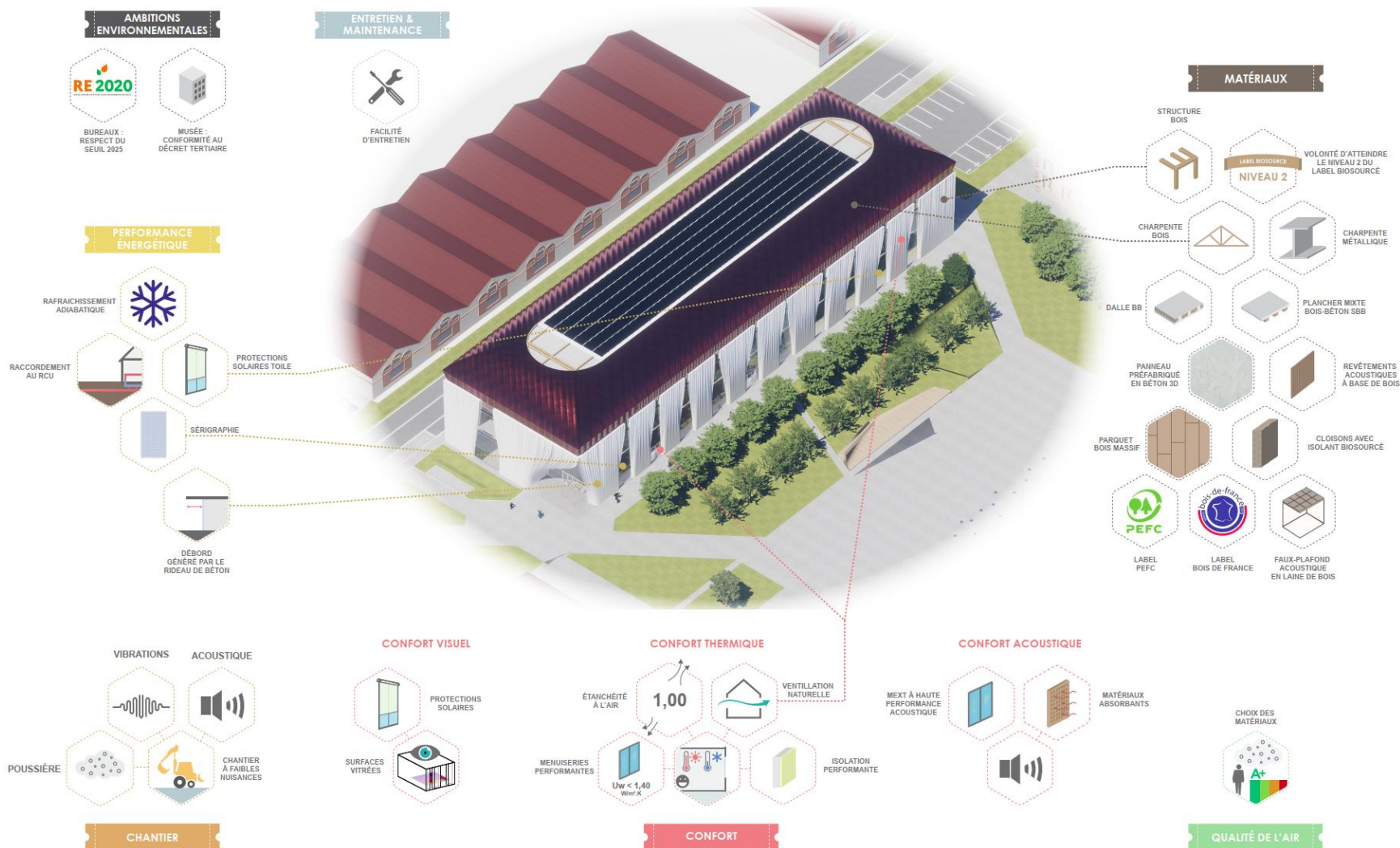
En cohérence avec les ambitions programmatiques et réglementaires, l'équipe vise à concevoir un projet exemplaire en matière de qualité environnementale.

Implanté sur un plan masse contraint par l'emprise d'un bâtiment existant au sein de l'ancienne caserne Chanzy, le projet contribue à la transformation et à la revitalisation du site, tout en s'inscrivant dans une dynamique urbaine et paysagère à l'échelle du quartier.

Notre stratégie environnementale repose sur trois axes majeurs :

- **Optimisation énergétique** : réduction des consommations grâce à des systèmes performants, une enveloppe efficace et un raccordement au réseau de chaleur urbain (RCU).
- **Confort des usagers** : garantir des conditions thermiques, acoustiques, visuelles et olfactives optimales, été comme hiver.
- **Choix des matériaux** : privilégier des solutions durables, bas-carbone, locales et issues de filières bio- ou géo-sourcées pour l'ensemble du bâtiment.

## 2.4 AXONOMETRIE ENVIRONNEMENTALE



La charpente en bois et certains éléments de finitions en bois du projet nécessitent l'arbitrage de la MOA.

### 3 QUALITE ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE DES MATERIAUX

#### 3.1 PLAN D'APPROVISIONNEMENT DES MATERIAUX



Afin de favoriser la filière locale et de réduire l'impact carbone des matériaux de construction, le projet fera appel à des fabricants localisés à moins de 350 km du site. Ce niveau d'exigence contribuera ainsi au développement de l'emploi et des savoir-faire en France.

La note d'approvisionnement ci-dessous recense les entreprises fournissant des matériaux locaux, biosourcés, recyclés et bas carbone disponibles dans la région du projet.

##### 3.1.1 Recensement des entreprises de la région

###### Le bois structurel



Le tableau suivant recense les entreprises de la région labellisées Bois de France susceptibles d'être utilisées en structure dans le cadre du projet. Il ressort de cette analyse que les scieries les plus proches identifiées se situent à environ 250 km du site. Selon les sources consultées, ces bois pourraient être mis en œuvre sous forme de lamellé-collé (BLC) et de bois massif.

| Provenance des bois   |                                      |      |              |               |                      |           |               |        |
|-----------------------|--------------------------------------|------|--------------|---------------|----------------------|-----------|---------------|--------|
| Identité fournisseurs |                                      |      |              |               |                      |           | Types de bois |        |
| Numéro                | Nom                                  | Dpt. | Région       | Distance site | Label Bois de France | Biosourcé | BLC           | Massif |
| 1                     | Scierie Roger                        | 45   | CVL          | 250 km        | Oui                  | Oui       | Oui           | Oui    |
| 2                     | Barrilet Sef                         | 45   | CVL          | 240 km        | Oui                  | Oui       | Oui           | Oui    |
| 3                     | Algave et fils                       | 62   | H. de France | 250 km        | Oui                  | Oui       | Oui           | Oui    |
| 4                     | FCB Charpente                        | 62   | H. de France | 260 km        | Oui                  | Oui       | Oui           | Oui    |
| 5                     | Mathis SAS                           | 67   | Grand Est    | 285 km        | Oui                  | Oui       | Oui           | Oui    |
| 6                     | Schiliger bois                       | 68   | Grand Est    | 310 km        | Oui                  | Oui       | Oui           | Oui    |
| 7                     | Syscoboïs                            | 21   | Bourg. F-C   | 290 km        | Oui                  | Oui       | Oui           | Oui    |
| 8                     | AMEXBOIS – Saint Nicolas Les Cîteaux | 21   | Bourg. F-C   | 270 km        | Oui                  | Oui       | Oui           | Oui    |
| 9                     | Bois et sciage de sougie             | 58   | Bourg. F-C   | 290 km        | Oui                  | Oui       | Oui           | Oui    |

###### La structure béton



Le tableau ci-dessous reprend les entreprises et centrale béton de la région proposant des bétons bas-carbone. On y retrouve la gamme de béton proposée et l'engagement du fournisseur.

| Provenance des bétons |                       |      |            |               |          |            |
|-----------------------|-----------------------|------|------------|---------------|----------|------------|
| Identité fournisseurs |                       |      |            |               |          |            |
| Numéro                | Produit / Fournisseur | Dpt. | Région     | Distance site | Gamme    | Engagement |
| 17                    | EQUIOM                | 51   | Grand Est  | 35            | EQUIOM-R | <110 kg/m3 |
| 18                    | Cemex                 | 77   | IDF        | 150           | Vertua   | <120 kg/m3 |
| 19                    | Lafarge               | 89   | Bourg. F-C | 200           | ECOPact  | <110 kg/m3 |
| 20                    | Vicat                 | 55   | Grand Est  | 90            | DECA     | <110 kg/m3 |

###### Les isolants biosourcés



Le tableau ci-dessous reprend les entreprises fournissant des isolants biosourcés dans la région. Concernant l'isolant Pavatex de Soprema, il s'agit de l'isolant utilisé pour le plancher bois-béton, il est réalisé à base bois recyclé.

| Provenance des Isolants |      |              |               |                     |           |                       |
|-------------------------|------|--------------|---------------|---------------------|-----------|-----------------------|
| Identité fournisseurs   |      |              |               |                     |           | Types d'isolant       |
| Produit / Fournisseur   | Dpt. | Région       | Distance site | Label               | Biosourcé |                       |
| Knauf                   | 68   | Grand Est    | 320           | PEFC                | Oui       | Laine de bois / Coton |
| LE RELAIS METISSE       | 62   | H. de France | 240           | PEFC                | Oui       | Coton                 |
| Pavatex Soprema         | 88   | Grand Est    | 220           | PEFC/Bois de France | Oui       | Fibre de bois         |
| Steico                  | 67   | Grand Est    | 300           | PEFC                | Oui       | Fibre de bois         |

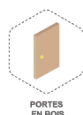
## Les bois de finition



Le tableau ci-dessous recense les entreprises proposant des bois de finition à proximité du projet. L'un des apports significatifs de matière biosourcée du projet provient du parquet en bambou prévu dans les espaces d'exposition. L'entreprise pressentie pour la fourniture de ce parquet est située en dehors du territoire français, mais bénéficie des labels PEFC/FSC.

| Provenance des bois   |                       |      |               |               |                      |               |         |                   |
|-----------------------|-----------------------|------|---------------|---------------|----------------------|---------------|---------|-------------------|
| Identité fournisseurs |                       |      |               |               |                      | Types de bois |         |                   |
| Numéro                | Nom                   | Dpt. | Région        | Distance site | Label Bois de France | Biosourcé     | Parquet | Habillage en bois |
| 10                    | Scierie forêt vivante | 62   | H. de France  | 110 km        | Oui                  | Oui           | Non     | Oui               |
| 11                    | Moso Bambou           |      | International |               | FSC                  | Oui           | Oui     | Non               |

## Menuiserie intérieure



Pour les menuiseries intérieures, une seule entreprise est à ce jour recensée qui fournit et des cloisons vitrées en bois et de menuiseries intérieures en bois. Ce document est évolutif et intégrera les différentes évolutions possibles.

| Provenance des menuiseries |         |      |        |               |                      |           |
|----------------------------|---------|------|--------|---------------|----------------------|-----------|
| Identité fournisseurs      |         |      |        |               |                      |           |
| Numéro                     | Nom     | Dpt. | Région | Distance site | Label Bois de France | Biosourcé |
| 12                         | MALERBA | 69   | AURA   | 450           | Non                  | Oui       |

Le plan d'approvisionnement des matériaux du projet démontre une volonté claire de privilégier des filières locales, responsables et bas carbone. L'analyse menée met en évidence la disponibilité, dans un rayon compatible avec les exigences fixées (350 km), de nombreux fournisseurs régionaux capables de répondre aux besoins du projet en bois structural, bétons bas carbone, isolants biosourcés et bois de finition.

Les matériaux bois, majoritairement labellisés Bois de France et PEFC, constituent un levier majeur de réduction de l'empreinte carbone tout en soutenant la valorisation des savoir-faire locaux.

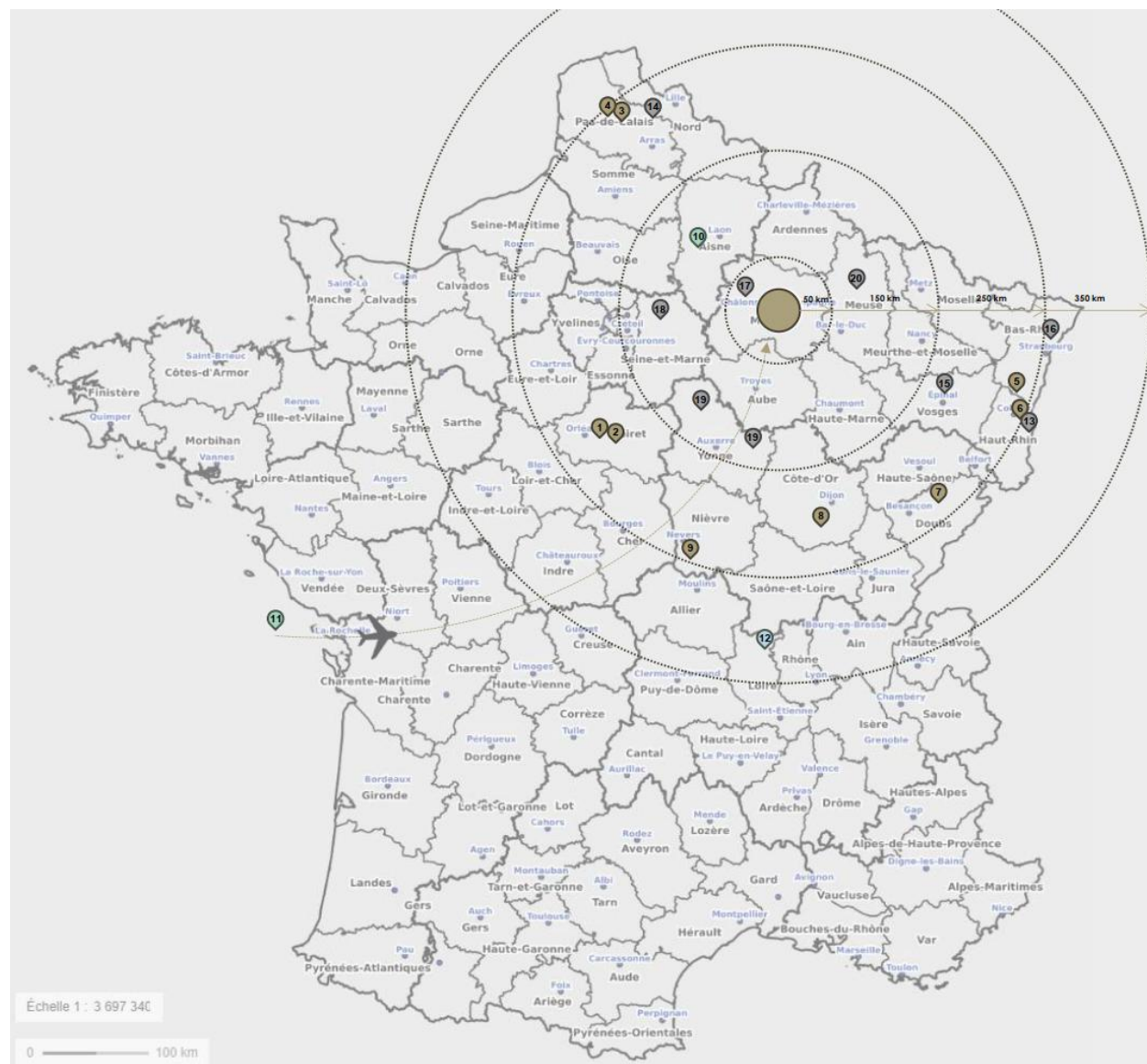
Les solutions béton bas carbone proposées par les centrales régionales permettent par ailleurs de concilier performance structurelle et réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

Le recours à des isolants biosourcés issus de matières recyclées ou renouvelables renforce l'ambition environnementale du projet. Contrairement aux autres matériaux, l'isolant Pavatex recyclé de Soprema est celui qui est utilisé dans la technologie des dalles Bois-Béton.

Avec quelques exceptions ponctuelles, notamment pour certains lots spécifiques comme le parquet en bambou issu de filières internationales labellisées ou encore les menuiseries intérieures avec un seul fournisseur pour le moment identifié.

Ce document, évolutif, constitue une base pour un approvisionnement vertueux et pourra être ajusté au fil des phases du projet afin d'intégrer de nouvelles opportunités locales et d'optimiser l'impact environnemental global de l'opération.

### 3.1.2 Cartographie d'approvisionnement



#### Matériaux structuraux

##### Les bois

- 1 Scierie Roger
- 2 Barillet Sef
- 3 Algave et fils
- 4 FCB Charpente
- 5 Mathis SAS
- 6 Schiliger bois
- 7 Syscobois
- 8 AMEXBOIS – Saint Nicolas Les Citeaux
- 9 Bois et sciage de sougje



##### Les bétons

- 17 Eqiom
- 18 Cemex
- 19 Lafarge
- 20 Vicat



#### Matériaux clos couvert

- 13 Knauf
- 14 Le Relais Métisse
- 15 Pavatex Soprema
- 16 Steico



#### Matériaux de finition

- 10 Scierie forêt vivante
- 11 Moso Bamboo INTERNATIONAL
- 12 Malerba



## 3.2 QUALITE DE L'AIR INTERIEUR



Le projet se doit être exemplaire sur les enjeux de santé collective. Ainsi, les matériaux intérieurs, en particulier les revêtements de sols, murs, plafonds, sont souvent émetteurs de particules dans l'air, notamment des composés organiques volatils (COV) et des formaldéhydes. Il convient donc de choisir les matériaux les plus sains. Pour cela, nous nous appuyons notamment sur l'étiquetage sanitaire A+ (selon l'arrêté du 19 avril 2011) et sur l'ECOLABEL EUROPEEN attestant de leur contribution à la qualité de l'air intérieur.

Les préconisations faites en PRO/DCE indiqueront les labels suivants dans les différents CCTP concernés :

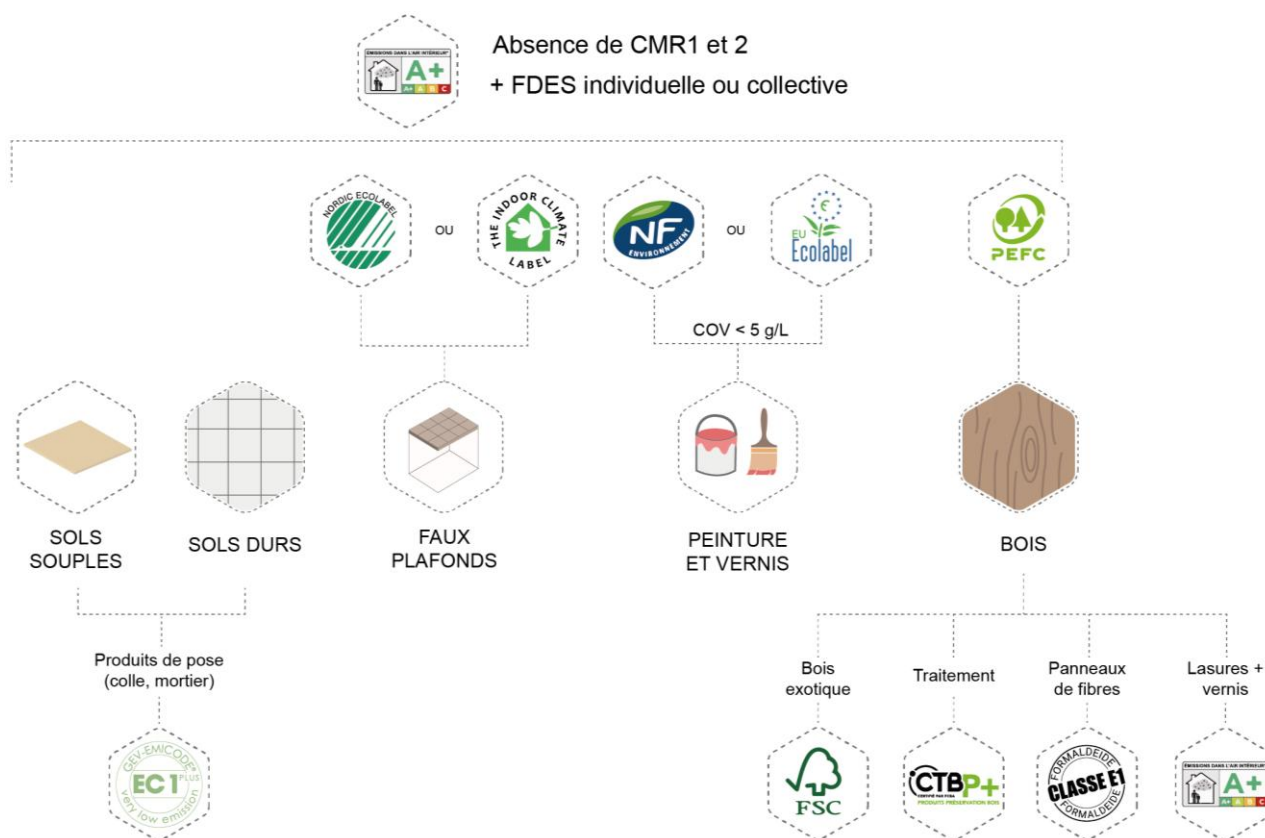


Figure 3 - Schéma de qualité de l'air liée aux matériaux

### 3.3 PRE-ETUDE CARBONE

#### 3.3.1 Objectifs de l'étude

La réglementation environnementale RE2020, applicable aux bâtiments neufs depuis 2022, vise la généralisation progressive des bâtiments à faible empreinte carbone sur l'ensemble de leur cycle de vie, de la conception à la démolition. Elle s'appuie sur les retours d'expérience de l'expérimentation HQE Performance (pour la partie carbone) et du label E+C-.

Le dépôt du permis de construire étant prévu pour septembre 2026, ce sont les seuils 2025 qui s'appliqueront. Ces seuils sont particulièrement exigeants, tant pour l'indicateur IC<sub>Construction</sub> que pour IC<sub>Energie</sub>. Cela implique un accompagnement environnemental renforcé de l'équipe de conception architecturale et technique, afin de proposer des produits et matériaux décarbonés, en cohérence avec l'ambition du maître d'ouvrage et dans le respect de l'enveloppe budgétaire.

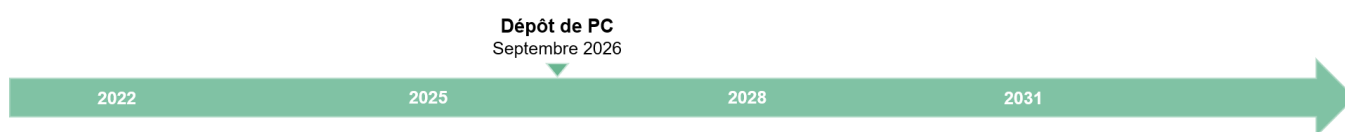


Figure 4 : Chronologie d'application de la RE2020 – Décret janvier 2026

#### 3.3.2 Logiciel interne – DécarbONE+ Neuf

Afin de vérifier nos intentions en faveur d'une faible empreinte carbone et de montrer les bénéfices d'une telle opération de rénovation, nous avons procédé à une première analyse carbone, à l'aide de l'outil interne DécarbONE+. Celui-ci se base sur la collecte de nombreuses données issues des retours d'expérience et d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) déjà menées sur des projets comparables. Il est alimenté par les données environnementales officielles de la base de données INIES.

En saisissant des données générales sur le bâtiment, son historique, sa morphologie, son mode constructif et les prestations prévues, il donne un ordre de grandeur du bilan carbone et de la répartition entre les différents lots.

Pour rappel, l'ACV est une méthode d'évaluation normée (ISO 14 040 et 14 044) permettant de réaliser un bilan environnemental multicritère tout au long de son cycle de vie.



#### 3.3.3 Méthodologie de calcul

##### Périmètre de l'étude

Comme évoqué en introduction, la RE2020 ne concerne que :

- **L'administration situé au niveau 1**
- **Le studio d'échauffement qui s'étend du sous-sol au PH R+1**

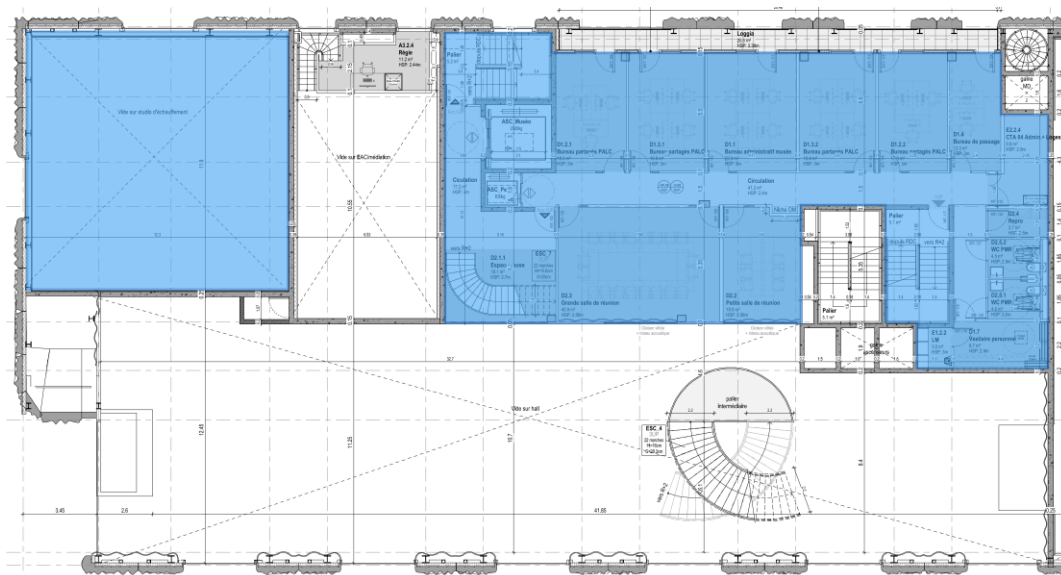


Figure 5 - Administration au R+1 et Studio d'échauffement au R+1

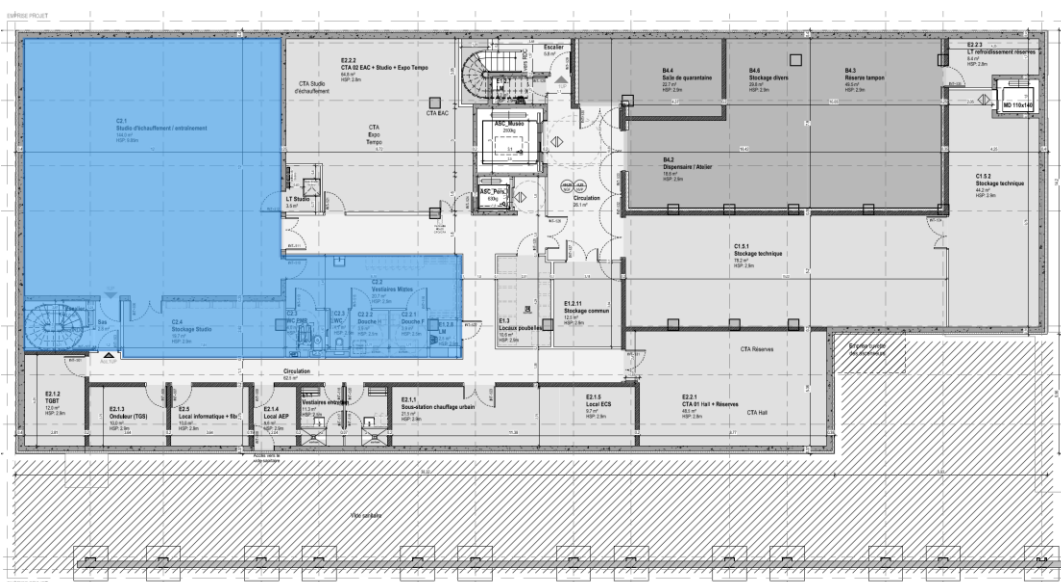


Figure 6- Studio d'échauffement au Sous-Sol

Un travail préalable a été mené pour définir comment sont affectés (ou non) à la RE2020 les différents éléments du projet. En effet la description des éléments techniques de l'administration est assez particulière, car il s'agit d'un élément faisant partie intégrante de l'ensemble du bâtiment. Il partage donc les fondations du projet, la toiture, les ascenseurs, etc.

L'Annexe II de l'arrêté du 4 août 2021 (section 4.2.1.1.4) définit les règles d'affectation des composants à une entité programmatique en 5 principes :

- **Composant affecté à une seule entité** (Principe 1) : Lorsqu'un composant est exclusivement lié à une entité programmatique, il est entièrement intégré au calcul pour cette entité et n'est pas réparti sur les autres. C'est le cas notamment de la façade donnant sur la loggia et des cloisons de l'administration par exemple.
- **La répartition des appareils élévateurs** (Principe 2)
- **La répartition des aires de stationnement** (Principe 3) (Non concerné dans notre projet)
- **Équipements mutualisés de production d'énergie** (Principe 4)

- **Composants mutualisés** (Principe 5). Ce principe s'applique lorsque les quatre principes précédents ne peuvent pas être utilisés. Il concerne par exemple la toiture, dont l'impact carbone doit être réparti entre les différentes entités. Ainsi, la part attribuée à l'administration correspond au poids carbone global de la toiture multipliée par le ratio  $S_{UADM}/S_{Uprojet}$  (surface utile de l'administration sur la surface utile totale du projet).

## Surface de référence

|                       | SU (m²) |
|-----------------------|---------|
| Administration        | 237     |
| Studio d'échauffement | 204     |
| Projet                | 4464    |

## Contributeurs

Le calcul RE2020 intègre les contributeurs/lots suivants :

- |                                          |                                           |
|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1. VRD                                   | 7. Revêtement de sols, murs et plafonds – |
| 2. Fondations et structure               | Chape – Peintures – Produits de           |
| 3. Superstructure – Maçonnerie           | décoration                                |
| 4. Couverture – Etanchéité – Charpente – | 8. CVC                                    |
| Zinguerie                                | 9. Installations sanitaires               |
| 5. Cloisonnement – Doublage – Plafonds   | 10. Réseaux d'énergie                     |
| suspendus – Menuiseries intérieures      | 11. Réseaux de communication              |
| 6. Façades et menuiseries extérieures    | 12. Appareil élévateur                    |
|                                          | 13. Équipement de production locale       |
|                                          | d'électricité                             |

Chantier

La valeur  $IC_{Construction}$  intègre donc le poids carbone des composants détaillés dans les 13 lots précédents ainsi que les émissions liées au chantier.

A cela vient également s'ajouter : l' $IC_{Energie}$  pour le calcul des émissions de GES lié à la consommation d'énergie du bâtiment.

## Données d'entrée de la modélisation

### Les quantités et hypothèses

Pour tous les lots du contributeur  $IC_{Construction}$  nous avons utilisé :

- Des métrés réalisés sur plan et maquette
- Des tableaux de menuiseries
- Des quantitatifs des équipements et matériaux utilisés selon les réparages des économistes et des lots techniques

La valeur  $IC_{Energie}$  est évaluée à l'aide des consommations énergétiques issues du calcul réglementaire.

## Données environnementales

Les produits et matériaux ont été associés à des données environnementales, provenant de la base de données INIES. Decarbhone+ intègre en plus des retours d'expérience de nos opérations les impacts des types de fiches suivantes :

- Les Modules de Données Spécifiques (FDES spécifiques ou collectives) portent sur un ou plusieurs produits pour lesquels le garant de la mise sur le marché (industriels ou syndicat) est responsable de sa production et de sa mise à jour. Ce type de donnée correspond à un processus de fabrication et de mise en œuvre bien spécifique en fonction de l'industriel. Dans le cas des données éditées par un syndicat, les impacts environnementaux correspondent à une moyenne entre les différents produits des industriels adhérant à ce syndicat.
- Les Modules de Données Configurées (Fiche configurées) sont spécifiques au projet et sont créées sur un configurateur. Un configurateur est un outil en ligne proposant de paramétrer des déclarations environnementales (dimensions, composition, ...) afin d'obtenir des déclarations environnementales adaptées à un projet.
- Les Modules de Données Environnementales Génériques par Défaut (MDEGD) sont utilisés en cas d'absence de données spécifiques. Ces modules, mis à disposition par le ministère en charge de la construction, sont les plus pénalisantes. Les impacts liés à l'utilisation de ce type de donnée sont représentatifs des valeurs maximales majorées pour une famille de produit.
- Les Données Environnementales de Service (DES) expriment les impacts environnementaux liés à la mise à disposition d'un service (quantité d'énergie finale, quantité d'eau, traitement des eaux usées).
- Les Valeurs Forfaitaires, utilisées pour les lots techniques (CVC, PB, CFO, CFA).

## Données configurées des bétons

À ce stade, les bétons modélisés ont été caractérisés sur la base de retours d'expérience de plus de 100 projets. Leurs caractéristiques sont précisées dans le tableau ci-après :

| Ouvrages en béton         | Ratio<br>[kg/m3] | Classe de<br>résistance | Classe<br>d'exposition | Impact<br>dynamique<br>CEM II<br>Avec armature | Impact<br>dynamique<br>CEM III<br>Avec armature |
|---------------------------|------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Fondations profondes      | 40               | C30/37                  | XC2                    | 324                                            | 241                                             |
| Fondations superficielles | 60               | C25/30                  | XC2                    | 283                                            | 263                                             |
| Longrines                 | 200              | C25/30                  | XC2                    | 448                                            | 381                                             |
| Dallage                   | 30               | C25/30                  | XC3                    | 248                                            | 189                                             |
| Dalle portée              | 80               | C25/30                  | XC1                    | 307                                            | 249                                             |
| Voiles enterrées          | 60               | C25/30                  | XC2                    | 279                                            | 218                                             |
| Poteaux                   | 100              | C25/30                  | XC1                    | 346                                            | 275                                             |
| Poutres                   | 150              | C25/30                  | XC1                    | 384                                            | 323                                             |
| Voiles intérieurs         | 60               | C25/30                  | XC1                    | 297                                            | 236                                             |
| Voiles façades            | 60               | C25/30                  | XC3                    | 303                                            | 229                                             |

### 3.3.4 Résultats de l'étude

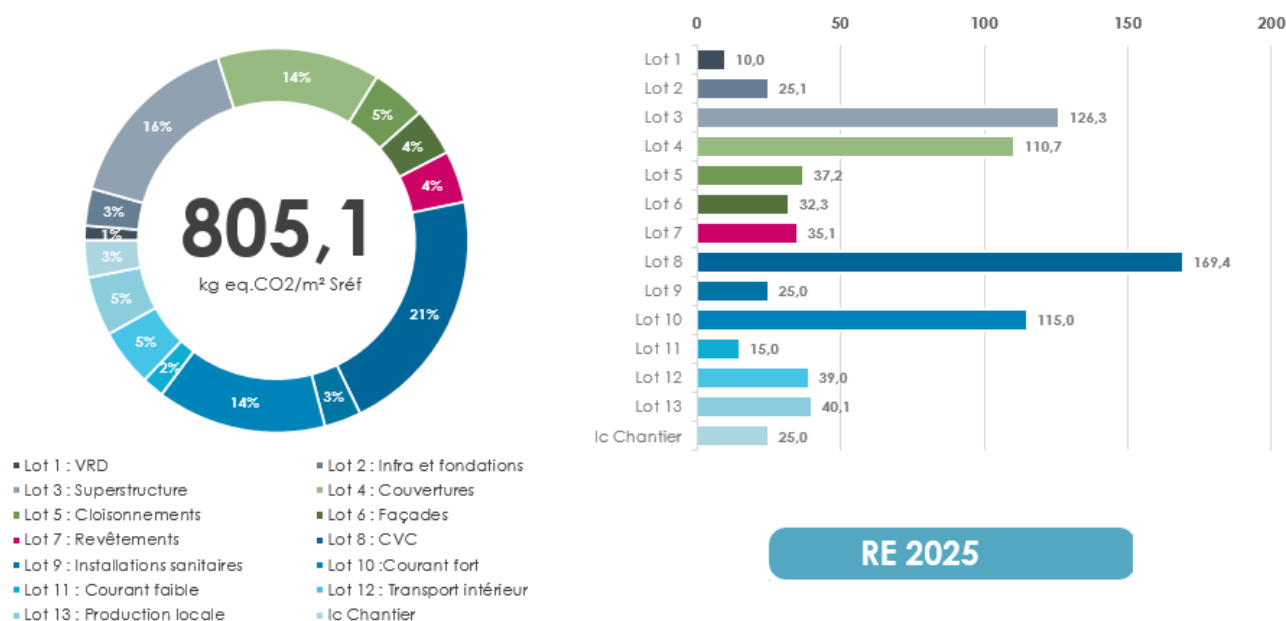
#### Administration

L'approche pluridisciplinaire a permis d'intégrer des éléments bas carbone sur le projet et plus particulièrement sur l'administration. Les résultats ci-dessous intègrent les solutions techniques telles qu'elles ont été définies par l'équipe de maîtrise d'ouvrage. Elle met notamment en œuvre :

- Une dalle BB sur l'ensemble du R+1 du musée (Administration)
- Une charpente bois-métal
- Du béton moins carboné de type CEM III dans les éléments constructifs du projet (voiles, poteaux et poutres)
- Une isolation biosourcée dans les cloisons de l'administration
- Des faux plafonds absorbants en fibre de bois

Ces impacts sont majoritairement dû à la superstructure qui emploie une grande quantité de béton étant donné la densité de voile intérieurs présent sur cet étage. Le lot CVC occupe aussi un poids important. Pour le moment la valeur forfaitaire est utilisée pour les lots techniques. La décomposition du lot CVC en intégrant les données de la DPGF pourrait permettre d'améliorer le poids de ce poste.

Les émissions de GES sont réparties de la façon suivante :



Les seuils d'application de la RE2020 pour ce projet sont les suivants :

2022-2024 : 995 kg éq CO2/m²  
2025-2027 : 823 kg éq CO2/m²  
2028-2030 : 721 kg éq CO2/m²  
2031 : 610 kg éq CO2/m²

Le permis de construire sera déposé en 2026, le seuil d'application à respecter de la RE2020 est le seuil 2025. **Le projet respecte ce seuil 2025 sur le volet construction.**

Le seuil énergie de 2025 est de 342.4 kgCO2/m².an. La valeur IC<sub>Énergie</sub> calculée sur la base des études thermiques détaillées au paragraphe 5.2 est de 229 kgCO2/m².an ce qui est en dessous de la valeur seuil. **L'administration respecte donc bien la RE2020 sur le volet énergie.**

**La partie administration est conforme à la RE2020.**

En comparant aux résultats APS on constate les évolutions suivantes :

| Lots ACV                         | APS        | APD        | Ecart        | Justification                                                              |
|----------------------------------|------------|------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Lot 1 : VRD                      | 10,0       | 10,0       | 0,0          | -                                                                          |
| Lot 2 : Infra et fondations      | 40,7       | 25,1       | -38%         | Répartition ajustée sur l'ensemble du bâtiment                             |
| Lot 3 : Superstructure           | 180,3      | 126,3      | -30%         | Réduction du volume de béton sur l'espace d'administration                 |
| Lot 4 : Couvertures              | 73,0       | 110,7      | 52%          | Intégration des doubles épaisseurs d'isolant et du bac acier de la toiture |
| Lot 5 : Cloisonnements           | 62,0       | 37,2       | -40%         | Réduction de la surface de cloison vitrée                                  |
| Lot 6 : Façades                  | 28,8       | 32,3       | 12%          | Intégration du complexe de façade EDR                                      |
| Lot 7 : Revêtements              | 37,3       | 35,1       | -6%          | -                                                                          |
| Lot 8 : CVC                      | 169,4      | 169,4      | 0%           | -                                                                          |
| Lot 9 : Installations sanitaires | 25,0       | 25,0       | 0%           | -                                                                          |
| Lot 10 : Courant fort            | 115,0      | 115,0      | 0%           | -                                                                          |
| Lot 11 : Courant faible          | 15,0       | 15,0       | 0%           | -                                                                          |
| Lot 12 : Transport intérieur     | 41,4       | 39,0       | -6%          | -                                                                          |
| Lot 13 : Production locale       | 0,0        | 40,1       | 100%         | Intégration du photovoltaïque en option                                    |
| Ic Chantier                      | 25,0       | 25,0       | 0%           | -                                                                          |
| <b>Total Ic construction</b>     | <b>823</b> | <b>805</b> | <b>-2.2%</b> | Mise à jour de la SU étude carbone = 223m² APS – 237m² APD                 |

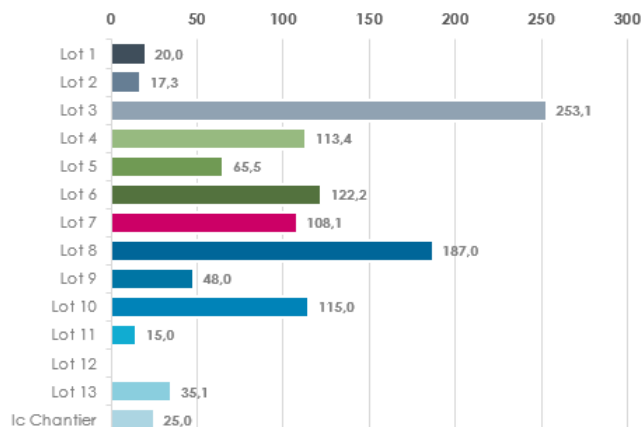
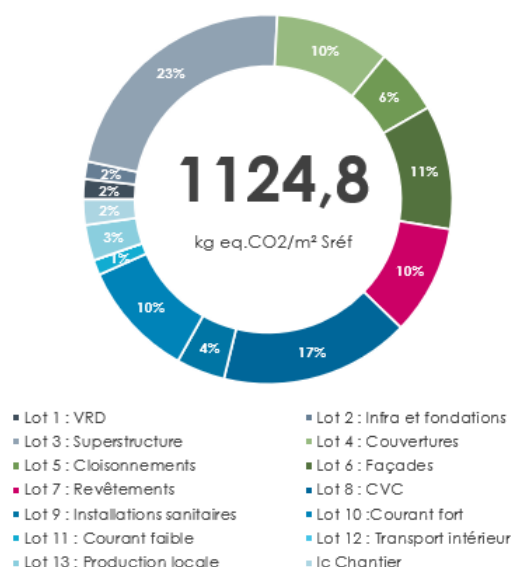
## Studio d'échauffement

L'approche pluridisciplinaire a permis d'intégrer des éléments bas carbone sur le projet et plus particulièrement sur le studio d'échauffement. Les résultats ci-dessous intègrent les solutions techniques telles qu'elles ont été définies par l'équipe de maîtrise d'œuvre. Elle met notamment en œuvre :

- Une charpente bois-métal
- Du béton moins carboné de type CEM III dans les éléments constructifs du projet (voiles, poteaux et poutres)
- Une isolation biosourcées dans les cloisons

Ces impacts sont majoritairement dû à la superstructure qui emploie une grande quantité de béton car toute l'ossature est en béton et s'étend sur des grandes hauteurs de plafond. De plus dans le lot revêtement a été intégré les 8,5 tonnes d'acier du faux grill qui représente près de 64 kg CO<sub>2</sub>éq/m²SU. Le lot CVC occupe aussi un poids important. Pour le moment la valeur forfaitaire est utilisée. La décomposition du lot CVC en intégrant les données de la DPGF pourrait permettre d'améliorer le poids de ce poste.

Les émissions de GES sont réparties de la façon suivante :



**RE 2025**

Les seuils d'application de la RE2020 pour ce projet sont les suivants :

|                |             |
|----------------|-------------|
| RE 2022        | -           |
| <b>RE 2025</b> | <b>1144</b> |
| RE 2028        | 966         |
| RE 2031        | 788         |

Le permis de construire sera déposé après le mois de mai 2026, le seuil d'application à respecter de la RE2020 est le seuil 2025. **Le studio d'échauffement assimilé à un usage de gymnase respecte donc le seuil 2025 de la RE2020.**

Le seuil énergie de 2025 est de 588 kgCO2/m².an. La valeur IC<sub>Énergie</sub> calculée sur la base des études thermiques détaillées au paragraphe 5.2 est de 550 kgCO2/m².an ce qui est en dessous de la valeur seuil. **Le studio d'échauffement respecte donc bien la RE2020 sur le volet énergie.**

**La partie studio d'échauffement est conforme à la RE2020.**



### 3.4.2 Calcul de la quantité de matière biosourcé

Le programme demande à minima le respect du niveau 1 du label Biosourcé de 2014. Ce label impose des seuils spécifiques pour notre usage, à savoir les suivants :

- Niveau 1 = 18 kg/m<sup>2</sup>
- Niveau 2 = 24 kg/m<sup>2</sup>
- Niveau 3 = 36 kg/m<sup>2</sup>

Nous avons réalisé une étude en calculant la quantité de matériaux biosourcés conformément à la méthodologie du label Biosourcé 2014.

En phase concours, la forte proportion de bois dans la structure nous plaçait largement au-delà du niveau 3 du label biosourcé. En phase APS nous avons présenté un projet avec une moins-value au niveau de la quantité de bois structurel. En APD le bois structurel a pris une part plus importante dans le projet.

La surface de référence SDP a également été mis à jour SDP = 5194 m<sup>2</sup>.

Le tableau suivant réunit l'ensemble des produits identifier et de leur quantité de matière biosourcé

| FONCTION                                                     | PRODUIT                                                                                      | Valeur PROJET       | RATIO (par défaut)     | MASSE DE MATIERE BIOSOURCEE CORRESPONDANTE |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------------------------|
| STRUCTURE, MACONNERIE, GROS ŒUVRE, CHARPENTE                 | Charpente traditionnelle en bois                                                             | 38 m3               | 455 kg/m3              | 17290 kg                                   |
|                                                              | Strucutre plancher SBB                                                                       | 148 m3              | 455 kg/m3              | 67386 kg                                   |
|                                                              | Plancher mixte bois béton                                                                    | 232 m <sup>2</sup>  | 9 kg/m <sup>2</sup>    | 2091 kg                                    |
| REVETEMENTS DE SOLS, MURS, PEINTURES, PRODUITS DE DECORATION | Plinthes en bois                                                                             | 172 m <sup>2</sup>  | 1 kg/m <sup>2</sup>    | 172 kg                                     |
|                                                              | Parquet bois massif                                                                          | 2003 m <sup>2</sup> | 9 kg/m <sup>2</sup>    | 18230 kg                                   |
|                                                              | Linoléum                                                                                     | 455 m <sup>2</sup>  | 1,52 kg/m <sup>2</sup> | 690 kg                                     |
| MENUISERIES INTERIEURES ET EXTERIEURES, FERMETURES           | Huisseries en bois                                                                           | 172                 | 10 kg/unité            | 1720 kg                                    |
|                                                              | Portes intérieures en bois                                                                   | 172                 | 12,5 kg/unité          | 2150 kg                                    |
| ISOLATION                                                    | Isolants à base de fibres végétales (chanvre, lin, coton, ouate de cellulose, fibre de bois) | 167 m3              | 25 kg/m3               | 4173 kg                                    |
|                                                              | Fibre de bois / Organic mineral                                                              | 2735 m <sup>2</sup> | 7 kg/m3                | 18709 kg                                   |
| DIVERS                                                       | Habillage en bois muret                                                                      | 5 m3                | 480 kg/m3              | 2525 kg                                    |
| Masse totale de matière biosourcée PROJET                    |                                                                                              |                     |                        | 135135 kg                                  |
| Ratio de matière biosourcée PROJET                           |                                                                                              |                     |                        | 26,0 kg/m <sup>2</sup>                     |
| Bâtiment éligible au label biosourcé                         |                                                                                              |                     |                        | OUI                                        |
| Niveau du label atteignable                                  |                                                                                              |                     |                        | 2ème niveau 2013                           |

Le projet atteint donc un taux de matière biosourcé de l'ordre de 26 kg/m<sup>2</sup>. L'intégration de matériaux biosourcés dans le projet permet d'atteindre le **niveau 2** du label Biosourcé 2014 de 24 kg/m<sup>2</sup>.

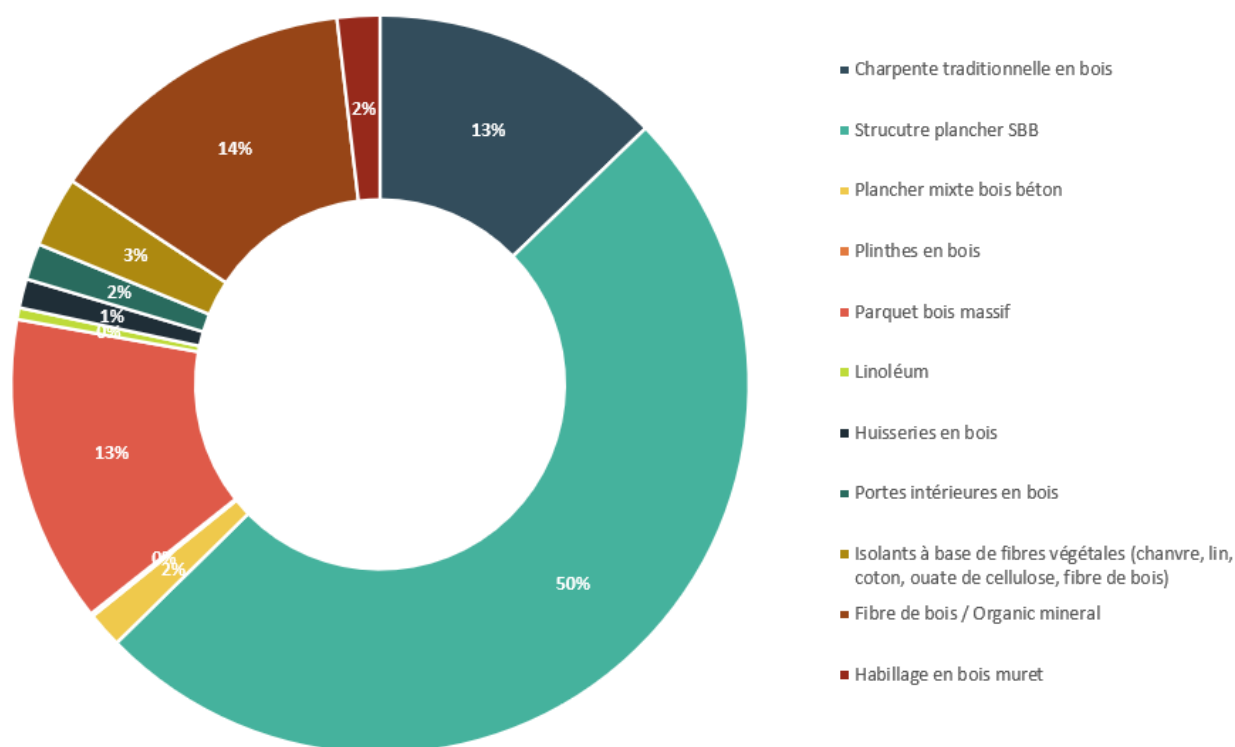
Les objectifs programmatiques sont donc respectés et les ambitions sont atteintes.

A noter : le label « Bâtiment Biosourcé » a évolué en 2024. Il ne s'agit plus uniquement de calculer la quantité de matériaux biosourcés intégrés dans le bâtiment (en kg/m<sup>2</sup>), mais désormais de

quantifier le carbone biogénique stocké par ces matériaux. Cette approche vise à mieux valoriser le rôle des matériaux biosourcés dans la réduction de l'empreinte carbone.

La répartition de matière est la suivante :

#### Biosourcé



## 4 GESTION DES EAUX

### 4.1 SOLUTIONS HYDRO-ECONOMES

Le projet intégrera des solutions hydro-économe afin de réduire la consommation en eau du bâtiment :

- Lavabos : mitigeur temporisé 3L/min
- Chasses d'eau : chasse directe double touche 3/6L
- Douche : mitigeur temporisé 6L/min,

### 4.2 ESTIMATION DES CONSOMMATIONS

La consommation d'eau est estimée dans le tableau suivant :

| Usage                             | Effectif | Besoins                   | Consommation<br>appareil (L/min) | Nombre<br>ou min | Fréquence<br>Quotidienne | Consommation<br>quotidienne (L/J) | Fréquence |      | Consommation<br>Annuelle<br>(m3/an) |
|-----------------------------------|----------|---------------------------|----------------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------|------|-------------------------------------|
|                                   |          |                           |                                  |                  |                          |                                   | J/S       | S/An |                                     |
| Administration                    | 16       | Robinet/lavabos/<br>évier | 3                                | 0,25             | 4                        | 48                                | 5         | 47   | 11,3                                |
|                                   |          | Sanitaire 3L/6L           | 3,5                              | 1                | 3                        | 168                               | 5         | 47   | 39,5                                |
|                                   |          | Hydratation               | 2                                | 1                | 1                        | 32                                | 5         | 47   | 7,5                                 |
|                                   |          | Total                     |                                  |                  |                          | 248                               | 5         | 47   | 58,3                                |
|                                   |          |                           |                                  |                  |                          |                                   |           |      |                                     |
| Studio<br>d'échauffement-<br>PALC | 36       | Douche                    | 6                                | 6                | 1                        | 1296                              | 5         | 47   | 304,6                               |
|                                   |          | Robinet/lavabos/<br>évier | 3                                | 0,25             | 4                        | 108                               | 5         | 47   | 25,4                                |
|                                   |          | Sanitaire 3/6L            | 3,5                              | 1                | 3                        | 378                               | 5         | 47   | 88,8                                |
|                                   |          | Hydratation               | 2                                | 1                | 1                        | 72                                | 5         | 47   | 16,9                                |
|                                   |          | Total                     |                                  |                  |                          | 1854                              | 5         | 47   | 435,7                               |
|                                   |          |                           |                                  |                  |                          |                                   |           |      |                                     |
| Exposition                        | 374      | Robinet/lavabos/<br>évier | 6                                | 0,25             | 0,25                     | 140,3                             | 5         | 52   | 36,5                                |
|                                   |          | Sanitaire 3/6L            | 3,5                              | 1                | 0,75                     | 981,8                             | 5         | 52   | 255,3                               |
|                                   |          | Urinoir                   | 2                                | 1                | 0,25                     | 187,0                             | 5         | 52   | 48,6                                |
|                                   |          | Total                     |                                  |                  |                          | 1309,0                            | 5         | 52   | 340,3                               |
|                                   |          |                           |                                  |                  |                          |                                   |           |      |                                     |
| Studio de création -<br>PALC      | 800      | Robinet/lavabos/<br>évier | 6                                | 0,25             | 0,25                     | 300,0                             | 2         | 52   | 31,2                                |
|                                   |          | Sanitaire 3/6L            | 3,5                              | 1                | 0,75                     | 2100,0                            | 2         | 52   | 218,4                               |
|                                   |          | Urinoir                   | 2                                | 1                | 0,25                     | 400,0                             | 2         | 52   | 41,6                                |
|                                   |          | Total                     |                                  |                  |                          | 2800,0                            | 2         | 52   | 291,2                               |
|                                   |          |                           |                                  |                  |                          |                                   |           |      |                                     |
| Total projet                      |          |                           |                                  |                  |                          | 6211,0                            |           |      | 1125,5                              |
| Total projet Non potable          |          |                           |                                  |                  |                          | 4214,8                            |           |      | 692,2                               |

**La consommation d'eau du bâtiment est 1125,5 m3/an**, elle intègre également le besoin en eau pour les événements du PALC et de la mairie dans le studio de création.

La consommation d'eau non potable potentiellement utilisable dans les sanitaires du bâtiment est égale à 692,2 m3.

| Entretien nettoyage                                |           |       |
|----------------------------------------------------|-----------|-------|
| Surface à nettoyer                                 |           | 4984  |
| Besoin en eau (litre) journalier pour 100m² de sol |           | 12    |
| Consommation journalière totale (litres/jours)     |           | 598,1 |
| Consommation annuelle totale (m3/an)               | 208 jours | 124,4 |

**La consommation d'eau liée à l'entretien des sols est estimée à 124,4 m3**

Aucun aménagement paysager n'étant prévu, il n'y aura donc pas d'arrosage.

**La consommation d'eau totale est donc de 1250 m3.**

## 4.3 RECUPERATION DES EAUX PLUVIALES

### 4.3.1 Cas 1 – Utilisation sur l'ensemble du bâtiment

La récupération des eaux pluviales pourrait couvrir une partie des besoins en eau non potable du site, notamment pour l'alimentation des sanitaires, l'entretien des sols.

Dans ce scénario, les besoins annuels en eau non potable sont estimés à :

- 692,2 m<sup>3</sup>/an pour les usages sanitaires ;
- 124,4 m<sup>3</sup>/an pour l'entretien des sols.

Soit un besoin total de 817 m<sup>3</sup>/an.

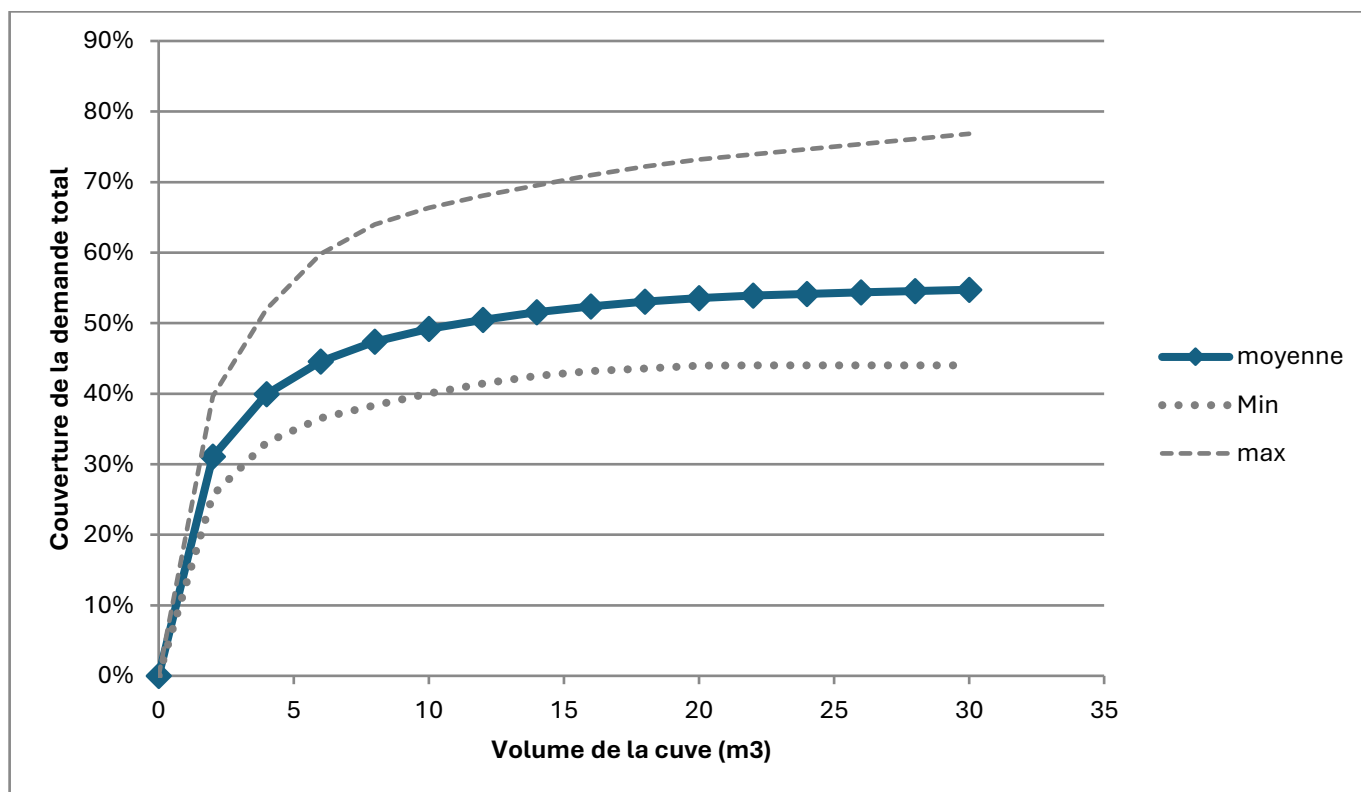
L'analyse des données de pluviométrie historique du site de Châlons-en-Champagne, sur la période 2001-2019, met en évidence une pluviométrie moyenne annuelle de 627 mm.

La stratégie de récolte des eaux pluviales retenue pour le site implique une séparation de la toiture en quatre zones distinctes. Une seule de ces zones peut être raccordée à une cuve de récupération d'eau de pluie. Cette zone représente une surface de toiture de 540 m<sup>2</sup>.

Sur cette base, la capacité théorique annuelle de récupération des eaux pluviales est estimée à environ 310 m<sup>3</sup>/an, ce qui permettrait de couvrir environ 38 % des besoins annuels maximaux en eau non potable (sans tenir compte de la simultanéité des besoins et de la pluviométrie).

En intégrant la simultanéité des besoins et la pluviométrie, une étude de dimensionnement de la cuve a été réalisée pour différents volumes de stockage. L'analyse montre que la courbe d'évolution suit une tendance logarithmique et tend à se stabiliser à partir d'un volume de 16 m<sup>3</sup>.

Afin de limiter les coûts d'installation tout en maximisant la capacité de récupération des eaux pluviales, le volume retenu pour la cuve est fixé à 16 m<sup>3</sup>.



Sur la base de l'historique météorologique, la couverture moyenne des besoins atteint 37,1 %, tandis que la couverture maximale peut atteindre 52,6 % lors des années les plus pluvieuses. Ce dimensionnement, cohérent avec les besoins identifiés, permet par ailleurs de valoriser environ 88 % du volume d'eaux pluviales récupérées.

| Données météorologiques et de consommation                    |           |           |       |
|---------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-------|
| Pluvio annuelle moyenne sur les 20 dernières années           | 627       | mm/an     |       |
| Demande annuelle en eau non potable totale                    | 817       | m3/an     |       |
| Quantité d'eau de pluie récupérable annuellement              | 305       | m3/an     |       |
| Besoins                                                       |           |           |       |
| Demande journalière en eau non potable pour les personnes     | 1,90      | m3/j      |       |
| Demande journalière en eau non potable non liée aux personnes | 0,34      | m3/j      |       |
| Durée période sèche                                           | 19        | jours     |       |
| Volume de cuve                                                |           |           |       |
| Volume du dispositif si 100% de demande couverte              | 43        | m3        |       |
| <b>Volume du dispositif avec le % demande couverte</b>        | <b>16</b> | <b>m3</b> |       |
| Couverture en eau pour une cuve de 16 m3                      |           |           |       |
|                                                               | Moy       | Min       | Max   |
| Demande couverte                                              | 37.1%     | 29.7%     | 52.6% |
| Volume utilisé de la cuve                                     | 88.0%     | 80.9%     | 90.8% |

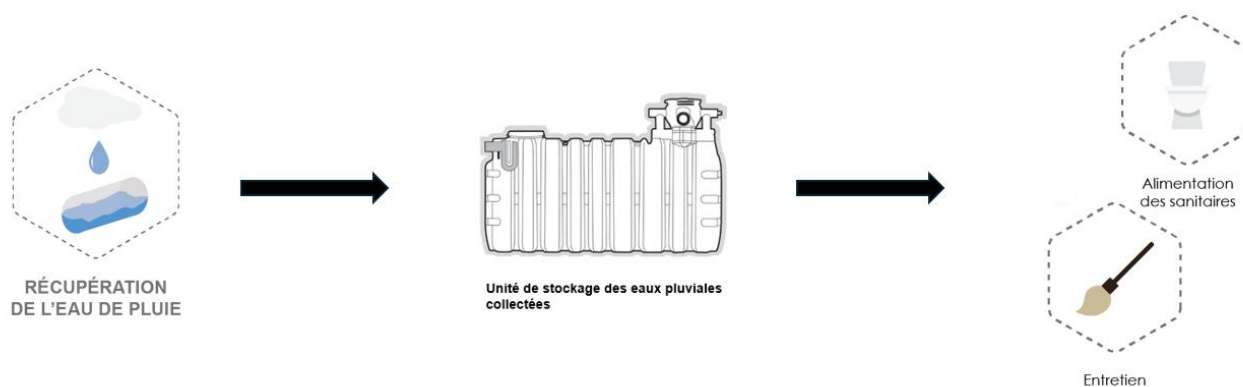


Figure 7 : Schéma de la cuve de récupération des EP

#### 4.3.2 Cas 2 – Utilisation uniquement au RDC

Au regard de la capacité de récupération de la toiture et des besoins du bâtiment, la récupération d'eau de pluie permet de couvrir uniquement 38 % des besoins en eau non potable.

Afin de limiter le déploiement du réseau de récupération des eaux de pluie à l'échelle du bâtiment, et ainsi réduire les coûts d'investissement ainsi que les contraintes de maintenance, il a été décidé d'étudier l'utilisation de l'eau récupérée uniquement pour le RDC et S-1.

Les besoins en eau non potable estimés sont donc les suivants :

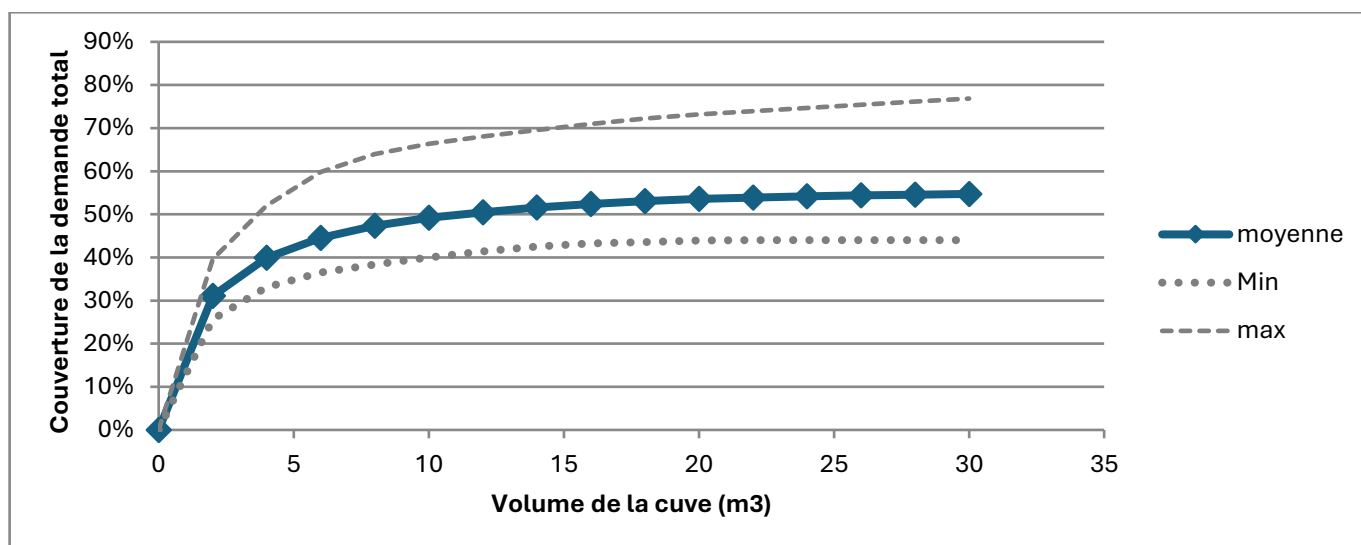
- 488,2 m3/an pour l'utilisation des sanitaires du RDC et du S-1

- 62,2 m<sup>3</sup>/an pour alimenter les 3 locaux ménages du RDC et dur S-1

Au regard de la capacité de récupération de la toiture, il serait possible de couvrir 56,4% des besoins en eau de ces étages. La cuve de 16m<sup>3</sup> est toujours prévue et permettra de couvrir une partie de besoin pendant les 19 jours de sécheresse.

En intégrant la simultanéité des besoins et la pluviométrie, une étude de dimensionnement de la cuve a été réalisée pour différents volumes de stockage. L'analyse montre que la courbe d'évolution suit une tendance logarithmique et tend à se stabiliser également à partir d'un volume de 16 m<sup>3</sup>.

Afin de limiter les coûts d'installation tout en maximisant la capacité de récupération des eaux pluviales, le volume retenu pour la cuve est également fixé à 16 m<sup>3</sup>.



Sur la base de l'historique météorologique, la couverture moyenne des besoins atteint 52,4 %, tandis que la couverture maximale peut atteindre 71,0% lors des années les plus pluvieuses. Ce dimensionnement, cohérent avec les besoins identifiés, permet par ailleurs de valoriser environ 85,6 % du volume d'eaux pluviales récupérées.

| Données météorologiques et de consommation                    |           |           |       |
|---------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-------|
| Pluvio annuelle moyenne sur les 20 dernières années           | 627       | mm/an     |       |
| Demande annuelle en eau non potable totale                    | 550       | m3/an     |       |
| Quantité d'eau de pluie récupérable annuellement              | 305       | m3/an     |       |
| Besoins                                                       |           |           |       |
| Demande journalière en eau non potable pour les personnes     | 1,34      | m3/j      |       |
| Demande journalière en eau non potable non liée aux personnes | 0,17      | m3/j      |       |
| Durée période sèche                                           | 19        | jours     |       |
| Volume de cuve                                                |           |           |       |
| Volume du dispositif si 100% de demande couverte              | 29        | m3        |       |
| <b>Volume du dispositif avec le % demande couverte</b>        | <b>16</b> | <b>m3</b> |       |
| Couverture en eau pour une cuve de 16 m3                      |           |           |       |
|                                                               | Moy       | Min       | Max   |
| Demande couverte                                              | 52,4%     | 43,2%     | 71,0% |
| Volume utilisé de la cuve                                     | 85,6%     | 78,3%     | 90,6% |

### 4.3.3 Conclusion

Une cuve de 16 m<sup>3</sup> située à l'extérieur du bâtiment est nécessaire afin de couvrir une partie des besoins en eau non potable des niveaux sous-sol et rez-de-chaussée (Cas n°2). Dans cette configuration, le taux de couverture annuel atteint 52,4% des besoins concernés.

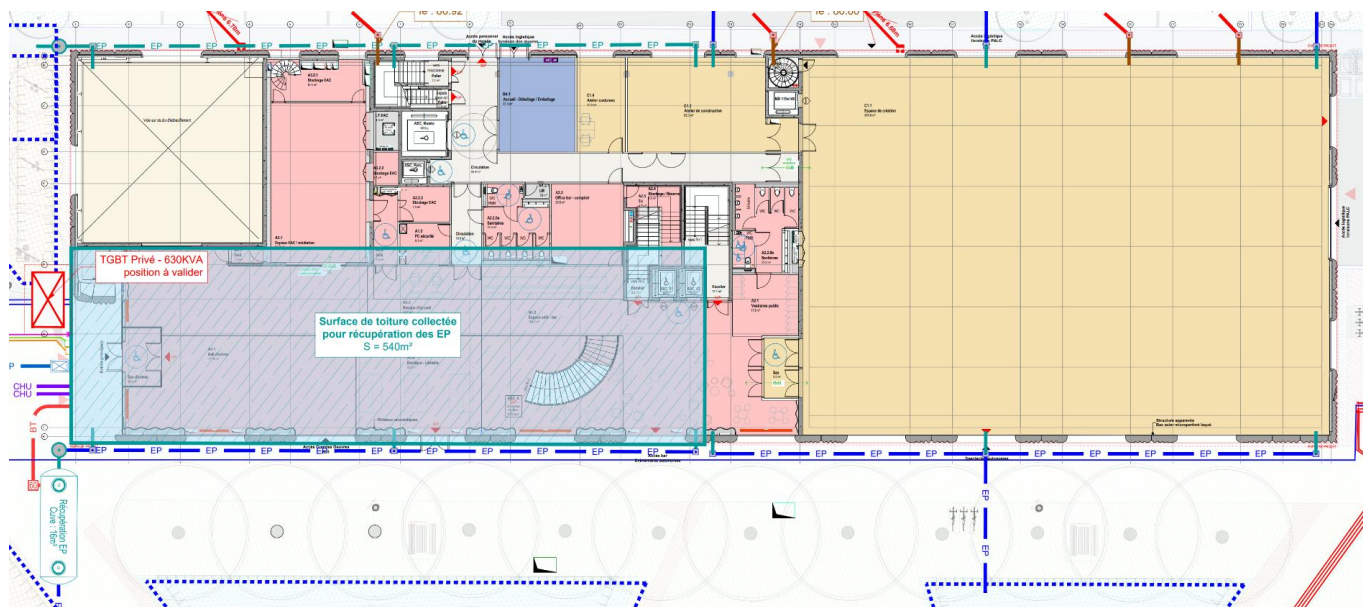


Figure 8 - Localisation de la cuve selon les plans de réseau extérieurs

Le cas n°2 apparaît comme le plus adapté, au regard de la capacité limitée de captation des eaux pluviales de la toiture, exploitable uniquement sur environ un quart de sa surface. Cette solution permet de réduire les coûts liés à l'installation du réseau d'eaux pluviales, tout en optimisant la valorisation de l'eau récupérée et en limitant les contraintes d'exploitation et de maintenance.

## 5 PERFORMANCE ENERGETIQUE ET CONFORT HYGROTHERMIQUE

Cette partie a pour but de présenter les résultats des différentes études énergétiques réalisées afin de valider les configurations d'enveloppe et de systèmes du bâtiment permettant de vérifier l'atteinte des objectifs de consommation énergétique et de confort du bâtiment.

- Une étude réglementaire RE2020 attestant de la conformité réglementaire du projet avec la réglementation thermique en vigueur.
- Une étude de confort thermique réalisée à l'aide d'un logiciel de STD sur un échantillonnage de plusieurs locaux.

### 5.1 CARACTERISTIQUES DU BATI

Les localisations des différentes parois et éléments de parois sont détaillées dans le carnet de performance de l'enveloppe.

#### Parois Opaques

Le détail des parois opaques et leurs performances thermiques sont détaillés dans le tableau ci-dessous. Les ponts thermiques linéique et ponctuelles ne sont pas pris en compte dans le logiciel de STD. Par conséquent, le  $U_p$  des parois est dégradé de 15%.

| DÉNOMINATION | TYPE                                        | NATURE<br>de l'isolant              | ÉPAISSEUR<br>D'ISOLANT | $\lambda_{\text{isolant}}$ | $R_{\text{isolant}}$ | $R_{\text{total}}$ | $U_{p,STD}$<br>(+ P.T. linéiques) |
|--------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------|
|              |                                             |                                     | [m]                    | [W/m.K]                    | [m².K/W]             | [m².K/W]           | [W/m².K]                          |
| FACADE       |                                             |                                     |                        |                            |                      |                    |                                   |
| ME.1         | Façade en panneaux<br>préfabriqués béton    | Laine de verre                      | 0,210                  | 0,032                      | 6,56                 | 6,56               | 0,20                              |
| ME.2         | Mur ITE                                     | Laine de verre                      | 0,180                  | 0,035                      | 5,14                 | 5,14               | 0,22                              |
| ME.3         | EDR                                         | Laine de verre<br>ou laine de roche | 0,150                  | 0,035                      | 4,29                 | 4,29               | 0,27                              |
| MS.1         | Mur enterré                                 | Polystyrène                         | 0,100                  | 0,035                      | 2,86                 | 2,86               | 0,40                              |
| MX.1         | Mur ITE vers ambiance<br>régulée            | Laine de roche                      | 0,140                  | 0,035                      | 4,00                 | 4,00               | 0,29                              |
| MX.2         | Mur ITE en agglo vers<br>ambiance extérieur | Laine de roche                      | 0,140                  | 0,035                      | 4,00                 | 4,00               | 0,29                              |

| DÉNOMINATION | TYPE                     | NATURE<br>de l'isolant        | ÉPAISSEUR<br>D'ISOLANT | $\lambda_{\text{isolant}}$ | $R_{\text{isolant}}$ | $R_{\text{total}}$ | $U_{p,STD}$<br>(+ P.T. linéiques) |
|--------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------|
|              |                          |                               | [m]                    | [W/m.K]                    | [m².K/W]             | [m².K/W]           | [W/m².K]                          |
| TOITURE      |                          |                               |                        |                            |                      |                    |                                   |
| TI.1         | Toiture Rampant          | Laine de verre                | 0,200                  | 0,035                      | 5,71                 | 5,71               | 0,20                              |
| TI.2         | Toiture terrasse (logia) | Laine de verre ou polystyrène | 0,200                  | 0,035                      | 5,71                 | 5,71               | 0,20                              |

| DÉNOMINATION | TYPE                                         | NATURE<br>de l'isolant                              | ÉPAISSEUR<br>D'ISOLANT | $\lambda_{\text{isolant}}$ | $R_{\text{isolant}}$ | $R_{\text{total}}$ | $U_{p,STD}$<br>(+ P.T. linéiques) |
|--------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------|
|              |                                              |                                                     | [m]                    | [W/m.K]                    | [m².K/W]             | [m².K/W]           | [W/m².K]                          |
| PLANCHER BAS |                                              |                                                     |                        |                            |                      |                    |                                   |
| DX.1         | Plancher en béton vers ambiance non chauffée | Laine de roche                                      | 0,160                  | 0,035                      | 4,57                 | 4,57               | 0,25                              |
| DX.2         | Plancher en béton vers ambiance non chauffée | Isolation acoustique :<br>Organic Minéral Colors 75 | 0,070                  | /                          | 1,65                 | 1,65               | 0,70                              |
| DE.1         | Plancher en béton vers ambiance extérieur    | Polyuréthane                                        | 0,100                  | 0,022                      | 4,55                 | 4,55               | 0,25                              |
| DT           | Plancher bas isolation périphérique          | Polystyrène                                         | 0,200                  | 0,035                      | 5,71                 | 5,71               | 0,20                              |

Les valeurs de Up affichées pour les **parois enterrées** correspondent aux valeurs U équivalentes (Ue) calculées grâce aux règles Th-U fascicule 4.

### Parois vitrées

L'ensemble des parois vitrées ont été prises avec une transmission lumineuse de 70% et un facteur solaire de 40%.

### Protections solaires

| Type                                                    | Positionnement | Facteur Solaire Vitrage + Protection solaire |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------|
| Store enrouleur de type screen performant thermiquement | Extérieur      | Facteur Solaire < 0,1                        |
| Store Intérieur / Rideau                                | Intérieur      | Facteur Solaire < 0,2                        |

L'utilisation des protections solaires se fait en fonction de l'irradiation incidente (ii) de la façade [ $\text{W/m}^2$ ] :

- $ii < 200 \text{ W/m}^2 \rightarrow$  le store est levé par l'utilisateur
- $ii > 250 \text{ W/m}^2 \rightarrow$  le store est baissé par l'utilisateur
- Entre les deux, le store est dans sa position précédente

### Ponts thermiques

Les ponts thermiques ne sont pas pris en compte dans le logiciel de STD. Par conséquent, le Up des parois est dégradé de 15%.

### Infiltration

L'infiltration est prise en compte dans le logiciel de STD. Le coefficient d'infiltration est pris avec une valeur de  $1,5 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$

### Inertie

L'inertie du projet est incluse directement dans la modélisation des différentes parois. Les différents éléments suivants impactent l'inertie :

- Dalle en béton
- Plancher mixte bois-béton

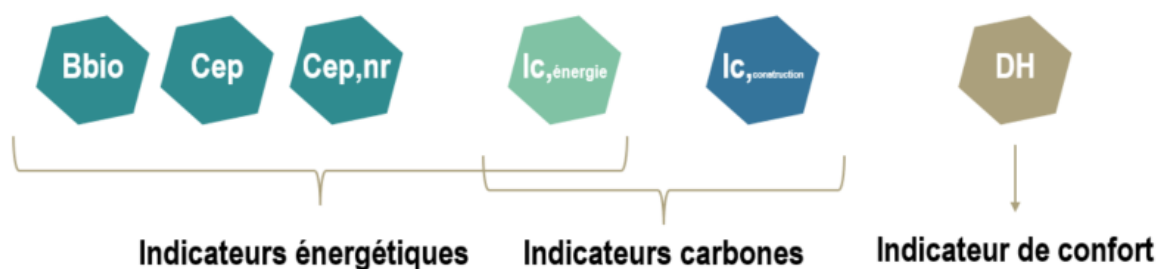
## 5.2 CALCUL REGLEMENTAIRE

La RE2020 est la nouvelle réglementation thermique qui s'applique, pour le moment, uniquement aux logements, bureaux et bâtiments d'enseignement primaire et secondaire, avant une extension progressive aux autres typologies de bâtiments tertiaires (enseignement supérieur, commerces, hôtels, restaurants, etc.)

La RE2020 a pour ambition d'aller plus loin que la RT2012 en réduisant les consommations d'énergie primaire et en introduisant des exigences fortes pour limiter les émissions de gaz à effet de serre sur le cycle de vie du bâtiment. Elle s'appuie sur les retours de l'observatoire E+C- pour capitaliser et orienter le secteur du bâtiment dans la stratégie nationale bas carbone. Les grands principes de la RE2020 sont les suivants :

- Encourager la sobriété énergétique et l'efficacité énergétique
- Diminuer l'impact carbone sur le cycle de vie des bâtiments neufs en incitant à recourir plus fortement aux énergies renouvelables et aux matériaux biosourcés
- Garantir la fraîcheur des bâtiments en cas de fortes chaleurs.

Voici les différents indicateurs réglementaires en RE 2020 :



La RE 2020 vise à renforcer :

- La sobriété, l'efficacité énergétique et le recours aux énergies renouvelables, évaluées à travers les indicateurs :
  - o Bbio (en points) pour la conception bioclimatique qui traduit la performance du bâtiment quant aux besoins de chauffage, de climatisation et d'éclairage
  - o Cep (en kWhEP/m<sup>2</sup>.an) pour la consommation d'énergie primaire pour couvrir les besoins du bâtiment. L'objectif de réduction de la consommation se traduit également par l'amélioration de l'efficacité énergétique des équipements.
  - o Cep,nr (en kWhEP/m<sup>2</sup>.an) pour la consommation d'énergie primaire non renouvelable
- La réduction de l'empreinte carbone du bâtiment sur son cycle de vie de 50 ans, à travers les indicateurs :
  - o  $I_{c,construction}$  pour les émissions liées aux produits de construction et équipements ainsi qu'à la phase chantier
  - o  $I_{c,énergie}$  pour les émissions liées aux consommations d'énergie en phase d'exploitation du bâtiment
- Le confort d'été à travers l'indicateur DH ou degré-heure

Des exigences de moyens complètent ces indicateurs portant sur :

- La généralisation du principe du test de l'étanchéité à l'air du bâtiment
- La vérification des systèmes de ventilation pour les logements
- Le traitement des ponts thermiques au global ainsi que ceux spécifiquement en plancher intermédiaire
- Le respect du ratio d'ouverture des baies

### 5.2.1 Périmètre

Comme évoqué en introduction, la RE2020 ne concerne que :

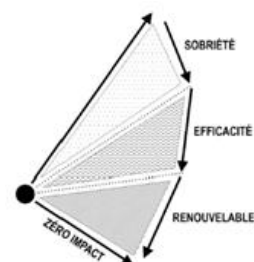
- **L'administration situé au niveau 1**
- **Le studio d'échauffement qui s'étend du sous-sol au PH R+1**

### 5.2.2 Synthèse des hypothèses considérées

De nombreuses dispositions sont prises pour limiter la consommation énergétique du projet.

La stratégie d'efficacité énergétique et environnementale d'un bâtiment se décline à travers trois échelles d'analyse :

- L'enveloppe et ses performances pour réduire les besoins en énergie ;
- Les systèmes efficaces, robustes et performants ;
- Le recours aux énergies renouvelables.

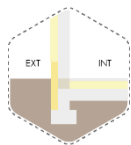


### Logiciel utilisé

Le calcul réglementaire a été réalisé sous le logiciel Pléiades v.2025 développé par Izuba Energies.

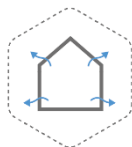
Les masques impactant alentours ont été modélisés, afin d'intégrer leurs répercussions sur le calcul réglementaire.

## Ponts thermiques



Le ratio de transmission thermique linéique moyen global  $\Psi$  ( $\Psi$ ) des ponts thermiques de la partie Bureau s'élève à **0,02** W/(m<sup>2</sup>.S<sub>réf</sub>.K), conformément à la réglementation thermique/environnementale qui fixe un seuil à ne pas dépasser de 0,28 W/(m<sup>2</sup>.S<sub>réf</sub>.K).

## Etanchéité à l'air



Un bon niveau d'étanchéité à l'air est un gage de qualité pour le bâtiment, de confort pour les occupants et de sobriété pour les consommations énergétiques. Une étanchéité à l'air de 1.5 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> a été prise dans le calcul.

## Inertie



L'inertie du projet est incluse dans la modélisation des différentes parois. Cette considération a un impact direct sur le confort d'été, et le besoin de froid associé. La valeur est ensuite calculée dynamiquement par le logiciel de calcul.

Les différents éléments suivants impactent l'inertie :

- Cloisons légères avec plaque de plâtre / refend en béton ;
- Sous-face apparente béton / charpente en bois ;
- Plancher avec revêtement de sol / béton apparent ;
- Murs en ossature bois / mur en isolation par l'extérieur ;
- Etc...

## Réduction de la consommation d'énergie primaire

L'atteinte des objectifs passe par la mise en place de systèmes techniques efficaces décrits plus en détail dans la notice technique. L'ensemble des données utilisés seront mises à jour et détaillés en PRO.

## Production et émission de chauffage



Le principe retenu pour la fourniture d'énergie de chauffage pour l'ensemble des usages est le raccordement au réseau de chaleur Cloe de Chalon-en-Champagne, qui a comme performances environnementales un taux d'ENR à 34,7% et un contenu COE de 182 gCO<sub>2</sub>/kWh.

Une programmation de fonctionnement horaire, journalier des équipements techniques permet de répondre au mieux aux besoins.

## Eau chaude sanitaire



La production d'eau chaude sanitaire est réalisée via la sous-station connectée au réseau de chaleur.

## Ventilation



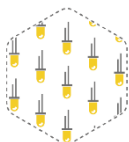
Une ventilation mécanique double-flux à haute performance énergétique est prévue dans tous les espaces.

Voici les caractéristiques prises en compte dans le calcul réglementaire relatives au fonctionnement de la ventilation :

|                                                | Ventilation 1                                                                                          | Ventilation 2                                                                                          |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bâtiment</b>                                | Musée                                                                                                  | Musée                                                                                                  |
| <b>Zone</b>                                    | Administration                                                                                         | Echauffement                                                                                           |
| <b>Type de système</b>                         | CTA DF                                                                                                 | CTA DF                                                                                                 |
| <b>Rendement de l'échangeur</b>                | 75% (valeur certifiée)                                                                                 | 75% (valeur certifiée)                                                                                 |
| <b>Type de régulation</b>                      | Sonde CO2 pour les salles de réunion                                                                   | Horaire                                                                                                |
| <b>Crdbnr considéré</b>                        | 0.8                                                                                                    | 1                                                                                                      |
| <b>SFP ventilateurs</b>                        | 0.45 W/m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> en soufflage<br>0.35 W/m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> en reprise | 0.45 W/m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> en soufflage<br>0.35 W/m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> en reprise |
| <b>Présence batterie chaude</b>                | Oui                                                                                                    | Oui                                                                                                    |
| <b>Présence batterie froide</b>                | Non                                                                                                    | Non                                                                                                    |
| <b>Présence bypass</b>                         | Non                                                                                                    | Non                                                                                                    |
| <b>Présence rafraichissement adiabatique</b>   | Non                                                                                                    | Oui                                                                                                    |
| <b>Présence ventilation mécanique nocturne</b> | Oui                                                                                                    | Non                                                                                                    |

Une programmation de fonctionnement horaire, journalier des équipements techniques permet de répondre au mieux aux besoins. La qualité de l'air intérieur est maîtrisée grâce à la mise en place d'une chaîne de filtration performante.

## Eclairage



Les luminaires sont choisis 100% LED avec des stratégies de commande adaptées.

Les données sont classées selon les usages des différents espaces :

| Type de local  |                         | Puissance installée<br>[W/m <sup>2</sup> ] | Puissance auxiliaire<br>[W/m <sup>2</sup> ] | Gestion fractionnée | Commande                                                             | Gradation                                         |
|----------------|-------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Administration | Bureau                  | 5.6                                        | 0                                           | Non                 | Marche manuelle, arrêt automatique par détection d'absence           | Gradation automatique assurant éclairage constant |
|                | Salle de réunion        | 5.6                                        | 0                                           | Non                 | Marche et arrêts automatiques par détection de présence et d'absence | Gestion impossible avec la lumière du jour        |
|                | Circulation Accueil     | 5.6                                        | 0                                           | Oui                 | Marche et arrêts automatiques par détection de présence et d'absence | Gestion impossible avec la lumière du jour        |
|                | Sanitaires / Vestiaires | 5.6                                        | 0                                           | Oui                 | Marche et arrêts automatiques par détection de présence et d'absence | Gestion impossible avec la lumière du jour        |

| Type de local                 |                         | Puissance<br>installée<br>[W/m²] | Puissance<br>auxiliaire<br>[W/m²] | Gestion<br>fractionnée | Commande                                                             | Gradation                                  |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Salle de sport / Echauffement | Salle de Sport          | 6                                | 0                                 | Non                    | Marche manuelle, arrêt automatique par détection d'absence           | Gradation manuelle avec la lumière du jour |
|                               | Sanitaires              | 4                                | 0                                 | Non                    | Marche et arrêts manuelle                                            | Gestion impossible avec la lumière du jour |
|                               | Circulation Accueil     | 2                                | 0                                 | Oui                    | Marche et arrêts automatiques par détection de présence et d'absence | Gestion impossible avec la lumière du jour |
|                               | Sanitaires / Vestiaires | 4                                | 0                                 | Oui                    | Marche et arrêts automatiques par détection de présence et d'absence | Gestion impossible avec la lumière du jour |

### Brasseurs d'air



Des brasseurs d'air sont prévus dans certains espaces du projet, voici leurs caractéristiques :

|                                   | Brasseur d'air                |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Bâtiment                          | Musée du Cirque               |
| Zone                              | Bureau                        |
| Type de locaux concernés          | Bureau / Réunion              |
| Nombre de brasseurs identiques    | 15                            |
| Ratio de surface utile couverte   | 0.75                          |
| Type d'usage                      | Jour                          |
| Mode de gestion                   | Manuelle                      |
| Débit volumique maximal [m3h-1]   | 13000 m3h-1 (valeur déclarée) |
| Puissance électrique maximale [W] | 130 W (valeur déclarée)       |

### 5.2.3 Résultats RE2020

Voici les résultats du projet sur la base du calcul RE2020 mené sur la partie Bureau du bâtiment :

|                                 | Résultat | Seuil max | Gain par rapport au seuil de référence |
|---------------------------------|----------|-----------|----------------------------------------|
| <b>Bbio [points]</b>            | 54.2     | 112       | -51.6%                                 |
| <b>Cep [kWhEP/m².an]</b>        | 63.6     | 103.9     | -38.8%                                 |
| <b>Cep,nr [kWhEP/m².an]</b>     | 60.3     | 91.7      | -34.2%                                 |
| <b>Ic,énergie [kgCO2/m².an]</b> | 229      | 342.4     | -47.4%                                 |
| <b>DH [°Ch]</b>                 | 1135.9   | 1150      | -1.2%                                  |

Voici les résultats du projet sur la base du calcul RE 2020 mené sur la partie studio d'échauffement / Salle de sport privé du bâtiment :

|                                 | Résultat | Seuil max | Gain par rapport au seuil de référence |
|---------------------------------|----------|-----------|----------------------------------------|
| <b>Bbio [points]</b>            | 85.7     | 103.4     | -14%                                   |
| <b>Cep [kWhEP/m².an]</b>        | 134.1    | 162.8     | -17.3%                                 |
| <b>Cep,nr [kWhEP/m².an]</b>     | 111      | 123.2     | -10%                                   |
| <b>Ic,énergie [kgCO2/m².an]</b> | 550      | 588       | -7.5%                                  |
| <b>DH [°Ch]</b>                 | 152      | 1150      | -86,8%                                 |

Les résultats présentés ci-dessus démontrent que le projet est conforme à la RE2020.

## 5.3 **CONFORT HYGROTHERMIQUE**

La Simulation Thermique Dynamique permet de modéliser le comportement thermique d'un bâtiment sur une année complète, en tenant compte des données météorologiques du site et d'un grand nombre de caractéristiques du bâtiment (parois opaques, vitrages et protections solaires, masques, débits de ventilation, systèmes CVC, ventilation naturelle, ...). La STD est ici utilisée pour déterminer les risques d'inconfort thermique dans les locaux à forte occupation et valider l'efficacité des systèmes passifs mis en place.

Cette partie présente donc la méthode, les hypothèses de calcul ainsi que les résultats de l'étude de confort thermique.

Les objectifs de confort d'été fixés pour le projet visent à garantir une qualité d'ambiance intérieure satisfaisante durant la période chaude. Plus précisément, la simulation thermique dynamique cherche à limiter le nombre d'heures d'inconfort où la température d'air intérieure dépasse 28 °C à un maximum de 2,5% d'heures par an sur la durée d'occupation du bâtiment. Quand cela est pertinent, il est possible de vérifier les 2,5% d'inconfort admissible via le Diagramme de Givoni qui permet de prendre en compte une vitesse d'air. Ces objectifs constituent les critères de performance définissant la conformité du bâtiment en matière de confort estival.

### 5.3.1 **Site et environnement**

#### **Données météorologiques**

Les fichiers météo utilisés dans le calcul sont issus de la base de données MétéoNorm pour la station météo de Reims. Ces fichiers contiennent les variables suivantes, pour les 8760h de l'année :

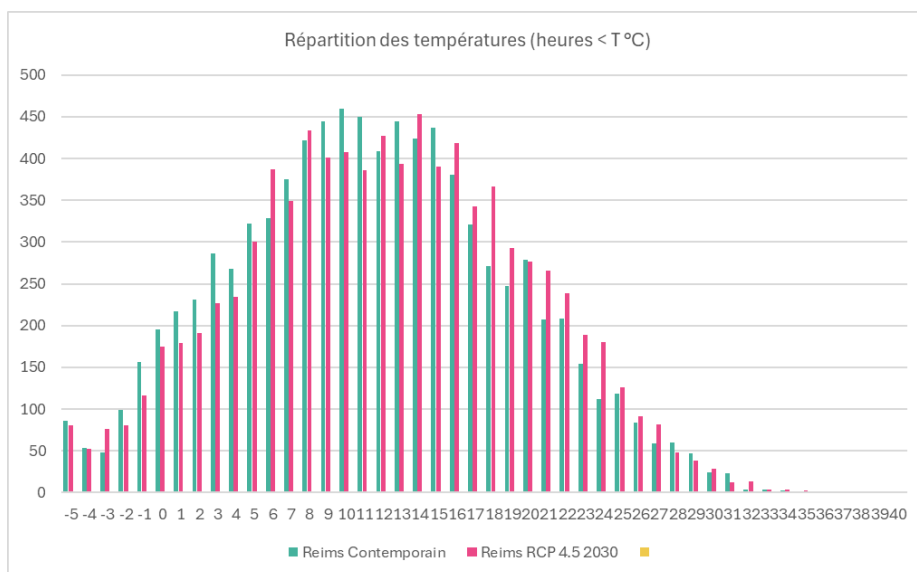
- Température sèche et humide de l'air extérieur
- Humidité relative
- Direction et vitesse du vent
- Rayonnement direct horizontal et normal
- Rayonnement diffus horizontale
- Rayonnement global horizontal
- Nébulosité
- Pression atmosphérique

Les données de température sèche, de rayonnement global horizontal et de vent sont présentées ci-dessous pour le fichier météo contemporain (utilisé pour le calcul des besoins) et le fichier météo horizon 2030 RCP 4.5 (utilisé pour l'analyse de confort d'été).

#### **Température**

Les données en bleu représentent les températures contemporaines, et les données en rouge représentent les données projetées relevées lors de cette même période.

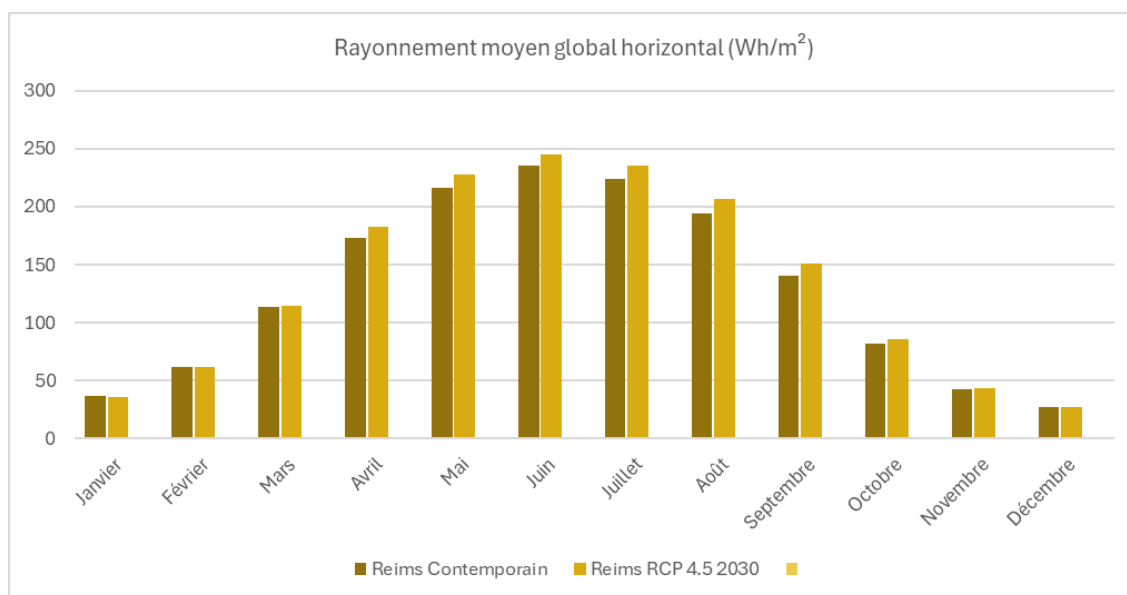
La répartition des températures est présentée dans le graphique ci-dessous : les codes couleurs ont été gardés.



Dans le fichier météo moyen, les températures vont de -9,5 °C à 33,2 °C pour une température moyenne annuelle de 11 °C. Dans le fichier météo futur, les températures vont de -9,1 °C à 34,2 °C pour une température moyenne annuelle de 11,7 °C.

### Irradiation solaire

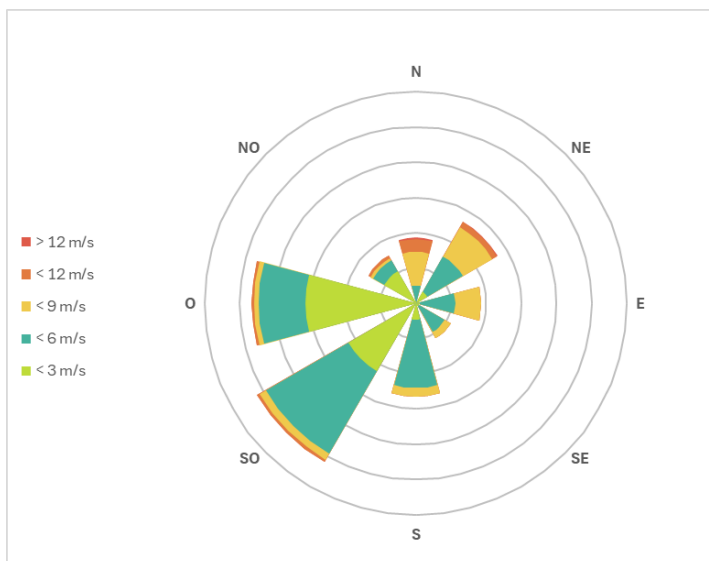
Le graphique ci-dessous représente l'irradiation solaire (directe et diffuse) en kWh/m<sup>2</sup> sur une surface horizontale. Les données en jaune sont issues du fichier météo projeté et celles en marron du fichier météo contemporain.



### Rose des vents

La rose des vents représente les données collectées sur le vent en fonction de sa direction (en degré, 0° représentant le nord), et de sa vitesse en m/s (de 3m/s en vert à 15m/s en rouge avec un pas de 3).

Les données de vent sont identiques entre les deux fichiers météo.



### 5.3.2 Apports internes

#### Scénarios d'occupation



Les scénarios de fonctionnement sont basés sur les hypothèses présentées dans le cahier des charges et sur les retours de fonctionnement de la MOA. Aucune période de fermetures n'a à ce jour été simulée dans l'optique de se placer dans le cas le plus défavorable à la fois du point de vue du confort d'été et des consommations énergétiques.

Un planning annuel a été mis en place pour le hall ainsi que l'espace d'exposition pour prendre en compte l'évolution des horaires d'ouvertures en fonction des saisons et des jours où des nocturnes ont lieux.

| JANVIER |    |    |    |    |    |    | FÉVRIER  |    |    |    |    |    |    | MARS      |    |    |    |    |    |    |
|---------|----|----|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|
| 1       | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 1        | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 1         | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| 8       | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 8        | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 8         | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15      | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 15       | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 15        | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22      | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 22       | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 22        | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29      | 30 | 31 |    |    |    |    | 29       |    |    |    |    |    |    | 29        | 30 | 31 |    |    |    |    |
| AVRIL   |    |    |    |    |    |    | MAI      |    |    |    |    |    |    | JUIN      |    |    |    |    |    |    |
| 1       | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 1        | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 1         | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| 8       | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 8        | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 8         | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15      | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 15       | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 15        | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22      | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 22       | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 22        | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29      | 30 |    |    |    |    |    | 29       | 30 | 31 |    |    |    |    | 29        | 30 |    |    |    |    |    |
| JUILLET |    |    |    |    |    |    | AOÛT     |    |    |    |    |    |    | SEPTEMBRE |    |    |    |    |    |    |
| 1       | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 1        | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 1         | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| 8       | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 8        | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 8         | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15      | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 15       | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 15        | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22      | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 22       | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 22        | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29      | 30 | 31 |    |    |    |    | 29       | 30 | 31 |    |    |    |    | 29        | 30 |    |    |    |    |    |
| OCTOBRE |    |    |    |    |    |    | NOVEMBRE |    |    |    |    |    |    | DÉCEMBRE  |    |    |    |    |    |    |
| 1       | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 1        | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 1         | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| 8       | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 8        | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 8         | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15      | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 15       | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 15        | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22      | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 22       | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 22        | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29      | 30 | 31 |    |    |    |    | 29       | 30 |    |    |    |    |    | 29        | 30 | 31 |    |    |    |    |

[illegible]

## Apport internes des équipements



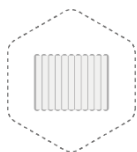
A chacune des typologies de locaux est associé un scénario d'usage lié au scénario d'occupation et une puissance d'équipement en Watts ou en W/m².

Légende : 0% 25% 50% 75% 100%

| EQUIPEMENTS           | Type                                     | Puissance | Jour      | Horaires |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|-----------------------|------------------------------------------|-----------|-----------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|                       |                                          |           |           | 1h       | 2h | 3h | 4h | 5h | 6h | 7h | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h | 18h | 19h | 20h | 21h | 22h | 23h | 0h |
| Bureau                | 1 PC portable / pers.<br>1 écran / pers. | 12 W/m²   | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |                                          |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Reunion               | PC portable,<br>vidéoprojecteur...       | 12 W/m²   | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |                                          |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Atelier               | X                                        |           | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |                                          |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Studio d'entrainement | Sono (400W)                              | 400W      | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |                                          |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Espace de création    | X                                        |           | S         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |                                          |           | L-V & D   |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Loges                 | Divers                                   | 10 W/m²   | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |                                          |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Foyer                 | Divers                                   | 10 W/m²   | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |                                          |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Studio de création    | Sono (400W)                              | 400W      | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |                                          |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Espace médiation      | Sono (400W) +<br>vidéoprojecteur         | 700 W     | L-V       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |                                          |           | S-D       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Salle d'exposition    | Divers                                   | 10 W/m²   | Hiver     |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |                                          |           | Été       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Hall                  | Divers                                   | 5 W/m²    | Notcturne |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |                                          |           | Hiver     |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |                                          |           | Été       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |

### 5.3.3 Systèmes

#### Chauffage



Le chauffage est actif du 10 octobre (semaine 42) au premier mai (semaine 18). Il est enclenché une heure avant l'arrivée des occupants, et est coupé à l'issue de l'occupation.

La consigne est variable selon la destination des locaux. Une fois la température de consigne atteinte dans le local, le système de chauffage se coupe automatiquement.

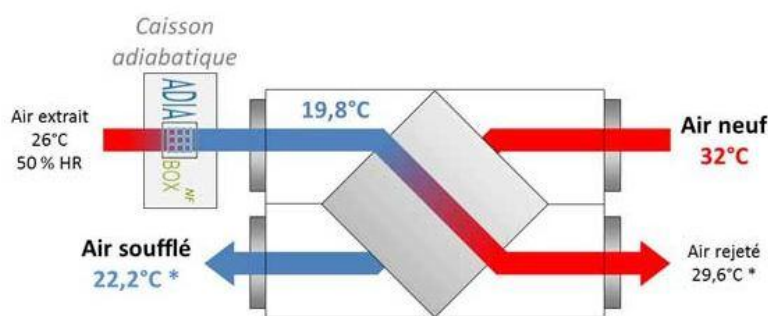
Par exemple, pour un bureau, le réduit est à 16°C la nuit. Entre 6H et 7H, le chauffage se relance progressivement pour arriver à une température de consigne de 19°C à 8H du matin. Lorsque les occupants arrivent, le bureau est ainsi à 19°C.

Légende : Réduit Montée en T° Consigne

## Refroidissement



Des batteries adiabatiques sont positionnées sur les circuits de reprise des CTA PALC, Espace Médiation, Studio d'entraînement, et le Hall. Elles permettront d'abaisser la température de l'air soufflé en période caniculaire. L'humidificateur est positionné sur l'air repris avant passage dans l'échangeur. Cela permet d'abaisser la température de l'air repris et donc de maximiser la récupération de frigories au moment du passage dans l'échangeur afin de chauffer de l'air plus froid dans les espaces. Cette solution permet de gagner, in fine, environ 5°C sur l'air soufflé.



- Textérieure  $< 26^{\circ}\text{C}$   $\rightarrow$  Soufflage à température extérieure
- Textérieure  $\geq 26^{\circ}\text{C}$   $\rightarrow$  Soufflage à  $21^{\circ}\text{C}$

## Ventilation mécanique



La ventilation mécanique a été simulée en respectant les consignes et le dimensionnement CVC (puissance de ventilateurs, débits de ventilation, température de soufflage, typologie de ventilation, etc.).

Le fonctionnement de chacune des centrales de traitement d'air est modélisé indépendamment avec :

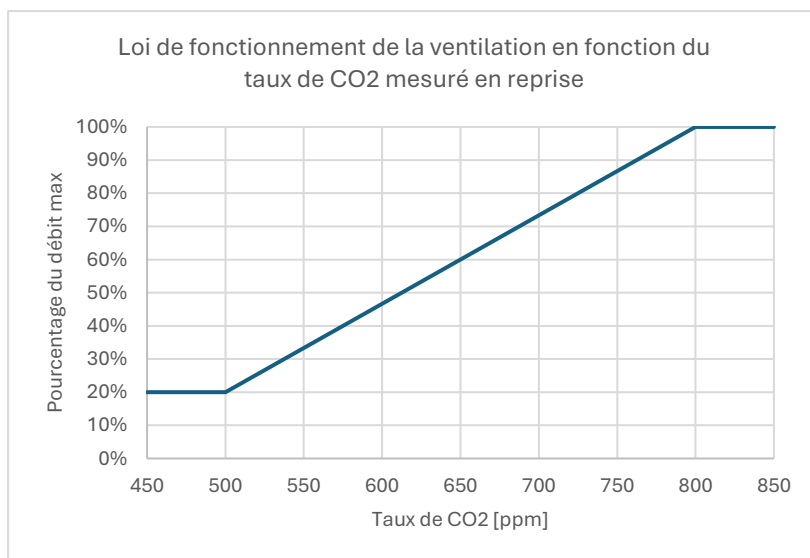
- Les débits de chacune des pièces traitées :
- L'échangeur de chaleur, son efficacité et son système de bypass
- La régulation des débits (sondes CO2 dans les espaces concernés...)

| VENTILATION           | Type | Régulation | Débit<br>[m3/h.pers] | Jour          | Horaires |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|-----------------------|------|------------|----------------------|---------------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|                       |      |            |                      |               | 1h       | 2h | 3h | 4h | 5h | 6h | 7h | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h | 18h | 19h | 20h | 21h | 22h | 23h | 0h |
| Bureau                | DF   | Horaire    | 25                   | L-S           |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |      |            |                      | D             |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Reunion               | DF   | C02        | 30                   | L-S           |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |      |            |                      | D             |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Atelier               | DF   | Horaire    | 45                   | L-S           |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |      |            |                      | D             |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Studio d'entrainement | DF   | Horaire    | 2 vol/h              | L-S           |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |      |            |                      | D             |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Espace de création    | DF   | Horaire    | 30                   | S             |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |      |            |                      | L-V & D       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Loges                 | DF   | Horaire    | 25                   | L-S           |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |      |            |                      | D             |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Foyer                 | DF   | Horaire    | 25                   | L-S           |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |      |            |                      | D             |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Studio de création    | DF   | Horaire    | 25                   | L-S           |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |      |            |                      | D             |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Espace médiation      | DF   | C02        | 30                   | L-V           |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |      |            |                      | S-D           |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Salle d'exposition    | DF   | Horaire    | 3 vol/h              | Hiver         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |      |            |                      | Été           |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Hall / Café           | DF   | Horaire    | 5400                 | Jour Nocturne |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |      |            |                      | Hiver         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |      |            |                      | Été           |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |

A noter que le rendement de l'échangeur de la CTA dépend de nombreux facteurs dynamiques qui viennent dégrader l'efficacité théorique issue de la certification. C'est pour cela que, dans le cadre des études, l'efficacité théorique a été réduite de 5% pour toutes les CTA pour intégrer ce paramètre.

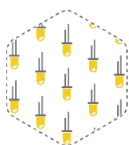
Ainsi, pour les CTA dont l'efficacité théorique est de 80%, la valeur retenue pour la simulation est de 75%.

Pour certains locaux (Salle de repos, Salle Activité B, Salle hors Sac, Salle d'Activité et Auditorium), des sondes CO2 sont prises en compte dans les calculs. En dessous de 500 (partie par million), le débit de ventilation est égal à 20% du débit nominal prévu dans l'espace. Entre 500 et 800ppm, le débit augmente linéairement, jusqu'à atteindre le débit nominal, qu'il maintient au-delà de 800ppm.



**NB** : Les horaires de fonctionnement ont été définis de manière groupée par CTA, afin de représenter de façon réaliste le fonctionnement d'un ensemble de locaux desservis par une même CTA. Ainsi, le démarrage est fixé à H-1 avant le début de l'occupation du premier local et l'arrêt à H+1 après la fin de celle-ci. Une exception est toutefois faite pour les salles équipées de sondes CO<sub>2</sub>, pour lesquelles le fonctionnement est adapté en fonction des besoins.

## Eclairage



A chacune des typologies de locaux est associé un scénario d'usage (lié au scénario d'occupation) avec une puissance d'éclairage en W/m<sup>2</sup>.

Celui-ci est pondéré par une modulation de la puissance d'éclairage afin de prendre en compte les apports lumineux du soleil.

La pondération obéit à la règle suivante :  $f(igh) = 1 - 0,0025x / 1 - 0,0033x$ . Cela correspond à une pondération linéaire de l'éclairage, jusqu'à ce qu'il s'éteigne lorsque le rayonnement extérieur global ( $igh$ )/l'illuminance ( $e1$ ) est supérieur ou égal à 200 W/m<sup>2</sup>/300 Lux.

Les hypothèses d'apports internes liés à l'éclairage sont explicitées dans le tableau ci-dessous.

| ECLAIRAGE             | Puissance | Niveau | Type | Gradation | Jour      | Horaires |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|-----------------------|-----------|--------|------|-----------|-----------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|                       | [W/m²]    | Lux    |      |           |           | 1h       | 2h | 3h | 4h | 5h | 6h | 7h | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h | 18h | 19h | 20h | 21h | 22h | 23h | 0h |
|                       |           |        |      |           |           |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Bureau                | 5,6       | 350    | LED  | ON/OFF    | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |           |        |      |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Reunion               | 5,6       | 350    | LED  | ON/OFF    | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |           |        |      |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Atelier               | 5,6       | 350    | LED  | ON/OFF    | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |           |        |      |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Studio d'entrainement | 5,6       | 350    | LED  | ON/OFF    | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |           |        |      |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Espace de création    | 5,6       | 350    | LED  | ON/OFF    | S         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |           |        |      |           | L-V & D   |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Loges                 | 4         | 250    | LED  | ON/OFF    | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |           |        |      |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Foyer                 | 4         | 250    | LED  | ON/OFF    | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |           |        |      |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Studio de création    | 5,6       | 350    | LED  | ON/OFF    | L-S       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |           |        |      |           | D         |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Espace médiation      | 5,6       | 350    | LED  | ON/OFF    | L-V       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |           |        |      |           | S-D       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Salle d'exposition    | 5,6       | 350    | LED  | ON/OFF    | Hiver     |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |           |        |      |           | Été       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| Hall                  | 5,6       | 350    | LED  | ON/OFF    | Notcturne |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |           |        |      |           | Hiver     |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|                       |           |        |      |           | Été       |          |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |

### 5.3.4 Etudes et résultats

La simulation thermique dynamique permet de modéliser le comportement thermique d'un bâtiment sur une année complète, en tenant compte des données météorologiques du site et d'un grand nombre de caractéristiques du bâtiment.

Le but de cette étude est :

- D'évaluer le confort thermique estival dans les zones non climatisées
  - Pour définir les espaces nécessitant la mise en œuvre de rafraîchissement actif
  - Pour valider l'efficacité des dispositifs de rafraîchissement passif (protections solaires, ventilation naturelle, ...)

Ces calculs sont réalisés par le logiciel Virtual Environment V2024 développé par Integrated Environmental Solutions (IES : [www.iesve.com](http://www.iesve.com)).



Ses différents modules permettent de prendre en compte les caractéristiques du projet influençant la simulation thermique dynamique.



**ModellT** modélise une géométrie de bâtiment en 3D pièce par pièce.

Un fichier météo avec les conditions climatiques heure par heure est sélectionné dans **ApLocate**.



**SunCast** calcule les flux solaires sur chaque paroi en tenant compte des masques.

**Macroflo** calcule les débits liés à l'infiltration et à la ventilation naturelle



**Apache** permet

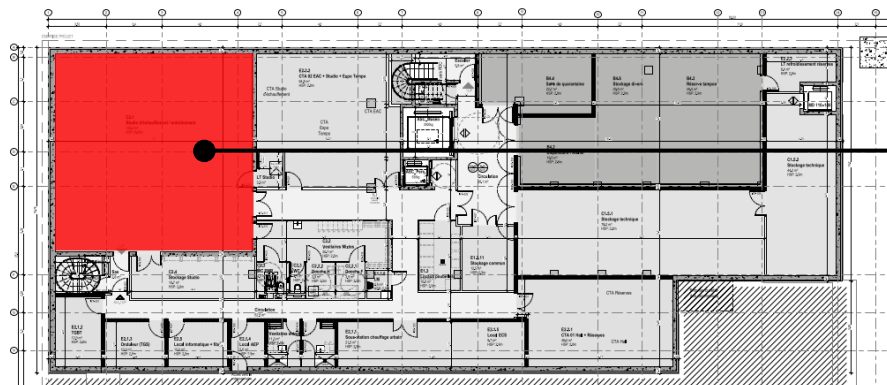
- de définir les compositions de parois opaques
- de renseigner les caractéristiques des parois vitrées : facteur solaire, utilisation des protections solaires mobiles...
- de renseigner les puissances et horaires d'éclairage
- de prendre en compte les horaires et ratios d'occupation
- d'indiquer les consignes de chauffage et de rafraîchissement
- de renseigner les débits et horaires de ventilation mécanique



## Repérage des locaux testés

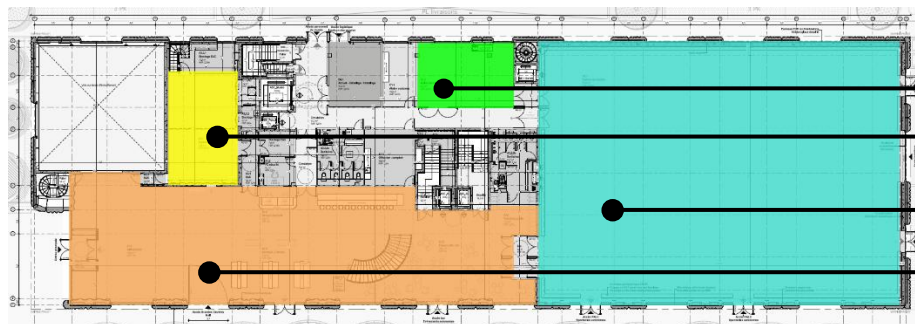
Pour simplifier la lecture des résultats de l'étude de confort, seuls les locaux les plus pénalisés (forte occupation, orientation défavorable...) sont présentés :

Sous-sol :



L1\_Salle d'entraînement

RDC :



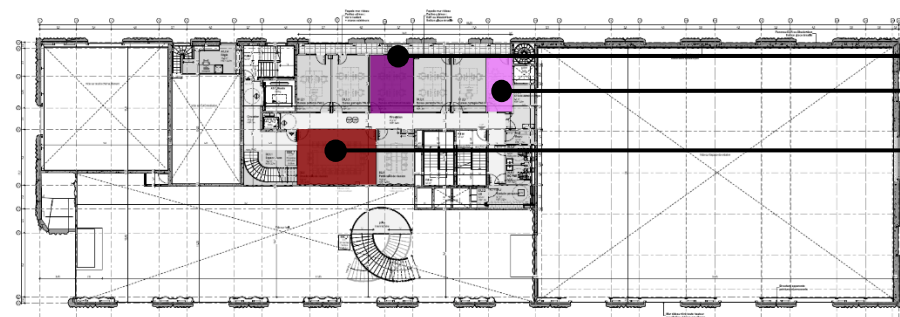
L2\_Atelier

L3\_Salle de médiation

L4\_Espace de création

L5\_Hall

R+1 :

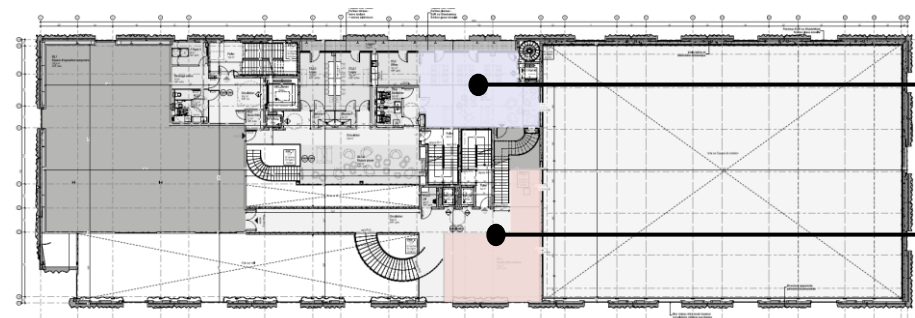


L6\_Bureau 4 personnes

L7\_Bureau 2 personnes

L8\_Salle réunion 20 personnes

R+2 :



L9\_Foyer

L10\_Studio de la création

## Résultat

### Cas de base

| CONFORT ESTIVAL               | Nombre d'Heures >28°C | % d'occupation | Taux de satisfaction |
|-------------------------------|-----------------------|----------------|----------------------|
| L1 SS Salle d'entrainement    | 43                    | 1.1%           | 98,9%                |
| L2 N0 Atelier de construction | 105                   | 3.4%           | 96,6%                |
| L3 N0 salle de médiation      | 5                     | 0.3%           | 99,7%                |
| L4 N0 Espace de création      | 12                    | 0,4%           | 99,6%                |
| L5 N0 Hall                    | 105                   | 4,1%           | 95,9%                |
| L6 R+1 Bureau 4P              | 76                    | 2.1%           | 97,9%                |
| L7 R+1 Bureau 2P              | 66                    | 2.4%           | 97,6%                |
| L8 R+1 Réunion 20P            | 48                    | 1.9%           | 98,1%                |
| L9 R+2 Foyer                  | 160                   | 3,9%           | 96,1%                |
| L10 R+2 Studio de la création | 50                    | 1,2%           | 98,8%                |

Dans les locaux équipés de brasseurs d'air (bureaux, salles de réunion et ateliers), l'analyse du confort selon les critères de Givoni, avec une vitesse d'air de 0,5 m/s, permet de prendre en compte l'effet du mouvement d'air sur le confort thermique, en améliorant la sensation de fraîcheur ressentie par les occupants.

Le diagramme de Givoni est un diagramme de l'air humide dans lequel plusieurs zones de confort sont détaillées. On retrouve généralement 4 zones : la zones 0m/s, 0,5 m/s, 1 m/s et 1,5m/s. Les vitesses précédentes sont les vitesses de vent dans un local.

Dans le cas d'un brasseur d'air les vitesses d'air étudiées peuvent varier entre 0,5 et 1m/s. Ici nous avons sélectionné la zone 0,5m/s. Dans cette zone nous regardons le nombre de points (Température et humidité) présents. Plus il y a de vitesse d'air, plus la zone de confort est grande. Voici la représentation du diagramme de Givoni :

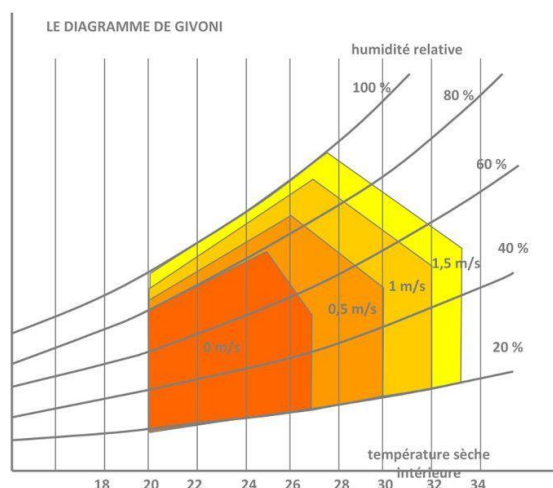


Figure 9 : Diagramme de Givoni

| CONFORT ESTIVAL GIVONI        | Heures d'inconfort<br>0,5 m/s | % d'occupation | Taux de satisfaction |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------------|
| L2 N0 Atelier de construction | 30                            | 1%             | 99%                  |

|    |                 |           |             |              |
|----|-----------------|-----------|-------------|--------------|
| L6 | R+1 Bureau 4P   | <b>23</b> | <b>0.8%</b> | <b>99,2%</b> |
| L7 | R+1 Bureau 2P   | <b>24</b> | <b>0.8%</b> | <b>99,2%</b> |
| L8 | R+1 Reunion 20P | <b>32</b> | <b>1.3%</b> | <b>98,7%</b> |
| L9 | R+2 Foyer       | <b>68</b> | <b>1.7%</b> | <b>98,3%</b> |

## Conclusion du cas de base

Dans l'ensemble, les critères de confort thermique sont respectés dans les locaux étudiés. Les heures d'inconfort restent faibles, les taux d'occupation concernés sont limités, et les taux de satisfaction globalement sont élevés, souvent proches ou supérieurs à 98 %. Les espaces comme les ateliers, les bureaux et certaines salles de réunion présentent donc un niveau de confort satisfaisant, notamment grâce à l'action des brasseurs d'air qui permet d'améliorer la sensation de fraîcheur ressentie par les occupants.

Cependant, le hall présente encore des résultats moins favorables, avec un nombre d'heures d'inconfort plus important et un taux de satisfaction plus faible que les autres zones. Il apparaît donc nécessaire d'étudier une variante pour cet espace. L'intégration d'une sérigraphie sur les surfaces vitrées du hall pourrait permettre de limiter les apports solaires, de réduire les surchauffes et d'améliorer le confort d'été.

## Variante Hall avec Vitrage Sérigraphique

Dans le but d'améliorer le confort des usagers une variante du vitrage sérigraphique a été étudié. La sérigraphie a dans cette situation l'intérêt de diminuer fortement les apports solaires sans rajouts de protection de type store ou rideau. Il a été pris une hypothèse de vitrage avec un TL GLOBAL de 50% et un facteur solaire GLOBAL du vitrage de 20% (au lieu de TL = 70% et FS = 40% sans sérigraphie).

Les résultats avec la sérigraphie sont les suivants :

| <b>CONFORT ESTIVAL</b> | <b>Heures &gt;28°C avec<br/>70/40</b> | <b>Heures &gt;28°C avec<br/>50/20</b> |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| L5 NO Hall             | <b>105</b>                            | <b>24</b>                             |

L'ajout de sérigraphie permet de faire baisser considérablement le nombre d'heures d'inconfort.

Une étude de facteur solaire du vitrage sérigraphié sera menée en phase suivante avec un verrier afin d'obtenir le bon taux de sérigraphie permettant d'atteindre un facteur solaire <20% sur les vitrages du hall.

## 5.4 ETUDE DES CONSOMMATIONS

### 5.4.1 Besoins, consommations finales et primaires

Le logiciel de simulation thermique dynamique nous permet de :

- Calculer les besoins de chauffage et de refroidissement du bâtiment
- Calculer les consommations énergétiques liées au chauffage, au refroidissement, à la ventilation et à l'éclairage du bâtiment

Pour obtenir les consommations finales, des rendements sont appliqués pour les productions de chauffage et refroidissement. Les équipements consommant de l'électricité directe (éclairage, ventilation, mobiliers) ont un rendement considéré de 100%.

Enfin le type d'énergie définit le coefficient pour passer des consommations finales aux consommations primaires. Ils diffèrent selon la réglementation appliquée : dans un bâtiment non soumis à la RE2020, il est de 2.3 pour l'électricité et 1 pour les autres énergies ;

**NOTA : Ces consommations sont des consommations théoriques issues de STD et RT, qui n'intègrent pas les consommations process et peuvent s'éloigner de consommations réelles constatées. Elles sont données à titre indicatif.**

### 5.4.2 Périmètre étude

Les besoins et consommations ont été estimés pour chacun des bâtiments sur les postes :

- Chauffage ;
- Refroidissement ;
- L'éclairage ;
- La ventilation ;
- Les équipements mobiliers (ordinateurs et matériels spécifiques).

### 5.4.3 Consommations et besoins par postes

#### BESOINS CHAUD ET FROID

| SYNTHESE    | BESOINS |        |
|-------------|---------|--------|
|             | MWh     | kWh/m² |
| CHAUD       | 200     | 36,1   |
| ECLAIRAGE   | 45      | 8,1    |
| VENTILATION | 202     | 36,3   |
| FROID       | 33      | 5,9    |
| EQUIPEMENTS | 19      | 3,4    |
| TOTAL       | 499     | 89,8   |

Les besoins énergétiques du bâtiment s'élèvent à 499 MWh soit 89,8 kWh/m². Trois postes concentrent la grosse majorité de ces besoins : le chauffage, la ventilation et le froid. Ce profil s'explique par les contraintes de conservation des œuvres. Les espaces d'exposition fonctionnent en tout air 24h/24 avec des débits de renouvellement d'air élevés. Le projet intègre aussi une déshumidification active qui génère des besoins de chaud supplémentaires pour le conditionnement de l'air.

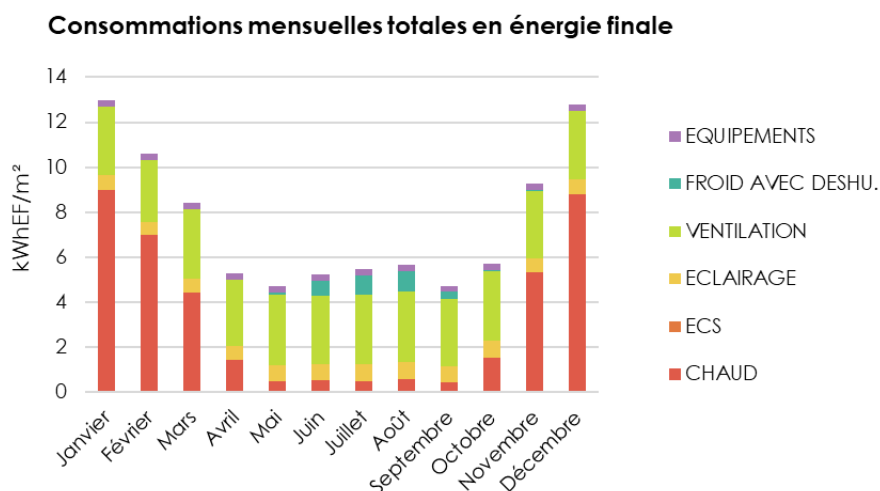
## CONSOMMATIONS GLOBALES

Contrairement au calcul réglementaire RE2020, qui porte exclusivement sur les entités soumises à la réglementation (administration et studio d'échauffement), l'étude de consommations par simulation thermique dynamique couvre l'ensemble du bâtiment. Elle permet d'estimer les besoins et consommations globaux, toutes destinations confondues musée, espaces de création, PALC et administration sur les postes de chauffage, refroidissement, déshumidification, éclairage, ventilation et équipements.

Pour la ventilation des SFPv de soufflage de 0,35 et de 0,35 pour la reprise ont été considérée.

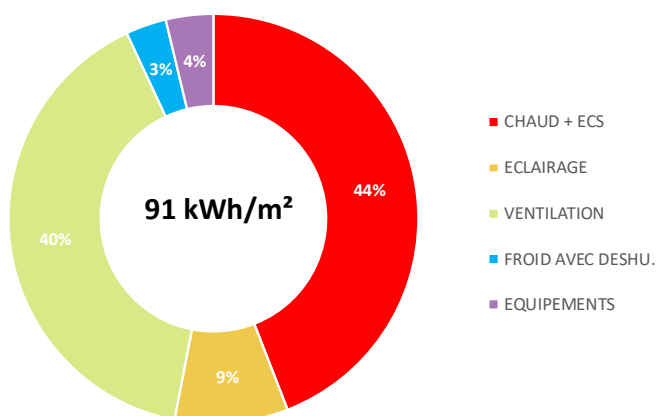
| Rendements | Production | Régulation | Distribution | Emission | TOTAL |
|------------|------------|------------|--------------|----------|-------|
| Chaud      | 1          | 0,95       | 0,95         | 0,95     | 0.86  |
| Froid      | 2.38       | 0.95       | 0.95         | 0.95     | 2.05  |

| Énergie                        | Coefficient EP |
|--------------------------------|----------------|
| Électricité                    | 2,3            |
| Réseau de chaleur urbain (RCU) | 1,0            |



|                    | CONSOS EF  |             | CONSOS EP  |              |
|--------------------|------------|-------------|------------|--------------|
|                    | MWhEF      | kWhEF/m²    | MWhEP      | kWhEP/m²     |
| <b>CHAUD</b>       | 223        | 40,1        | 223        | 40,1         |
| <b>ECLAIRAGE</b>   | 45         | 8,1         | 104        | 18,7         |
| <b>VENTILATION</b> | 202        | 36,3        | 464        | 83,5         |
| <b>FROID</b>       | 16         | 2,9         | 37         | 6,7          |
| <b>EQUIPEMENTS</b> | 19         | 3,4         | 43         | 7,8          |
| <b>TOTAL</b>       | <b>505</b> | <b>90,8</b> | <b>871</b> | <b>156,8</b> |

### Répartition des consommations en énergie finale



Les consommations globales du bâtiment s'élèvent à 91 kWh/m² en énergie finale, réparties principalement entre deux postes dominants : le chauffage (43%) et la ventilation (40%). Ces deux usages concentrent à eux seuls plus de 80% des consommations, ce qui oriente clairement les priorités d'action.

Cette répartition s'explique à nouveau par les contraintes de conservation des œuvres, qui imposent un renouvellement d'air élevé de 5 vol/h dans les espaces d'exposition fonctionnant en tout-air 24h/24. Ce fonctionnement continu génère des besoins de chauffage importants pour maintenir les conditions hygrothermiques stables, créant ainsi un couplage fort entre ventilation et chauffage qu'il est difficile de dissocier.

La valeur seuil du liée au décret tertiaire est de 95 kWh/m²/an.

|                             | Consommation d'énergie finale | Unité     |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------|
| Décret tertiaire seuil 2030 | 95                            | kWh/m²/an |
| Bâtiment du Cirque          | 91                            | kWh/m²/an |

Au regard du décret tertiaire 2030, le projet atteint les objectifs visés, mais avec une marge limitée. Les leviers d'amélioration restent contraints par les exigences muséographiques. Les pistes envisageables portent sur l'optimisation des débits en espace muséale qui aurait aussi un fort impact sur la diminution du poste chaud sur ces espaces.

## 6 CONFORT VISUEL

La simulation d'éclairage naturel permet d'estimer la quantité de lumière naturelle disponible dans les différents locaux du projet. Elle se caractérise par l'indicateur d'Autonomie Lumineuse.

L'autonomie lumineuse est un indicateur qui permet de déterminer les heures de la journée où l'on peut se passer d'éclairage artificiel. Celui-ci est donné en pourcentage de temps de la période d'occupation où un niveau d'éclairement en lumière du jour visé est atteint dans le local. L'objectif est d'apporter un niveau d'éclairement en lumière naturelle, donné en lux, afin de limiter le recours à l'éclairage artificiel et obtenir des conditions de confort visuel favorisant le maintien du cycle circadien des usagers.

Le calcul s'effectue avec les données d'éclairement issues du fichier météo. **Le fichier météo retenu pour cette étude est celui en météo moyenne de Reims.**

Les résultats d'autonomie lumineuse dépendent de :

- L'orientation ;
- La localisation ;
- Les masques environnants extérieurs ;
- La surface vitrée ;
- Les hauteurs sous plafond ;
- Les coefficients de réflexion des parois ;
- La transmission lumineuse des vitrages.

Aucun objectif n'est décrit dans le programme mais l'autonomie correspond au pourcentage de temps es heures de jour de la période d'occupation, pendant lequel le niveau d'éclairement sur la surface du plan utile, en chaque point de la pièce, est supérieur ou égal au niveau d'éclairement retenu, **350 Lux pour les bureaux et espaces d'entrainements et 200 lux pour le Hall.**

Les calculs sont menés sur un échantillon de locaux représentatifs de l'ensemble des configurations de locaux de type hall, bureaux et espaces artistiques.

### 6.1 HYPOTHESES DE CALCUL

#### 6.1.1 Logiciel

Le calcul a été effectué sur Luminæ.

Il s'agit d'un plug-in de SketchUp qui permet de réaliser des calculs d'éclairement naturel sur la géométrie exacte du projet.



#### 6.1.2 Modélisation 3D

Le modèle 3D du projet a été exporté en format SketchUp pour cette analyse.

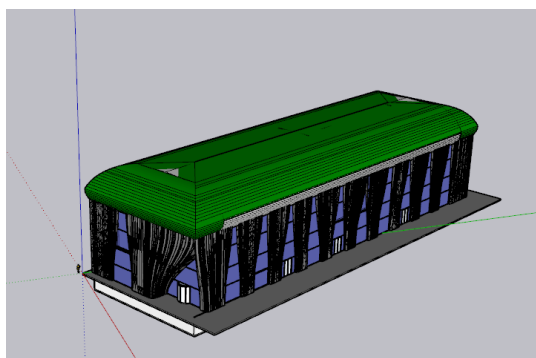


Figure 10 - Modèle SketchUp ALJ

### 6.1.3 Parois et coefficients de réflexion

Les coefficients suivants de réflexion des parois ont été considérés :

| COEFFICIENT OPTIQUES DES PAROIS |      |
|---------------------------------|------|
| Face intérieure –mur extérieur  | 0.60 |
| Parois intérieures              | 0.70 |
| Parois extérieures              | 0.40 |
| Sol                             | 0.30 |
| Plafond                         | 0.80 |
| Sol extérieur (tous)            | 0.30 |

### 6.1.4 Coefficients de transmission lumineuse

La valeur de transmission lumineuse des vitrages est égale à 70%.

### 6.1.5 Masques et protections solaires

L'ensemble des masques proches (balcons) et lointains (bâtiments à proximité) sont modélisés dans le modèle. En revanche, les arbres ne sont pas pris en compte dans le modèle.

L'ensemble des protections solaires mobiles sont considérées en position relevée dans le calcul.

### 6.1.6 Zone de calcul

La zone de calcul de chaque local est calculée en fonction de la hauteur sous linteau et la hauteur de plan de travail suivant la formule :

$(\text{Hauteur sous linteau} - \text{hauteur de plan de travail}) * 2,5$

### 6.1.7 Plan de travail

La hauteur de plan de travail est fixée à 0,7m pour les bureaux, et 1m pour le Hall et les espaces de création / entraînements.

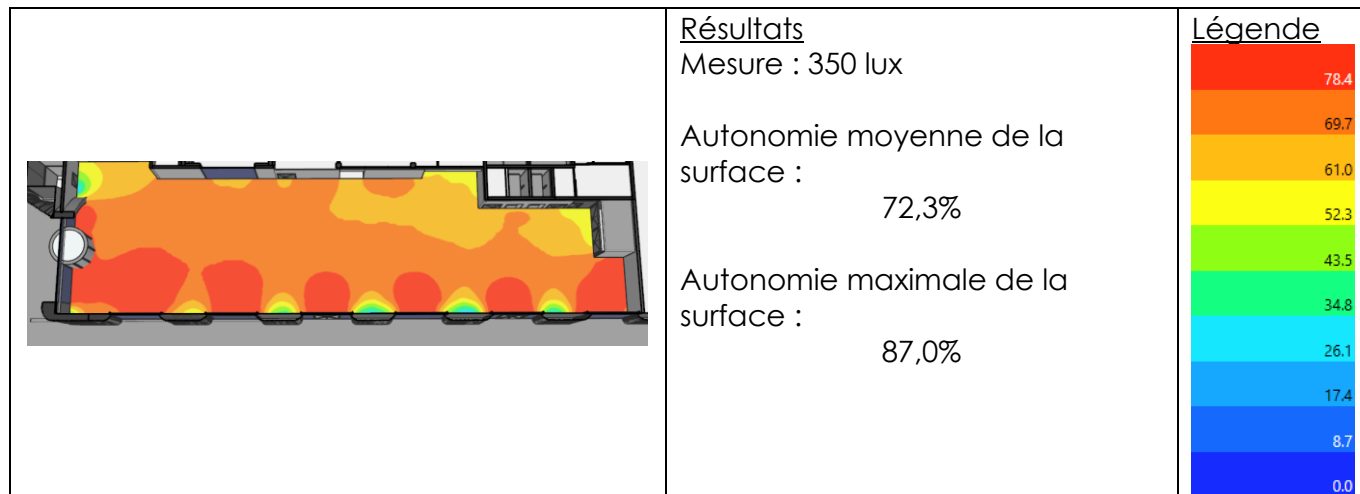
### 6.1.8 Locaux étudiés

Les locaux étudiés sont les suivant selon la nomenclature détaillée dans le paragraphe 5.3.4 :

- L1\_Salle d'entraînement
- L3\_Salle de médiation
- L5\_Hall
- L6\_Bureau 4 pers
- L7\_Bureau 2 personnes

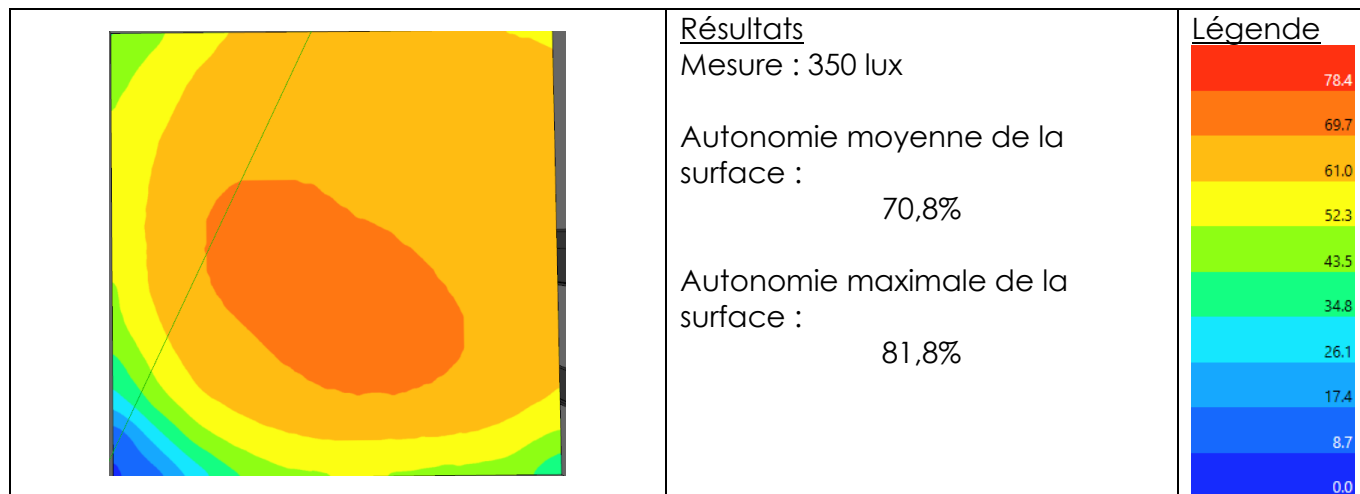
## 6.2 RESULTATS ALJ

### 6.2.1 Hall

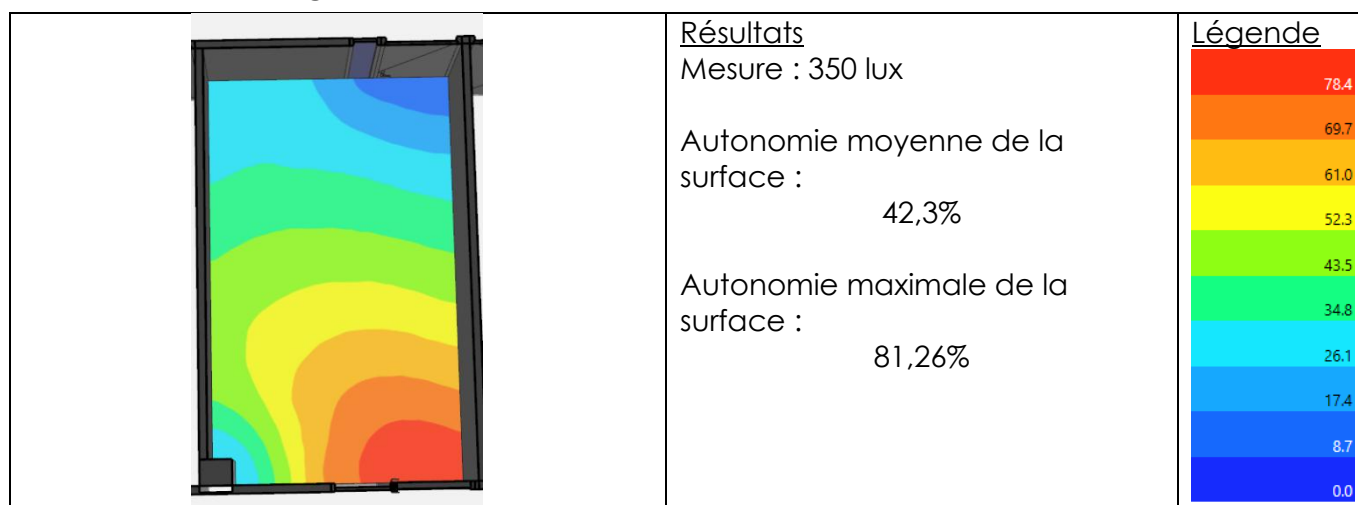


L'autonomie lumineuse est performante dans le hall. De plus, l'autonomie moyenne sera bien plus grande avec un objectif de 200 lux.

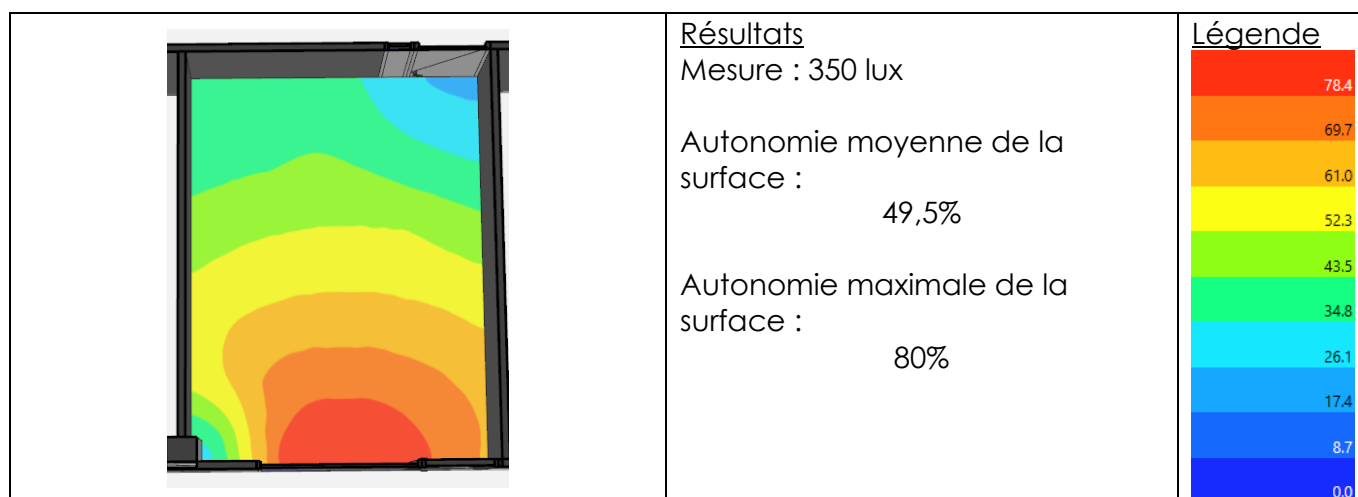
### 6.2.2 Salle d'entraînement



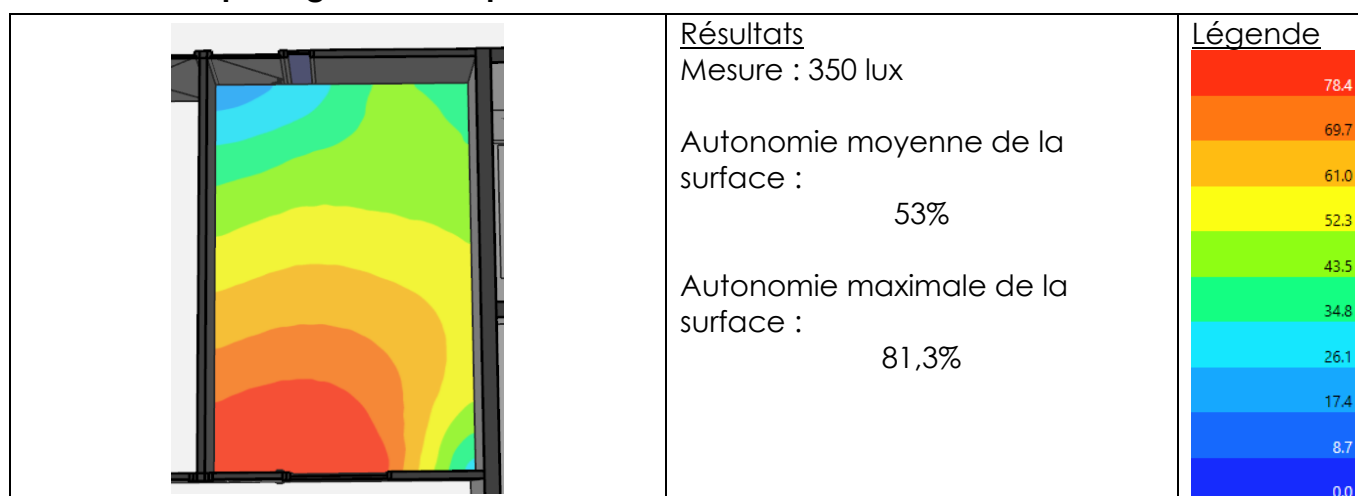
### 6.2.3 Bureau partagés PALC 3 pers



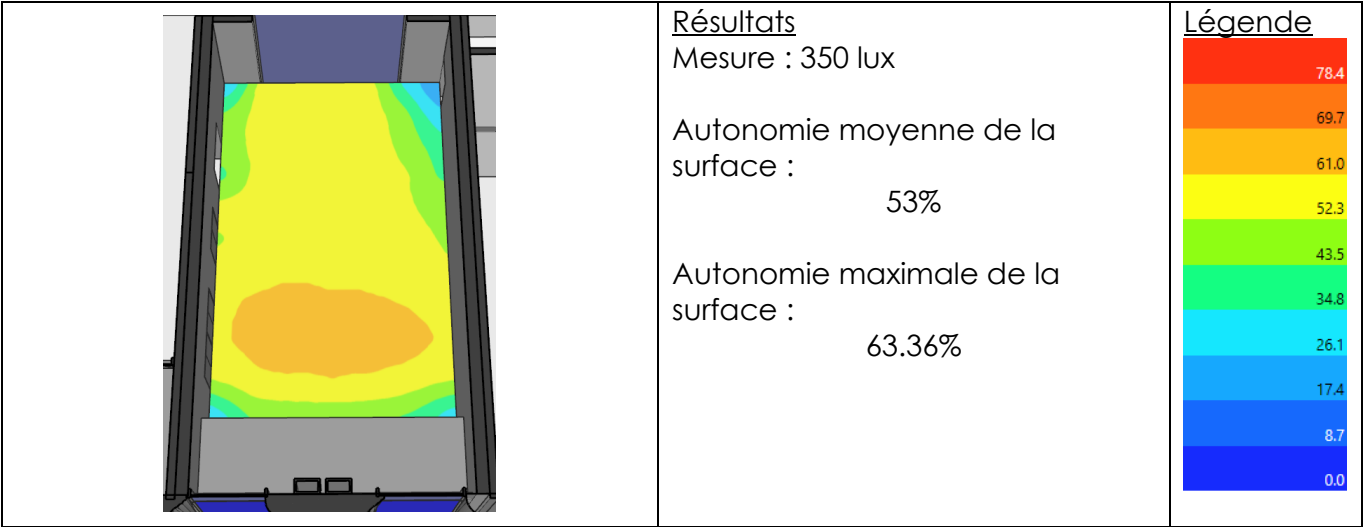
### 6.2.4 Bureau administratif musée



### 6.2.5 Bureau partagés PALC 4 pers



6.2.6 Espace médiation



## **7 MAINTENANCE ET EXPLOITATION FACILITEES**

L'entretien-maintenance est le processus qui garantit la qualité environnementale du bâtiment en exploitation, ainsi la conception du bâtiment, ses dispositifs architecturaux et ses solutions techniques doivent permettre d'assurer sa pérennité dans le temps en facilitant les interventions d'entretien-maintenance, le maintien des performances notamment énergétique, la modularité des espaces et la maîtrise des futurs coûts d'exploitation très contraints, mis en parallèle des coûts d'investissement initiaux.

### **7.1 FLEXIBILITE ET ADAPTABILITE**

Le projet s'inscrit dans une approche globale qui prend en compte la durabilité, la facilité d'entretien-maintenance et la maîtrise des coûts d'investissement et d'exploitation. Ainsi, ses principes clés sont les suivants :

- Une structure plutôt dégagée pour offrir une certaine flexibilité dans l'aménagement des espaces intérieurs. Les surcharges sont uniformisées sur les différents niveaux afin de permettre, dans certaines limites, une réaffectation des usages. Le grand espace du RDC, ainsi que les plateaux d'exposition sont ouverts et peuvent permettre une restructuration interne.
- Un accès facilité à l'ensemble des produits, matériaux et équipements techniques (de production et terminaux) composant le bâtiment par :
  - o Le regroupement des installations.
  - o Les réseaux sectorisés, placés en hauteur et majoritairement visibles.
  - o La conception ergonomique des locaux techniques prévoit suffisamment d'espace pour que les intervenants puissent travailler aisément autour des équipements, avec des dispositifs de réglage accessibles à hauteur d'homme.
- Le choix de matériaux robustes, fiables et durables
  - o Le béton, bois, verre et métal notamment en structure et en façade pour minimiser les besoins d'entretien.
  - o L'ensemble des produits et dispositifs techniques seront des solutions éprouvées et validées disposant d'un avis technique ou équivalent pour l'usage qui leur est destiné. Cela garantira leur fiabilité et efficacité dans un objectif de pérennité de l'ouvrage d'une durée de vie minimale de 50 ans. Les notices rappelleront les exigences : marquage CE, Avis technique, ACERMI, DTA, DTU etc.
- La conception du projet s'attache à maximiser la séparabilité et l'évolutivité des produits, matériaux et systèmes mis en place. Cela présente plusieurs atouts pour la conception d'un projet durable : elle permet la flexibilité des aménagements, la capacité d'adaptation du bâtiment et sa démontabilité en fin de vie (pour un réemploi futur éventuellement). Une harmonisation, standardisation des fournitures est également prévue pour simplifier leur remplacement.

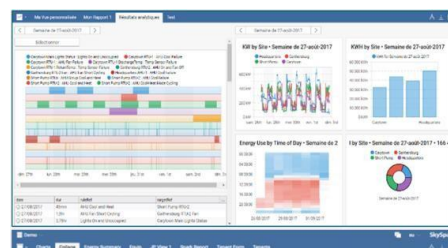
### **7.2 ENTRETIEN-MAINTENANCE**

#### **7.2.1 Stratégie de maintenance**

Une bonne exploitation maintenance ainsi que la maîtrise de son coût sont essentielles pour assurer la performance énergétique d'un bâtiment et sa pérennité dans le temps. Notre stratégie repose sur l'activation de plusieurs leviers de maîtrise du coût global pour la rénovation :

- **Analyse de cycle de vie (ACV) :** L'ACV de l'administration permet d'évaluer le coût total carbone sur 50 ans, en tenant compte des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance, mais aussi des économies d'énergie et de réduction de l'empreinte carbone du bâtiment.

- **Efficacité énergétique** : créer un bâtiment sobre en énergie dans le respect du décret tertiaire.
- **Choix des matériaux** : Opter pour des matériaux durables et à faible entretien, qui peuvent réduire les coûts de réparation et de remplacement sur le long terme. L'usage réfléchi du bois dans des zones protégées des conditions météorologiques.
- **Maintenance préventive** : Mettre en place un plan de maintenance préventive pour éviter les réparations coûteuses et prolonger la durée de vie des systèmes et des installations.
- **Optimisation des solutions techniques** : Proposer des solutions techniques efficaces, pérennes, en fonction des impacts environnementaux
- **Gestion intelligente** : Installation d'une gestion technique du bâtiment (GTB) les systèmes de gestion technique pourront intégrer des alertes centralisées en cas de dysfonctionnement ou en cas de consommations anormalement élevées. Déploiement d'une maintenance assistée par ordinateur GMAO intégrant toutes les gammes de maintenance par lot.
- **Engagement des occupants** : Sensibiliser et impliquer les occupants pour qu'ils adoptent des comportements économes en énergie.



Il sera fait le choix de matériaux robustes, fiables et durables pour minimiser les besoins d'entretien. L'ensemble des produits et dispositifs techniques seront des solutions éprouvées et validées disposant d'un avis technique ou équivalent pour l'usage qui leur est destiné. Cela garantira leur fiabilité et efficacité dans un objectif de pérennité de l'ouvrage d'une durée de vie minimale de 50 ans. Les notices rappelleront les exigences : marquage CE, Avis technique, ACERMI, DTA, DTU etc.

## 7.2.2 Clos-Couvert (Structure, Toiture et Façades)

### Enjeux

Nous entendons par « entretien », le nettoyage des façades. Les bénéfices d'un entretien régulier des façades sont nombreux. Notons parmi eux :

- Esthétique du bâtiment
- Luminosité à l'intérieur des pièces du bâtiment
- Maintien des performances de l'enveloppe
- Augmentation de la durée de vie



En considérant ces avantages, il est dès lors recommandé d'entretenir son **enveloppe** au moins **une fois par an**. Concernant l'entretien des **façades vitrées** il est recommandé un **nettoyage deux fois par an**.

Nous entendons par « maintenance », le remplacement d'un des éléments de façade (par exemple un vitrage). Les enjeux d'une facilité de maintenance sont nombreux. Notons parmi eux :

- Rapidité d'intervention
- Sécurité du personnel d'intervention
- Coût d'intervention maîtrisé

En considérant ces avantages, il est dès lors recommandé d'avoir un **scénario d'intervention** préalablement défini.

## Principes

Les différentes typologies de façades sont repérées sur les plans et décrites dans la notice économique.

| Matériau                 | Localisation                        | Durée de Vie     | Opération E-M                                                                                                                                          | Approche Environnementale                                                          |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Béton                    | Fondations<br>Planchers<br>Ossature | Matériau pérenne | Entretien quasi-nul, surveillance                                                                                                                      | Matériau recyclable en fin de vie                                                  |
| Charpente métallique     | Structure                           | Environ 50 ans   | Contrôle corrosion tous les 10 ans                                                                                                                     | Démontabilité                                                                      |
| Charpente Bois           | Structure                           | Environ 50 ans   | Contrôle Annuel<br>Entretien et maintenance spécifique en cas de réfection de la toiture ou sinistre                                                   | Démontabilité                                                                      |
| Ecailles métalliques     | Couverture                          | 30 à 40 ans      | Nettoyage toiture et évacuation annuel<br>Entretien et contrôle de corrosion tous les 2 ans<br>Reprise ponctuelle des fixations tous les 5 à 7 ans     | Démontabilité                                                                      |
| Façade impression 3D     | Façades                             | 35 à 45 ans      | Contrôle biannuel (état des salissures, mousses et fissures) et ravalement au besoin + reprise ponctuelle si enduit abimé                              |                                                                                    |
| Aluminium<br>Acier       | Menuiseries                         | Environ 30 ans   | Entretien léger, nettoyage des profils et surveillance des fixations, joints, quincailleries (5 à 7 ans)                                               | Consommation d'énergie importante pour la fabrication mais recyclable indéfiniment |
| Vitrage                  | Menuiseries                         | Environ 30 ans   | Entretien se limitant au nettoyage 2 fois par an                                                                                                       | Energie grise importante<br>Favorise éclairage naturel                             |
| Stores toiles intérieurs | Menuiseries (voir plan de repérage) | Environ 15 ans   | Contrôle biannuel (état de la toile, mécanismes, guides, etc.) et réparation au besoin, dépoussiérage ou nettoyage à l'eau claire en cas de salissures | Contrôle de l'éblouissement                                                        |

## Accessibilité

### **De plain-pied**

Le nettoyage de plain-pied permet de nettoyer les zones à hauteur d'homme et nécessite un accès facile aux façades. Pour les parties de vitrage ouvrantes plusieurs accessoires peuvent-être utilisés pour cette mission telles que les raclettes, les brosses et les chiffons.

Pour les partie fixes il peut être utilisé des nettoyeurs de vitre magnétique ou une perche courbe depuis l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Ces techniques nécessitent une proximité immédiate d'un ouvrant et une mise en sécurité à l'aide d'un trépied d'ancrage intérieur par exemple.



Figure 11 - Accessoire nettoyage plain-pied

### **Perche télescopique**

Pour certain vitrage de grande hauteur une plateforme individuelle roulante légère (PIR) peut être utilisée ou une perche télescopique (12 à 14 m de haut recul nécessaire, angle de 70°)

La perche télescopique pourra permettre d'atteindre les vitrages les plus haut du mur rideaux avec une hauteur maximale de 14 m.

### **Opération de maintenance**

Les opérations de maintenance ont lieu dans le cas de vitrages abîmés ou cassés. Nous recommandons l'utilisation d'un chariot ventouse ou d'un chariot lève vitre depuis l'intérieur, élévateur pour les vitrages de grande hauteur. Le déparclosage sera fait par un ou deux opérateurs suivant la méthode utilisée.



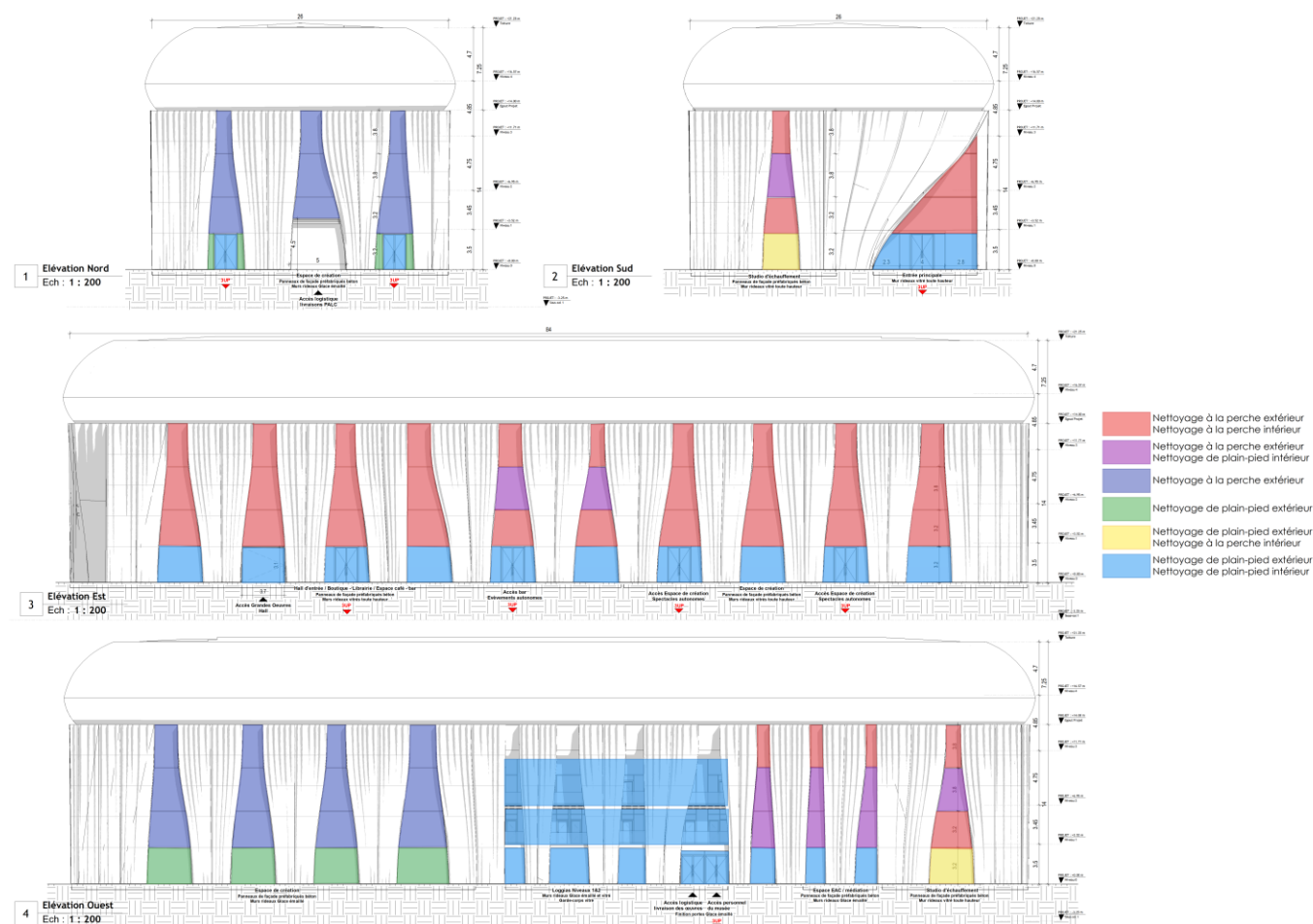
Équipements pour la maintenance : chariot lève vitre (à gauche) et chariot lève vitre élévateur (à droite)

### Produits d'entretien

 Quel que soit le type et la localisation de la façade, une attention particulière est demandée lors de la sélection du produit d'entretien. Les produits d'entretien ne doivent pas contenir de produits chimiques. Il est donc recommandé d'opter pour un lavage à l'eau pure. Celle-ci est obtenue grâce au procédé d'osmose inversée qui décharge l'eau de toute impureté. L'eau ainsi obtenue est dite « pure » et détient des propriétés détergentes considérables.

Par ailleurs, différents moyens d'entretien de façades existent et divergent en fonction de la typologie et de la localisation des parois à nettoyer.

Le type de nettoyage des façades est décrit dans le schéma ci-dessous.



### 7.2.3 Matériaux de finitions

Les différentes typologies de finitions de sols, murs et plafonds sont repérées dans les plans architectes.

| Matériau                            | Localisation                          | Durée de Vie   | Opération E-M                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Menuiseries intérieures bois</b> | -                                     | Environ 30 ans | Vérification aspect général (ferrures, charnières, état de surface) et réparation, reprise de peinture et/ou vernis au besoin + dépoussiérage, chiffon humide au besoin |
| <b>Plaque de plâtre</b>             | Cloisons –<br>Doublages -<br>Plafonds | Environ 30 ans | Vérification aspect général (stabilité, fissures) et rebouchage au besoin + dépoussiérage, chiffon humide au besoin                                                     |
| <b>Fibre de bois</b>                | Plafonds                              | Environ 30 ans | Vérification aspect général (fixation, humidité) + Peu d'entretien, dépoussiérage ponctuel                                                                              |

|                             |                       |                |                                                                                                                                                  |
|-----------------------------|-----------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Peinture</b>             | -                     | Environ 10 ans | Vérification aspect général, nettoyage au besoin (éponge humide pierre d'argile, détergent dans le cas de moisissures) et réfection des supports |
| <b>Habillage en bois</b>    |                       | Environ 15 ans | Dépoussiérage hebdomadaire<br>Remplacement selon besoin                                                                                          |
| <b>Sol Linoléum</b>         | Voir plan de repérage | Environ 20 ans | Nettoyage courant<br>Réfection partielle ou totale selon besoin                                                                                  |
| <b>Parquet bois massif</b>  | Salles d'exposition   | Environ 50 ans | Nettoyage courant<br>Poncer et vitrifier tous les 7 à 10 ans<br>Réfection totale tous les 30 à 50 ans                                            |
| <b>Carrelage et Faïence</b> | Voir plan de repérage | Environ 30 ans | Nettoyage courant à l'eau, contrôle (usure des joints, etc.) et remplacement des carreaux détériorés                                             |

A noter que pour les locaux avec un besoin en nettoyage important (locaux déchets, ménage et sanitaires par exemple) sont facilement nettoyables et/ou lessivables.

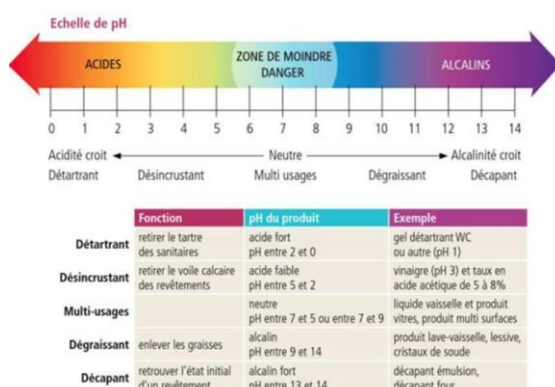
### Produits d'entretien



Comme tous les produits, ceux de nettoyage présentent des impacts environnementaux tout au long de leur cycle de vie. L'objectif est de limiter cet impact au maximum c'est pourquoi, nous insistons sur le choix de produits d'entretien respectueux de l'environnement et de la santé tout en veillant à leur efficacité (utilisation de la juste dose, polyvalents)

Dans ce cadre il doit être préféré l'utilisation de produit écolabellisés (étiquetage environnemental de type I, ISO 14 024 : Écolabel européen, Cygne Blanc, etc.) hors détartrant et désinfectants pour un usage ponctuel là où c'est nécessaire.

Il est à noter que certains consommables (sacs poubelles notamment) peuvent également obtenir l'Ecolabel NF Environnement afin de limiter leur impact sur l'environnement.



En résumé, les caractéristiques principales recherchées sont :

- Moins de Composés Organiques Volatiles (COV),
- Toxicité limitée pour les milieux aquatiques,
- Limitation de la quantité de phosphore et phosphates,
- Parfums réglementés pour éviter le caractère allergène des produits,
- Recyclage des emballages.

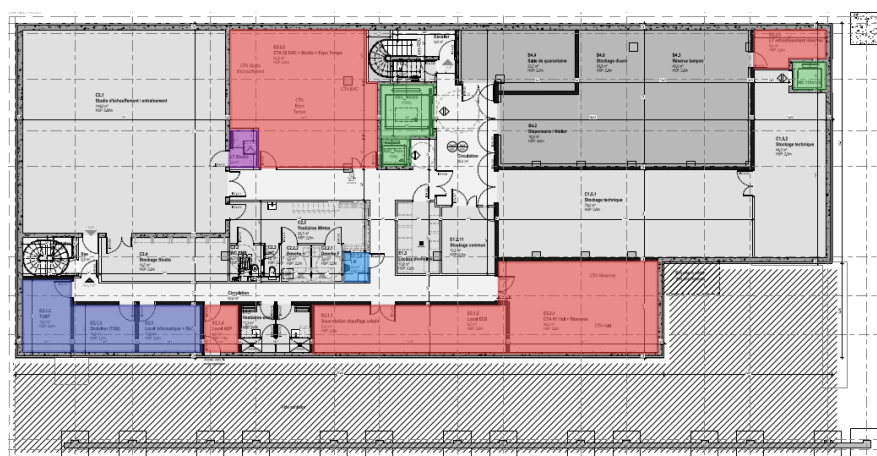
## 7.2.4 Locaux et installations techniques

Le projet prévoit des dispositions afin de faciliter les opérations d'entretien et de maintenance des installations techniques. Cela passe par :

- Une facilité d'accès aux équipements techniques, qu'il s'agisse des éléments primaires ou des terminaux
- Le regroupement des installations :
  - o Au sous-sol : 2 locaux CTA, la sous-station et le local ECS, le local AEP, le local TGBT, le local informatique et le local onduleur. Accessibles depuis l'accès personnel du RDC par l'ascenseur et les escaliers
  - o Au R+1 : le local CTA de l'administration et des loges. Accessible depuis l'accès personnel du RDC par l'ascenseur et les escaliers.
  - o Au R+4 : les locaux CTA des salles d'exposition et le groupe froid. Accessible depuis le monte-charge dans le studio de création au RDC par l'ascenseur puis par les escaliers au niveau du gril au R+3. L'intégration des éléments technique pour cet étage se feront par une grue en toiture. **Une note d'entretien et maintenance des équipements de cet étage a été réalisée par le spécialiste CVC et se trouve en Annexe.**
- En cas de besoin d'une opération GER, les organes seront démontables, permettant de remplacer les moteurs, filtres et ventilateurs. Les CTA sont sectorisés (un équipement par secteur) de manière qu'en cas d'intervention sur une CTA les autres zones continuent de fonctionner normalement
- Mise en place de dispositifs de contrôle : tous les plafonds seront visitables (trappes) et les organes techniques concernés par des opérations de maintenance courante seront au maximum accessible en plénum des circulations.
- L'ensembles des réseaux de distribution sont sectorisés et évolutifs par leur passage en aérien avec les terminaux et organes de régulation facilement accessibles ou visibles ;
- La conception ergonomique des locaux techniques prévoit suffisamment d'espace pour que les intervenants puissent travailler aisément autour des équipements, avec des dispositifs de réglage accessibles à hauteur d'homme pour faciliter les interventions.
- Un choix d'équipements hydro-économe, un suivi et détection de fuite d'eau pour limiter les consommations d'eau potable ;
- Une présence de comptages adaptés pour le suivi des consommations d'eau et d'énergies,

Les équipements restants implantés en toitures sont les panneaux solaires photovoltaïques. Pour plus de détails, il est possible de consulter les pièces graphiques techniques.

S-1



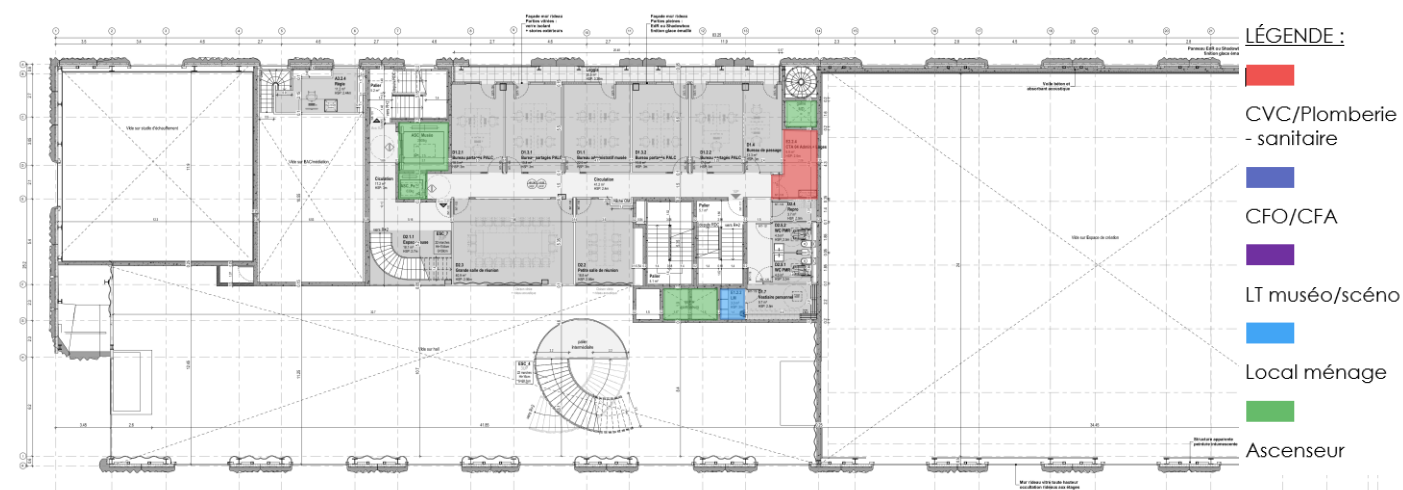
LÉGENDE :

- CVC/Plomberie - sanitaire
- CFO/CFA
- LT muséo/scéno
- Local ménage
- Ascenseur

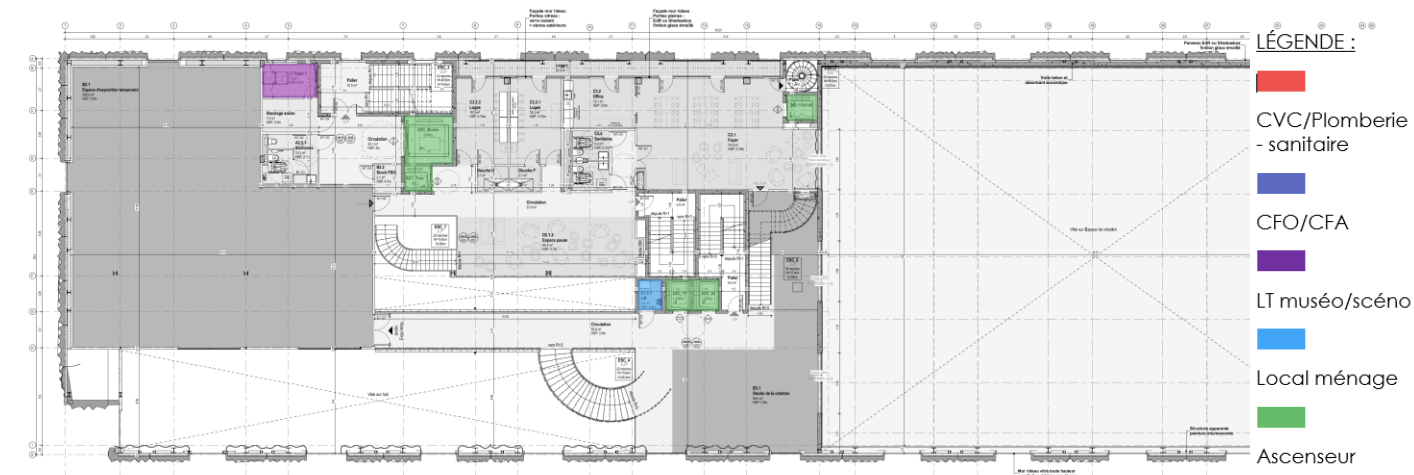
## RDC



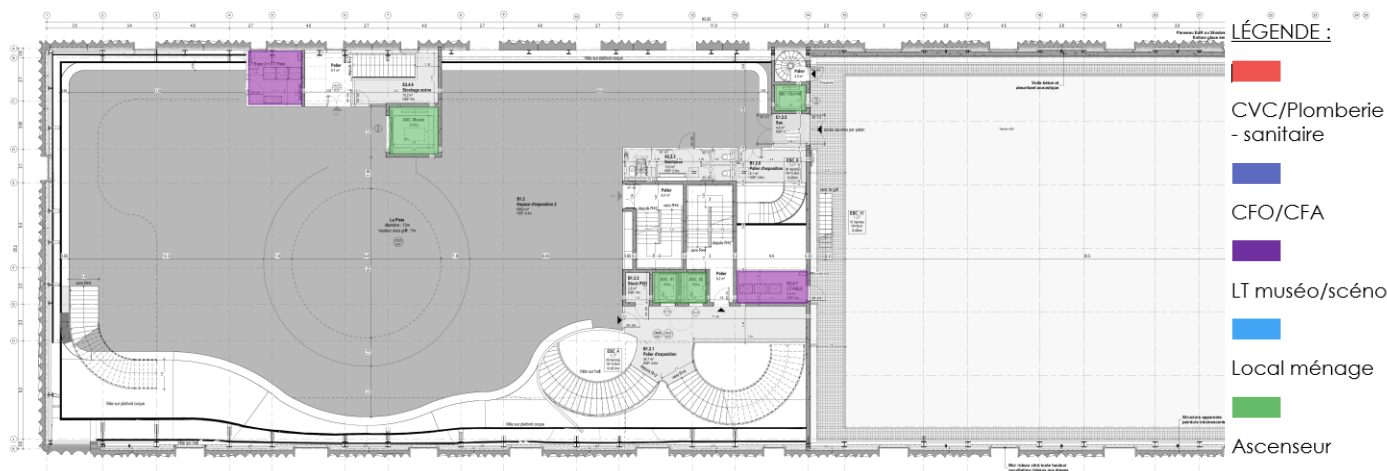
## R+1



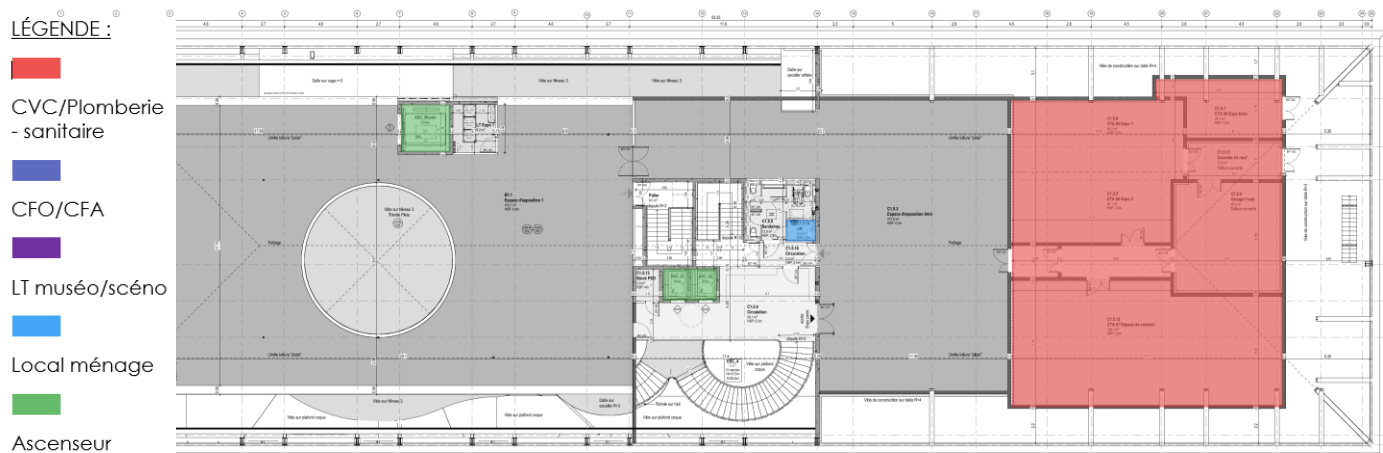
## R+2



## R+3



## R+4



Pour la maintenance des ascenseurs, il faudra que la MOA contracte auprès d'une entreprise afin d'assurer la maintenance normale annuelle.

Différents textes précisent les obligations légales en matière d'entretien des ascenseurs. Il s'agit en particulier de l'arrêté du 18 novembre 2004 relatif à l'entretien des installations d'ascenseurs, du décret du 7 mai 2012 relatif à l'entretien et au contrôle technique des ascenseurs ou encore du décret n° 2016-550 du 3 mai 2016 qui précise l'obligation de passer un contrat d'entretien.

Ainsi, tout ascenseur doit faire l'objet :

- D'une visite d'entretien toutes les six semaines (9 visites par an) ;
- D'un examen des câbles semestriel (2 examens par an) ;
- D'un entretien annuel avec la vérification des parachutes, le nettoyage et la lubrification de différents éléments...

En outre, un contrôle technique doit être réalisé tous les 5 ans. Il relève non pas de la société de maintenance mais d'un contrôleur technique habilité.

## 7.2.5 Suivi des performances

### Gestion Technique du Bâtiment (GTB)

La gestion des systèmes par GTB sera mise en place pour :

- Une visualisation claire et schématique des systèmes, permettant au personnel technique de :
  - o Garantir un pilotage efficace et à long terme : automatisé selon des critères précis, sur programmation horaire et consignes d'activité (présence, CO<sub>2</sub>, température, éclairage, ouverture/fermeture des occultations).
  - o Surveiller les installations et de recevoir des alertes sur les besoins de maintenance (par exemple, le remplacement de filtres).
  - o Modifier à distance les paramètres de fonctionnement des équipements techniques (lissage des appels de puissance, gestion de la régulation).
- Participer à l'optimisation des performances du bâtiment notamment par :
  - o La collecte des données en temps réel tel que les températures, les débits d'air, etc.
  - o La mise en place d'un schéma de comptage et sous-comptage précis pour suivre les consommations d'eau et d'énergie en temps réel puis leur analyse.
  - o La surveillance des installations via les alarmes techniques (détection de fuites), permettant des interventions rapides et ciblées.

### Formation

Il est essentiel de former les utilisateurs aux bonnes pratiques techniques, car de mauvais réglages peuvent nuire à l'efficacité des équipements. Un accompagnement et une formation du personnel seront donc mis en place au sujet des spécificités du bâtiment et sa GTB pour assurer la bonne gestion du bâtiment sa durabilité et sa conformité aux objectifs de performance programmatique.

Par ailleurs, la MOA recevra l'ensemble des conseils au bon établissement de ses contrats de maintenance et d'exploitation. Il sera constitué un document de synthèse sur l'entretien et la maintenance du bâtiment, ses principaux équipements, avec le chiffrage du cout d'exploitation-maintenance.

Une sensibilisation aux écogestes, via un livret et une signalétique adaptée (comme des chasses d'eau à double commande, encouragements à prendre les escaliers plutôt que les ascenseurs, etc.), pour être envisagée pour encourager à la sobriété énergétique des occupants.

## 7.2.6 Estimation des charges d'exploitation

Les charges d'exploitation estimée ci-dessous sont celle liées à l'électricité et au chauffage urbain. Ces coûts estimés n'intègrent que le coût du kWh et excluent la tarification de l'abonnement et des taxes éventuelles.

### Electricité

Le tableau ci-dessous intègre les coûts annuels de l'électricité estimés sur site avec un coût du kWh HT de 0.18€.

| CONSOMMATIONS ELEC         |                        |                     |                        |                     |                         |                 |
|----------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|
| Consommations              | Total conso (kWhep/m²) | Total conso (kWhep) | Total conso (kWhef/m²) | Total conso (kWhef) | Coût unitaire (€HT/kWh) | Total (€HT/an)  |
| Climatisation              | 6,7                    | 37 000              | 2,9                    | 16 000              | 0,18 €                  | 2 880 €         |
| Eclairage                  | 18,7                   | 104 000             | 8,1                    | 45 000              | 0,18 €                  | 8 100 €         |
| Ventilation et auxiliaires | 83,5                   | 464 000             | 36,3                   | 202 000             | 0,18 €                  | 36 360 €        |
| Equipements                | 7,8                    | 43 000              | 3,4                    | 19 000              | 0,18 €                  | 3 420 €         |
| <b>TOTAL</b>               | <b>116,7</b>           |                     | <b>50,7</b>            |                     |                         | <b>50 760 €</b> |

### Chauffage Urbain

Le tableau ci-dessous intègre les coûts annuels du chauffage urbain estimés sur site avec un coût du kWh HT de 0.1€.

| CONSOMMATIONS RESEAUX CHALEUR |                        |                     |                        |                     |                         |                 |
|-------------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|
| Consommations                 | Total conso (kWhep/m²) | Total conso (kWhep) | Total conso (kWhef/m²) | Total conso (kWhef) | Coût unitaire (€HT/kWh) | Total (€HT/an)  |
| Chauffage                     | 40,1                   | 223 000             | 40,1                   | 223 000             | 0,10 €                  | 22 300 €        |
|                               |                        |                     |                        |                     |                         | <b>22 300 €</b> |

### Synthèse

Soit des couts d'exploitation liés uniquement au kWh consommé (hors coût de l'abonnements et taxes) de 73 000 €/an.

| CONSOMMATIONS     | €HT/an          |
|-------------------|-----------------|
| Electricité       | 50 760 €        |
| Réseau de chaleur | 22 300 €        |
| <b>TOTAL</b>      | <b>73 060 €</b> |

## 8 CHANTIER A FAIBLES NUISANCES



CHANTIER  
À FAIBLES  
NUISANCES

Une charte environnementale de chantier à faibles nuisances sera mise en place. L'enjeu de celle-ci est de responsabiliser l'ensemble des intervenants à l'impact du chantier sur son environnement proche. Cette charte sera applicable à tous les lots.

Une personne nommée au sein de l'équipe de Maîtrise d'œuvre interviendra régulièrement sur le chantier pour accompagner les entreprises et veiller à la bonne application de la charte. Des visites de chantier régulières seront réalisées pour être garant du respect des objectifs du Maître d'ouvrage en termes de chantier à faibles nuisances :

- Les moyens liés à la maîtrise des nuisances perçues par le personnel du chantier (vibrations, bruits, poussières, nocivité des produits...) et la démarche et les moyens d'information du personnel ;
- Les moyens liés à la maîtrise des nuisances perçues par les riverains (vibrations, bruit, salissures et poussières, odeurs, circulation, stationnement...) et la démarche et les moyens d'information des riverains ;
- Les moyens mis en œuvre pour limiter les impacts environnementaux liés au chantier : suivi de la consommation d'eau et d'électricité ; pollution de l'eau, de l'air et des sols ; la traçabilité du suivi des déchets (100 % des bordereaux obtenus) ;
- La propreté du chantier et de ses abords et préservation de la biodiversité végétale ;
- La procédure de gestion, de stockage, de tri et de valorisation des déchets de chantier : 80% de valorisation des déchets dont 50% de matière ;
- La mise en œuvre d'une base vie avec une consommation d'eau et d'énergie réduite.



## 9 ANNEXE 1 : NOTE ENTRETIEN MAINTENANCE CVC



INGÉNIERIE

### **BATIMENT CIRQUE**

### **NOTE TECHNIQUE**

### **MAINTENANCE ET ENTRETIEN DES LOCAUX TECHNIQUES R+4**

#### **PRÉAMBULE**

La présente note a pour objectif de décrire les interventions de maintenance et entretien qui sont envisagées pour les locaux techniques situés au R+4 afin de valider les cheminements de maintenance.

#### **DESCRIPTION DES LOCAUX TECHNIQUES**

Pour rappel, les locaux techniques positionnés au dernier niveau du bâtiment comprennent :

- Local technique CTA Exposition permanente
- Local technique CTA PALC
- Espace technique Groupe Froid à l'air libre
- Local technique Panoplie Eau glacée avec ballon tampon Eau glacée et pompes de circulation

Un local technique de CTA est un espace dédié regroupant généralement :

- Une ou plusieurs CTA double flux
- Les réseaux hydrauliques associés (batteries chaudes, froides, éventuels humidificateurs)
- L'armoire de puissance et de régulation
- Les réseaux aérauliques (plénums, gaines, clapets)
- Les équipements auxiliaires : filtres, ventilateurs, registres motorisés, pièges à sons, bacs à condensats, siphons, éclairage...

La production eau glacée et sa panoplie associée est un espace dédié regroupant :

- Un ou plusieurs compresseurs
- Condenseurs à air (batteries + ventilateurs axiaux)
- Évaporateur (échangeur à plaques brasées)
- Circuit frigorifique (HP/BP, détendeurs électroniques)
- Armoire électrique et régulation
- Réseau hydraulique : pompe(s), filtre, vannes, ballon tampon



INGÉNIERIE

## ACTIONS DE MAINTENANCE PREVENTIVE

### Pour les centrales d'air

#### Filtration

- **Remplacement des filtres :** ..... **tous les 3 à 6 mois**

#### Ventilation

- Vérification des ventilateurs ..... tous les 3 mois

#### Batteries chaudes / froides

- Nettoyage des ailettes ..... tous les 6 mois
- Vérification des purgeurs, vannes 2 ou 3 voies, sondes ..... tous les 3 mois

#### Condensats

- Nettoyage des bacs ..... tous les 3 mois
- Vérification et réamorçage du siphon ..... tous les 3 mois

#### Aéraulique

- Contrôle clapets coupe-feu (CF) si présents ..... tous les ans

### Pour le groupe froid et la panoplie eau glacée associée

#### Circuit frigorifique

- Vérification de l'absence de fuite (détection électronique ou gaz traceur) ..... tous les ans
- Contrôle de l'état des échanges thermiques (évaporateur, condenseur) ..... tous les 6 mois

#### Compresseurs

- Contrôle des vibrations ..... tous les 3 mois
- Vérification des protections (pressostats, sondes temp.) ..... tous les 6 mois

#### Condensateurs et ventilateurs

- Nettoyage des batteries condenseur (air/air) ..... tous les 6 mois
- Vérification de la rotation ventilateurs, absence de jeu ..... tous les 3 mois
- Nettoyage des grilles anti-volatiles ..... tous les 3 mois

#### Hydraulique

- Nettoyage des filtres ..... tous les 3 mois
- Inspection pompes : rotation, bruit, étanchéité ..... tous les 3 mois
- Vérification ballon tampon et soupapes de sécurité ..... tous les ans



INGÉNIERIE

Mis à part le remplacement des filtres, la maintenance préventive ne nécessite pas l'acheminement de pièces de taille importante jusqu'aux locaux techniques. Il s'agit essentiellement de nettoyage et de contrôle des pièces.

## ACTIONS DE MAINTENANCE CORRECTIVE

La fréquence de la maintenance curative des équipements est donnée à titre indicative car elle est fortement liée en 1<sup>er</sup> lieu à la qualité de la maintenance préventive.

Elle dépend également du niveau d'encrassement, de l'usage et de l'environnement (air extérieur, poussières, hygrométrie, ...).

En cas de dysfonctionnement, les interventions peuvent concerner :

- Remplacement compresseur ou moteur ou ventilateur.....1 intervention tous les 5 ans
- Réparation d'une fuite frigorifique.....1 intervention tous les 2 à 5 ans
- Recharge de fluide frigorigène .....1 intervention tous les 2 à 5 ans
- Remise en état batteries ou circuits hydrauliques.....1 intervention tous les 3 à 5 ans
- Remise en état des pompes .....1 intervention tous les 5 ans
- Déblocage ou remplacement servomoteurs, détendeurs, sondes, pressostats.....tous les 2 à 3 ans
- Réparation fuites d'air ou d'eau .....1 intervention tous les 3 à 5 ans

On peut donner les durées de vie typique suivantes :

- Les centrales d'air ont une durée de vie moyenne de 15 à 20 ans pouvant aller jusqu'à 25 ans avec une maintenance de qualité. Les ventilateurs ont généralement une durée de vie de 25 ans et les batteries hydrauliques, registres et composants électriques entre 15 et 20 ans.
- Les groupes froids Air/Eau ont une durée de vie moyenne de 20 ans. Une charge d'utilisation élevée et non contrôlée ainsi que l'impact négatif de l'environnement extérieur peuvent raccourcir la durée de vie de 20 à 30%.

## CHEMINEMENTS DE MAINTENANCE ENVISAGES

Dans le cadre de la maintenance préventive tous les 3 à 6 mois, le cheminement doit principalement permettre le passage du mainteneur avec des filtres neufs puis des filtres usagés.

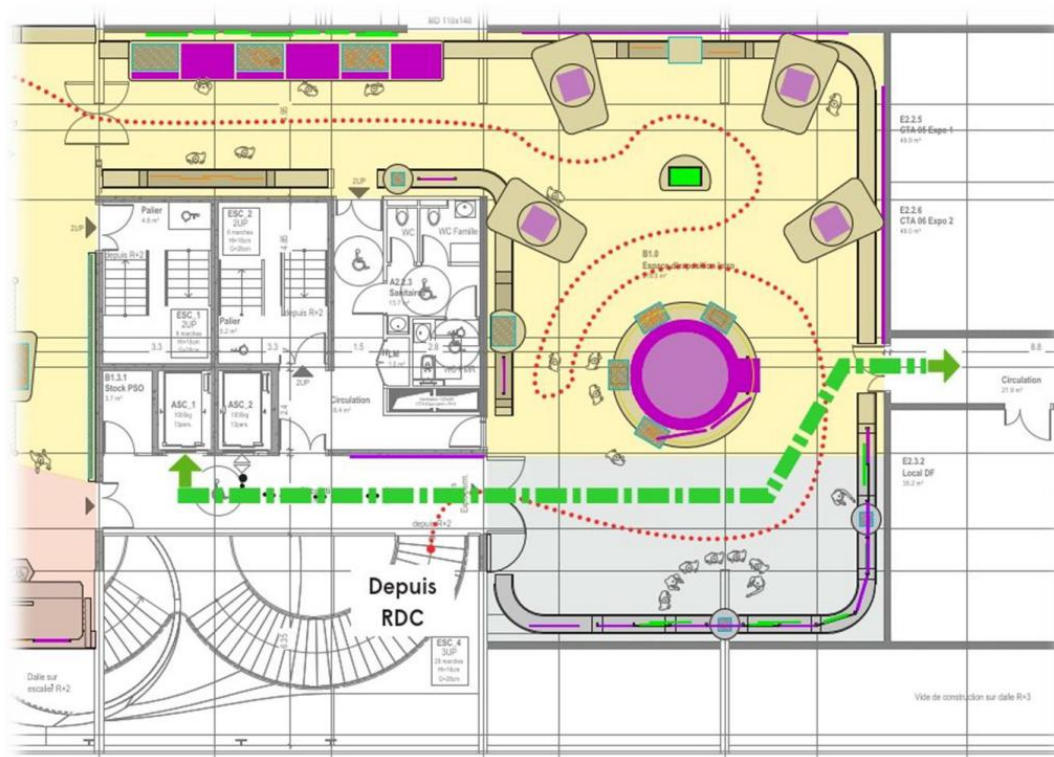
Les filtres des centrales d'air sont des assemblages de modules de dimensions 60 cm x 60 cm x 20 cm de profondeur. Ils peuvent donc être transportés sur un chariot de plateforme classique.





INGÉNIERIE

Le cheminement initialement proposé est un passage par l'ascenseur central puis par l'espace Intro de l'Exposition permanente. Le cheminement dans l'espace Exposition est limité à l'entrée de la zone uniquement.



La maintenance préventive doit être programmée pour être effectuée hors des périodes d'ouverture au public ou éventuellement lors de périodes de faible affluence.

Un protocole sera à établir pour l'ensachement des filtres ou pièces usagées après maintenance, lors du passage dans l'espace Exposition Intro pour limiter le risque de salissures au niveau du passage.

Pour la maintenance curative nécessitant l'acheminement de gros équipements, un espace technique réservé au niveau de l'enclos du groupe froid permet le grutage ponctuel de ces derniers depuis la rue pour les transporter directement dans les locaux techniques sans passer par la zone d'exposition.



INGÉNIERIE

#### Variante

Dans une logique d'optimisation du principe initial de cheminement pour la maintenance préventive, la maîtrise d'œuvre pourrait étudier une variante consistant à faire transiter le personnel de maintenance par l'espace de création du PALC.

Dans cette configuration, le mainteneur emprunterait le monte-charge du PALC jusqu'au gril technique (correspondant à un niveau intermédiaire sous le niveau R+4 du bâtiment), puis poursuivrait son cheminement jusqu'à un escalier permettant d'accéder au local technique situé au R+4.

Toutefois, cette solution présente l'inconvénient de ne pas offrir un accès de plain-pied aux locaux techniques, compliquant ainsi les opérations de manutention du matériel et des filtres. De plus, elle impose des contraintes acoustiques supplémentaires pour traiter l'ouverture entre la salle de création et les locaux techniques, notamment la mise en place de dispositifs d'atténuation de type trappes acoustiques ou équivalents.

