

# RESTRUCTURATION DE LA BARRE D'ATELIER SUR LE SITE DES CHUTES LAVIE À MARSEILLE



## Maître d'Ouvrage :



ÉTAT – MINISTÈRE DE LA JUSTICE  
SECRÉTARIAT GÉNÉRAL SERVICE  
DE L'IMMOBILIER MINISTÉRIEL

Ministère de la Justice  
Délégation interrégionale d'Aix-en-Provence  
350, avenue du Club Hippique  
Immeuble « Le Praesidium » - CS 70456  
13096 AIX-EN-PROVENCE CEDEX 2

## Architecte mandataire:



Bernard CERVellini - architecte DPLG  
223 Chemin de Sarraïgousse  
13340 Rognac  
Tél : 04.42.78.62.76 - Fax : 04.42.87.03.46  
Email : bernard.cervellini@orange.fr  
N° national : 035717

## Architecte associée:



Maja KRZOS - architecte DPLG  
15 Chemin Notre Dame  
13250 Saint Chamas  
Tél : 04.90.56.02.03  
Email : maja@krzos-architecte.com  
N° national : 036722

## BET Fluides :



AD2i Ingénierie

70 rue de la Tramontane  
13090 Aix-En-Provence

## BET Structure :



Even Structures

5 rue des Petites Maulévries - BP 50714  
49007 Angers Cedex 01

## BET Environnemental :



DOMENE – SCOP

99, rue des Tailleurs de pierre  
Z.A. des Roquassiers  
13300 SALON-DE-PROVENCE

## Bureau de Contrôle :



QUALICONSULT

7 - 9 Rue Jean Mermoz  
13008 MARSEILLE

## C.S.P.S :

## MODIFICATIONS

	02-2021	DIAG

## REF :

N° 20-380

## ECH. :

## PHASE :

DIAG

## PLAN :

Dossier

# AUDIT ENERGÉTIQUE DU BÂTIMENT



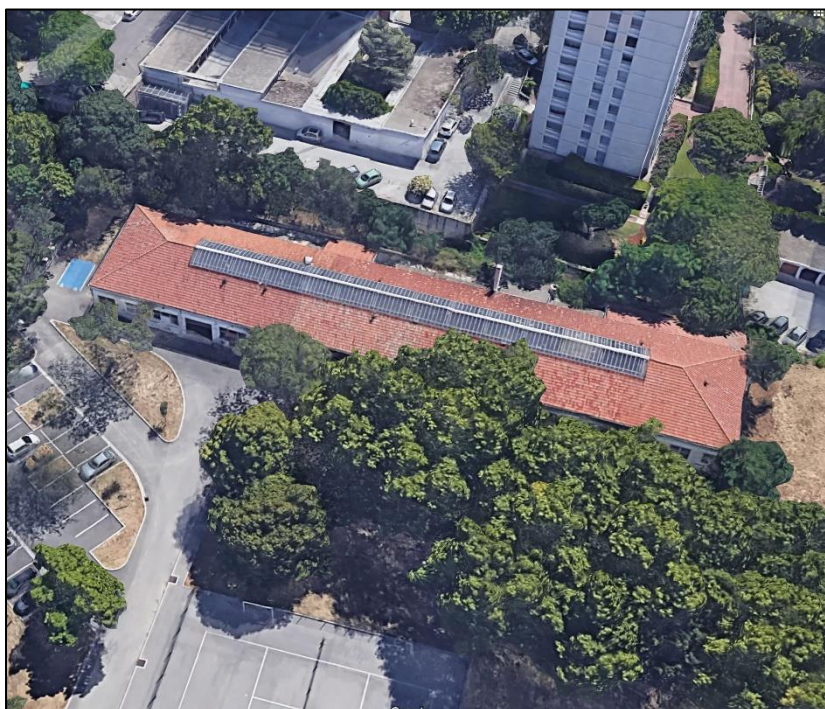
## **MAITRE DE L'OUVRAGE**

État - Ministère de la Justice

Secrétariat Général Service de l'Immobilier Ministériel

# **Opération de restructuration de la barre d'atelier sur le site des Chutes Lavie à Marseille MC2 Audit énergétique du bâtiment**

Version V1\_26 01 2021



La Direction Inter-Régionale de la Protection Judiciaire de la Jeunesse (DIRPJJ) Sud-Est envisage la restructuration de la barre d'atelier située sur Le domaine des Chutes Lavie de Marseille en Unité Educative d'Activité de Jour.

Construite en 1956, sa chaudière fioul, la vétusté des 1300m<sup>2</sup> de locaux ainsi que les pathologies liées aux infiltrations et mouvements de terrain témoignent d'un bâtiment vieillissant et nécessitant d'une réhabilitation énergétique profonde.

En appui connexe à la réorganisation fonctionnelle des espaces ainsi qu'à la restructuration du bâti, l'objet du présent rapport est d'évaluer les performances énergétiques de la barre d'atelier ainsi que de proposer à la maîtrise d'ouvrage 3 scénarii de réhabilitation énergétique. Ces scénarii seront évalués et comparés au regard du coût global, de leur performance thermique et du confort hygrothermique.

Le second scénario correspond au projet d'opération présenté par le groupement dans le cadre de ce DIAG tandis que les deux autres scénarii sont à titre indicatif et sont considérés comme des outils d'aide à la décision.

Cet audit se veut donc proche du cahier des charges de l'ADEME concernant les "Audits énergétiques de qualité". Par ailleurs chaque bâtiment est unique et le "rapport type" n'existe pas. Nous nous sommes donc efforcés, à partir des éléments mis à notre disposition et nos propres relevés et mesures, de cerner le mieux possible les problèmes existants et d'y apporter les éléments de réponses les plus pertinents.

## Table des matières

1 Réadaptation de l'application de la réglementation thermique .....	4
2 Analyse bioclimatique du site et du bâti .....	5
2.1 Le site et son environnement proche.....	5
2.2 Le contexte climatique et microclimatique .....	6
2.3 Architecture bioclimatique .....	8
3 Le bâti existant.....	10
3.1 Performance de l'enveloppe thermique .....	10
3.2 Performance des systèmes énergétiques .....	13
3.3 Evaluation des consommations énergétiques.....	14
4 Scénarii de réhabilitation.....	20
4.1 Scénario 1 : niveau de performance réglementaire .....	21
4.2 Scénario 2 : .....	27
4.3 Scénario 3 : haute performance environnementale .....	32
4.4 Comparaison des scénarii de réhabilitation - phase exploitation .....	41
4.5 Comparaison des scénarii de réhabilitation - phase construction .....	42
Annexes .....	43

# 1 Réadaptation de l'application de la réglementation thermique

L'intérêt du présent document est de pouvoir établir un diagnostic thermique du bâti afin qu'il puisse répondre à la réglementation thermique des bâtiments anciens "RT2005".

Deux types de RT2005 existent, la "RT2005 globale" et la "RT2005 élément par élément".

La "RT2005 globale" est couramment employée lorsque l'usage du bâtiment ancien et celui réhabilité restent identiques ce qui n'est pas le cas de la barre d'atelier.

Aussi, le bâtiment est partiellement inoccupé et n'est plus chauffé à ce jour ce qui compromet l'évaluation des consommations d'énergie et rend obsolète l'étude des factures énergétiques.

Le changement de destinations des locaux implique d'opter pour la réglementation thermique "RT2005 élément par élément". A la différence d'une réglementation thermique "globale", elle n'impose pas de niveau de performance thermique sur l'ensemble du bâtiment mais impose seulement des garde-fous sur les éléments rénovés.

La problématique de cette réglementation est qu'elle ne permet pas aux acteurs du projet d'interpréter facilement les bénéfices durables de la réhabilitation. De fait, nous nous obligerons dans le cadre de cette étude à répondre à la réglementation thermique existante dite " RT2005 élément par élément " tout en exprimant les bénéfices de performances sous la réglementation existante "RT2005 globale".

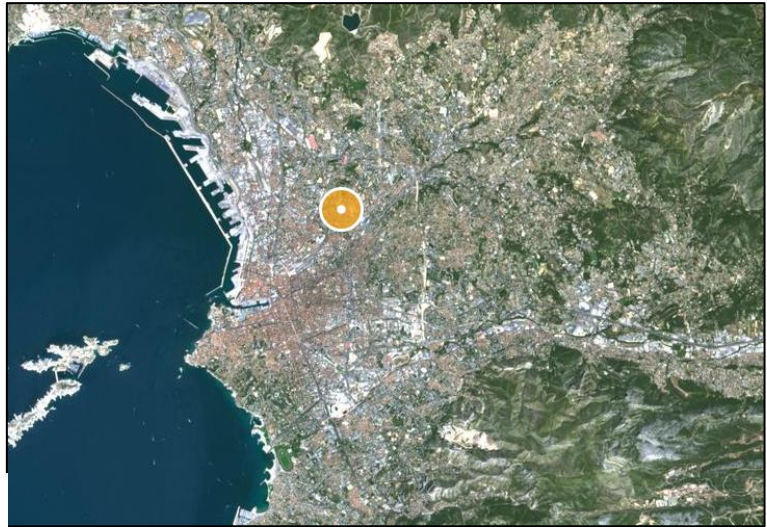
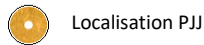
Pour une meilleure évaluation des bénéfices de la réhabilitation, nous avons émis l'hypothèse que le bâtiment actuel possédait des usages identiques à ceux prévus post-travaux. Cela revient à répondre à la question : « Quel serait le bilan en termes de confort, de consommations énergétiques et d'impacts carbone de la barre d'atelier si elle était utilisée aujourd'hui tel que nous le souhaiterions dans le projet ? ».



## 2 Analyse bioclimatique du site et du bâti

### 2.1 Le site et son environnement proche

Le domaine des Chutes Lavie est situé au nord-est de Marseille, 7 impasse Sylvestre dans le 13eme arrondissement.





L'Unité Educative d'Activités de Jour (U.E.A.J) s'étend sur environ 10 hectares en cœur de ville.

Sur cette friche se trouvent diverses entités telles que,

- des logements,
- des espaces verts,
- des espaces boisés,
- des bâtiments associatifs,
- une école d'application.

Le périmètre d'intervention de cette opération de restructuration se limite à la barre d'atelier et de ses abords.

 Périmètre U.E.A.J

 Barre d'atelier à réhabiliter

Coordonnées géographiques :

Latitude : 43°19'12.6"N

Longitude : 5°23'53.5"E

## 2.2 Le contexte climatique et microclimatique

### 2.2.1 Evolution des températures

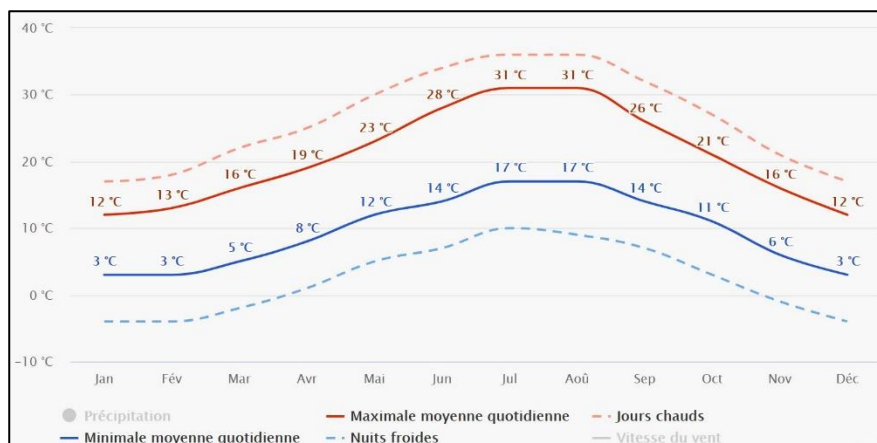


Figure 1 : Évolution annuelle des températures pour la ville de Marseille. Source : Météoblue

En littoral méditerranéen, le climat est caractérisé par des étés chauds et des hivers doux.

L'hiver marseillais démarre généralement vers la fin du mois d'octobre. Les températures diurnes tombent très rarement en dessous de 0°C.

L'été marseillais peut s'installer dès le mois d'avril. Les étés peuvent être chauds à très chauds et car renforcés par l'activité humaine, l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Les îlots de chaleur se caractérisent par des augmentations de température causées par :

- La concentration des activités humaines en ville sources de chaleur (usines, chaudières, réseaux de chaleur, moteurs...)
- La présence de surfaces urbanisées (terrasses goudronnées, présence de matériaux foncés, bâtiments vitrés...) qui réagissent comme des capteurs solaires, absorbent davantage de rayonnements solaires que les sols naturels et renvoient ses rayonnements au milieu urbain.

Le phénomène d'îlots de chaleur est d'autant plus marqué d'écarts de température la nuit entre la campagne avoisinante et le centre-ville (jusqu'à 10°C de différence déjà observée pour la ville de Paris).

### 2.2.2 Ensoleillement

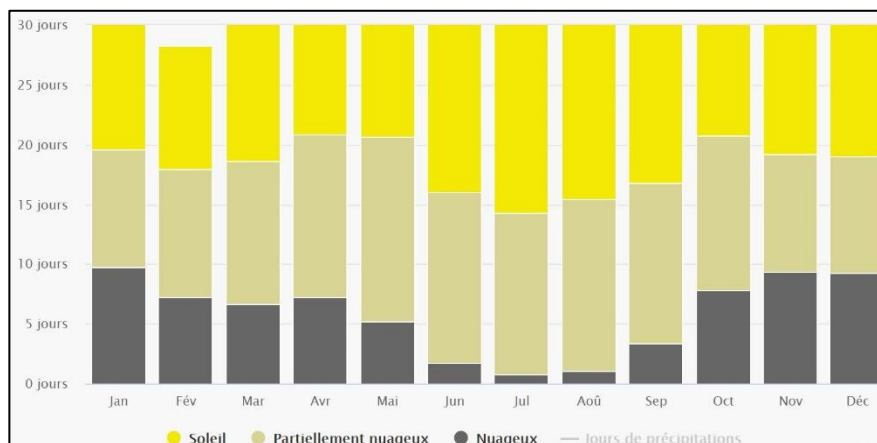


Figure 2 : Évolution annuelle de l'ensoleillement pour la ville de Marseille. Source : Météoblue

Le rayonnement global direct sur Marseille constitue un apport énergétique considérable puisqu'il contribue à des hivers très doux, des intersaisons confortables et des étés particulièrement chauds. Il contribue à l'attractivité forte du territoire et induit - en milieu urbain dense,

une solarisation importante des façades, toitures et sols.

Le rayonnement diffus et/ou réfléchi sur Marseille, constitue un apport énergétique complémentaire important. Par temps nuageux ou « laiteux », il contribue à la luminosité du site et maintien des apports calorifiques sur l'ensemble des parois exposées.

Le mois le plus ensoleillé est celui de Juillet tandis que le mois le moins ensoleillé est celui de décembre.

### 2.2.3 Exposition au vent

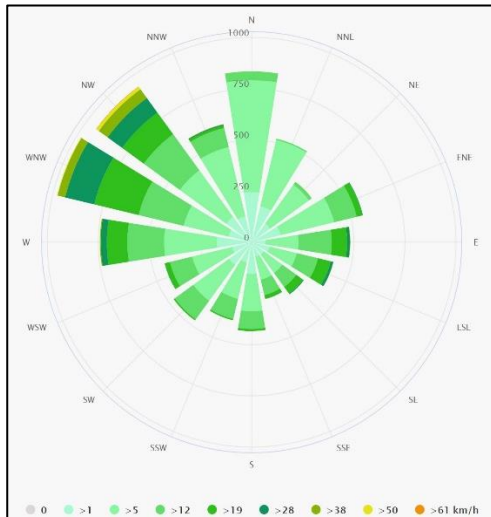


Figure 3 : Rose des vents pour la ville de Marseille. Source : Météoblue

Le vent prédominant à Marseille est le Mistral. Ce vent du nord-ouest, sec et violent, peut générer en toute saison des sensations de froid parfois plus inconfortables que ne peut l'être une journée anormalement froide mais ensoleillée et sans vent courant décembre ou janvier.

### 2.2.4 Masques lointains

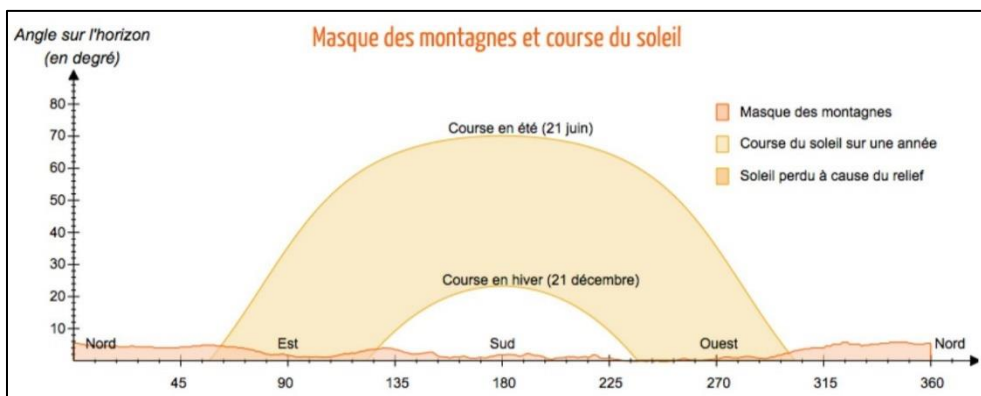


Figure 4 : Masques du relief pour le nord-est de la ville de Marseille. Source : AVAP de Marseille

Les masques solaires constitués par le relief ont une très faible incidence sur l'ensoleillement direct.

Les masques au solstice d'été sont quasi nuls, l'essentiel des masques est donc constitué par le bâti et la végétation.



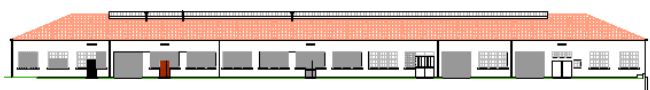
## 2.3 Architecture bioclimatique

La barre d'atelier est un bâtiment d'une surface bâti d'environ 1300m<sup>2</sup>. C'est un bâtiment de plain-pied reposant sur un terre-plein. Sa forme rectangulaire et très étirée dans sa longueur rend son architecture plutôt simple. Son orientation principale est Est/Sud-Est // Ouest/Nord-Ouest.

Ses façades font environ 4mètres de haut, sa toiture est à 4 pentes et le point haut de son faitage culmine à 7.85mètres du sol. La toiture comprend un puit de lumière de près de 160m<sup>2</sup> disposé en milieu de travée également inscrit dans la longueur.



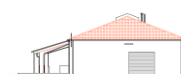
Plan façade Est



Plan façade Ouest

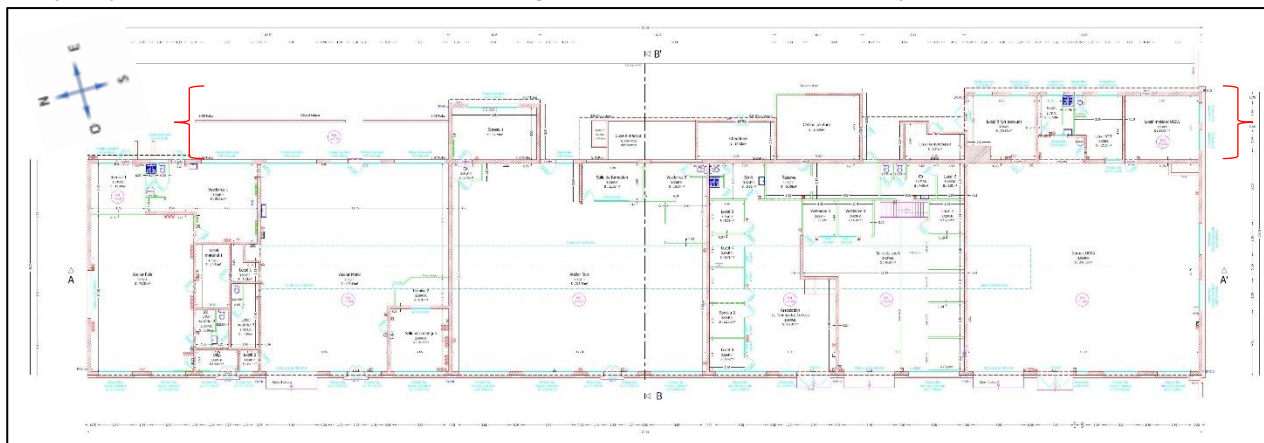


Plan façade Sud



Plan façade Nord

La façade Ouest qui donne sur le cœur d'îlot est très ouverte par de nombreuses menuiseries vitrées ou portes extérieures. La façade Est, moins ouverte sur l'extérieure, donne quant à elle sur une contre-allée très ombragée à ce jour plutôt utilisée comme zone de stockage ou d'accès aux locaux techniques.



Plan du RDC

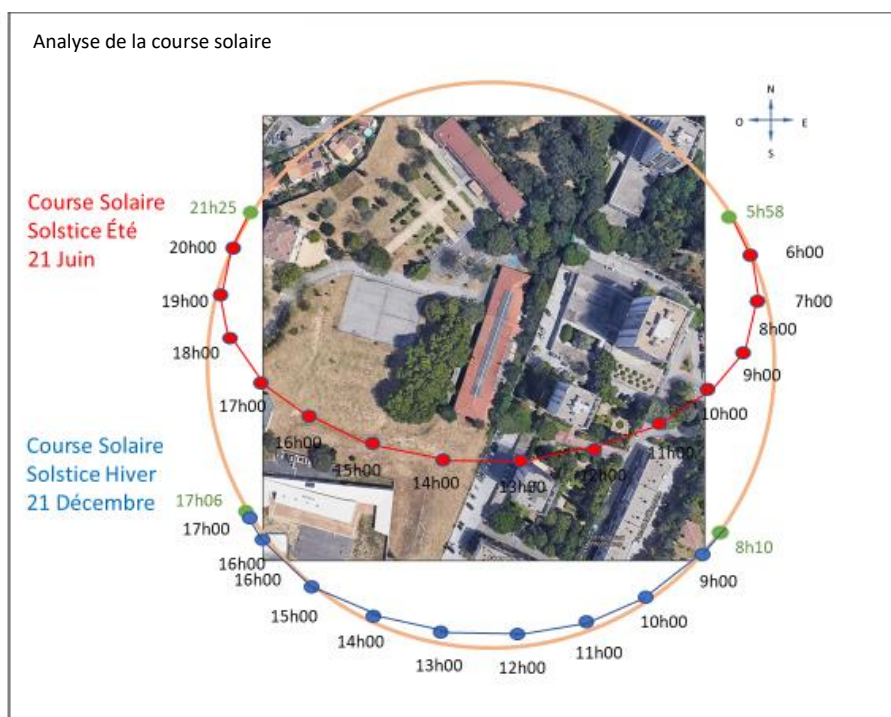


L'ensemble des locaux techniques disposés en façade Est du bâtiment sera démolé dans le cadre de la réhabilitation.

Les pièces principales sont des ateliers, une salle de sport et un garage pour véhicules.

Seuls les ateliers sont encore utilisés par une association à ce jour.

Contre-allée de la façade Est



La façade nord de la barre d'atelier ne reçoit pas d'ensoleillement direct du fait de la topographie et des masques proches.

En hiver, la façade Est reçoit peu d'ensoleillement direct car masquée par les bâtiments environnants, la végétation en bordure de la contre-allée et un mur de soutènement en limite de parcelle de près de 4 mètres de hauteur. Au solstice d'été, les rayons solaires atteignent d'avantage cette façade de 10h00 à 13h00 mais ne présentent plus à ces heures un risque d'éblouissement.

La façade sud est très peu ouverte avec seulement deux menuiseries extérieures de 1.5m<sup>2</sup>.

La façade Ouest est exposée à l'ensoleillement direct de 14h00 à 16h30 en hiver et de 14h30 à 19h00 en été. Les platanes attenants régulent grâce leurs feuilles caduc l'ensoleillement de la façade selon la saisonnalité. Ils sont à conserver dans l'évolution du projet.





### 3 Le bâti existant

#### 3.1 Performance de l'enveloppe thermique

##### 3.1.1 Murs extérieurs

Les murs extérieurs sont en parpaing plein d'environ 20cm et ne sont pas isolés.

*Estimation de la performance thermique  $R = 0.12 \text{ m}^2.K/W$*



##### 3.1.2 Menuiseries extérieures

Les menuiseries extérieures sont majoritairement en bois simple vitrage. Certaines portes pleines extérieures sont en bois tandis que d'autres sont en acier.

*Estimation de la performance thermique des menuiseries extérieures  $U_w = 4 \text{ W/m}^2.K$*

*Estimation de la performance thermique des portes extérieures  $U_p = 4 \text{ W/m}^2.K$*



### 3.1.3 Plancher haut

La toiture du bâtiment est composée d'une charpente métallique, de briques alvéolées en terre cuite soutenant des tuiles canals ainsi qu'un puit de lumière central réalisé avec du verre en polycarbonate.

*Estimation de la performance thermique partie opaque  $R = 0.35 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$*

*Estimation de la performance thermique partie vitrée  $U_w = 4 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$*



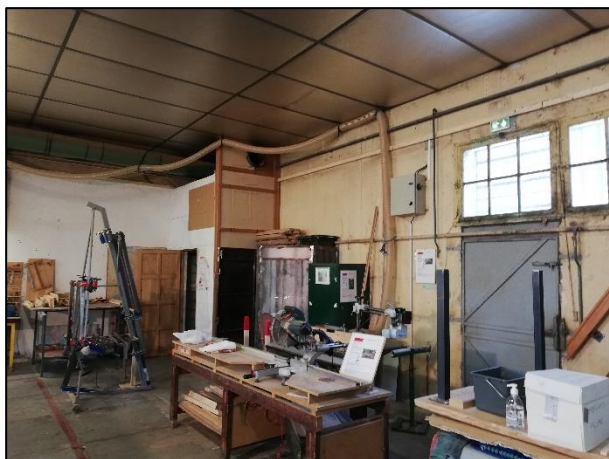




### 3.1.4 Plancher bas

Le plancher bas est constitué de dalles en béton préfabriquées ou de chapes coulées en place, elles reposent sur un terre-plein et ne sont pas isolées. Du côté Sud de la barre d'atelier, la chape a cédé sous l'effet de mouvement de terrains.

*Estimation de la performance thermique du plancher bas  $R = 0.03 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$*



### 3.1.5 Etanchéité à l'air

Au vu du caractère vétuste du bâti, de son année de construction, des nombreuses vitres cassées, de sa non-isolation et de menuiseries non-étanches à l'air, nous estimons l'étanchéité de l'enveloppe à

**$Q_4 = 3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$**

### 3.1.6 Protections solaires

Le bâtiment n'est pas équipé de protections solaires fixes ou mobiles.



## 3.2 Performance des systèmes énergétiques

### 3.2.1 Production et émission de chauffage

Le barre d'atelier était initialement équipée d'une chaudière fioul alimentée par une cuve de stockage. Les émetteurs de chauffage sont des aérothermes. Ces systèmes ne sont plus actifs à ce jour.



### 3.2.2 Production d'Eau Chaude Sanitaire

L'Eau Chaude Sanitaire était assurée par la chaudière fioul. Les préparateurs sont souvent disposés au plus proche des points de puisage.



### 3.2.3 Eclairage

L'éclairage artificiel du bâtiment est majoritairement assuré par des luminaires fluorescents.



### 3.2.4 Ventilation

Aucun système de ventilation mécanique n'est présent dans la barre d'atelier. Nous supposons que la qualité sanitaire de l'air intérieur était assurée par ouverture des menuiseries.

### 3.2.5 Rafraichissement

Aucun équipement spécifique constaté.

## 3.3 Evaluation des consommations énergétiques

### 3.3.1 Hypothèses de calculs

Comme évoqué en amont de cet audit énergétique, nous allons évaluer les performances thermiques et énergétiques de la barre d'atelier au regard du programme d'opération et non de son usage actuel.

Pour que l'ensemble des calculs puisse être mené à bien, l'ensemble des systèmes énergétiques existant seront hypothétiquement considérés comme "parfaitement fonctionnels".

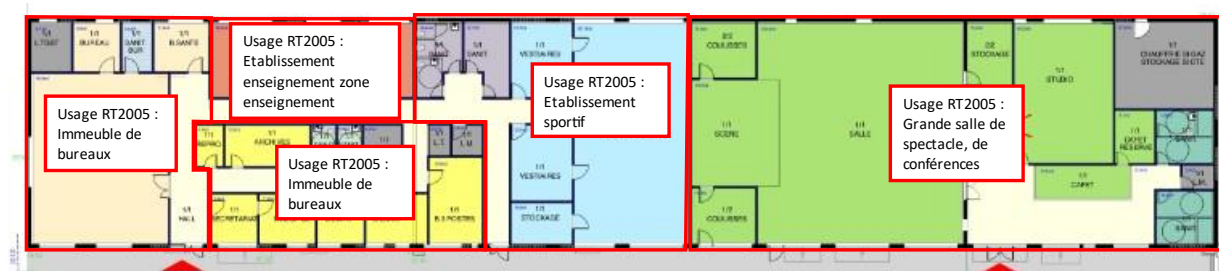


Programme d'opération, projection de l'organisation fonctionnelle

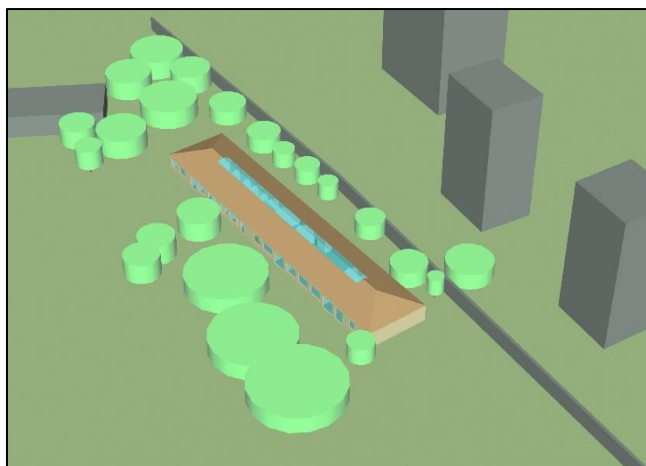
Programme d'opération, hypothèses de corrélation de l'usage des pièces selon la RTexistante "globale".

Programme d'opération			
1. UEAJ SYLVESTRE ADMINISTRATION			
Usage RT2005 : Immeuble de bureaux			
Repère	Pièce	Nombre	Surface unitaire
1.1	Hall Accueil/Attente	1	10 m²
1.2	Bureau Responsable UE	1	12 m²
1.3	Secrétariat	1	10 m²
1.4	Bureau de 3 postes de travail	1	20 m²
1.5	Bureau d'entretiens	1	10 m²
1.6	Reprographie	1	5 m²
1.7	Stockage pour équipements sportifs	1	12 m²
1.8	Archives	1	15 m²
1.9	Sanitaires	2	6 m²
/	Circulations	/	/
2. UEAJ SOCIAL LAB			
Usage RT2005 : Grande salle de spectacle, de conférences			
Repère	Pièce	Nombre	Surface unitaire
2.1	Salle polyvalente	1	200 m²
2.2	Scène	1	40 m²
2.3	Vestiaires/coulisses	1	20 m²
2.4	Cafétéria + Cuisine	1	15 m²
2.5	Studio de répétition	1	60 m²
2.6	Local régie	1	12 m²
2.7	Sanitaires	1	8 m²
2.8	Stockage matériel	1	15 m²
2.9	Circulations	/	/
3. UEAJ LOCAUX D'ATELIERS			
Usage RT2005 : Etablissement enseignement zone enseignement			
Repère	Pièce	Nombre	Surface unitaire
3.1	Salle de simulation + enseignement	1	100 m²
3.2	Bureau	1	10 m²
3.5	Bureau santé	1	12 m²
3.6	Sanitaires agents	1	6 m²
/	Circulations	/	/
4. UEAJ SPORTS			
Usage RT2005 : Etablissement sportif			
Repère	Pièce	Nombre	Surface unitaire
4.1 et 4.2	Salle de sport + espace de musculation	1	110 m²
4.3	Vestiaires/Sanitaires	1	16 m²
/	Circulations	/	/
5. LOCAUX MUTUALISES			
Usage RT2005 : Etablissement enseignement zone enseignement			
Repère	Pièce	Nombre	Surface unitaire
5.1	Salles de classes	2	18 m²
5.2	Salles d'enseignement	1	30 m²
4.3	Sanitaires	2	12 m²
/	Circulations	/	/

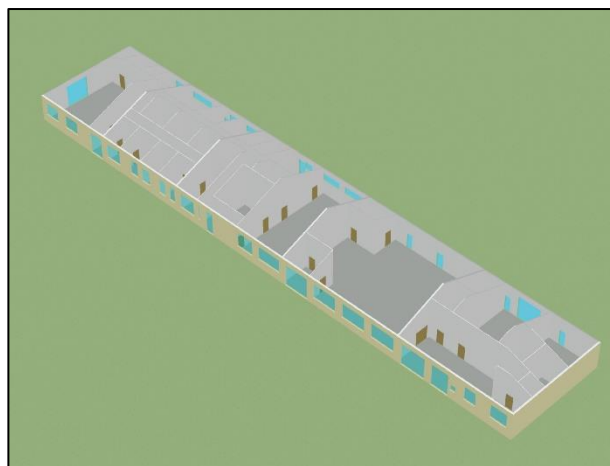
Hypothèse des scénarii RT2005 par zone :



L'ensemble des calculs thermiques ont été réalisés à l'aide du logiciel PLEIADE+Comfie V.5.20.11.0.



Vue 3D logiciel avec toiture et masques proches



Vue 3D logiciel sans toiture

#### Evaluations réglementaires / Simulations Thermiques Dynamiques :

Les simulations thermiques dynamiques sont un outil d'aide à la conception tandis que les calculs réglementaires sont des outils de vérification des conformités.

Dans le cadre réglementaire, seuls les postes d'énergie primaire sont pris en compte,

- chauffage / refroidissement,
- éclairage intérieur,
- eau chaude sanitaire,
- ventilation
- auxiliaires

Le mode de calcul est statique c'est-à-dire qu'il ne tient pas compte des évolutions climatiques.

La réglementation recourt à des scénarios d'utilisation forfaitaires pour calculer les consommations énergétiques.

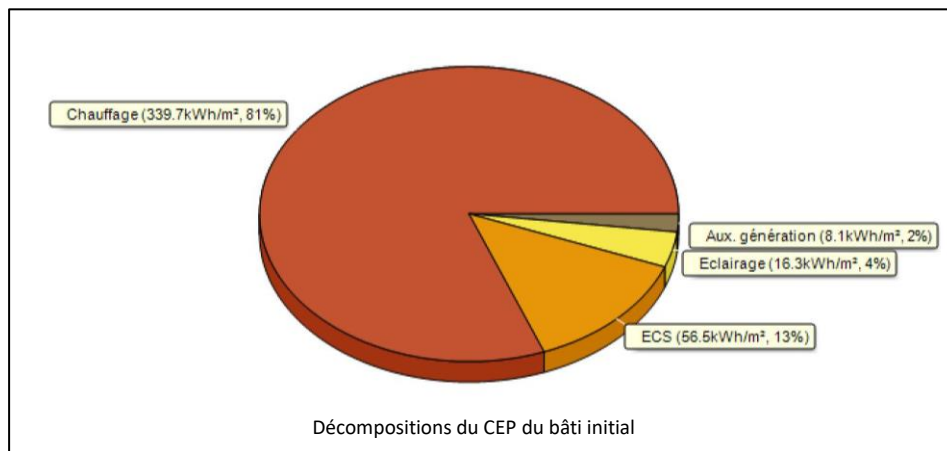
A la différence d'un calcul réglementaire, les simulations thermiques dynamique permettent de favoriser la conception d'un projet selon un scénario de fonctionnement qui se rapproche le plus possible de la réalité physique du fonctionnement du bâtiment et d'éviter ainsi les surdimensionnements perdant-perdant.

Pour cela les calculs sont réalisés au pas de temps horaires à l'aide :

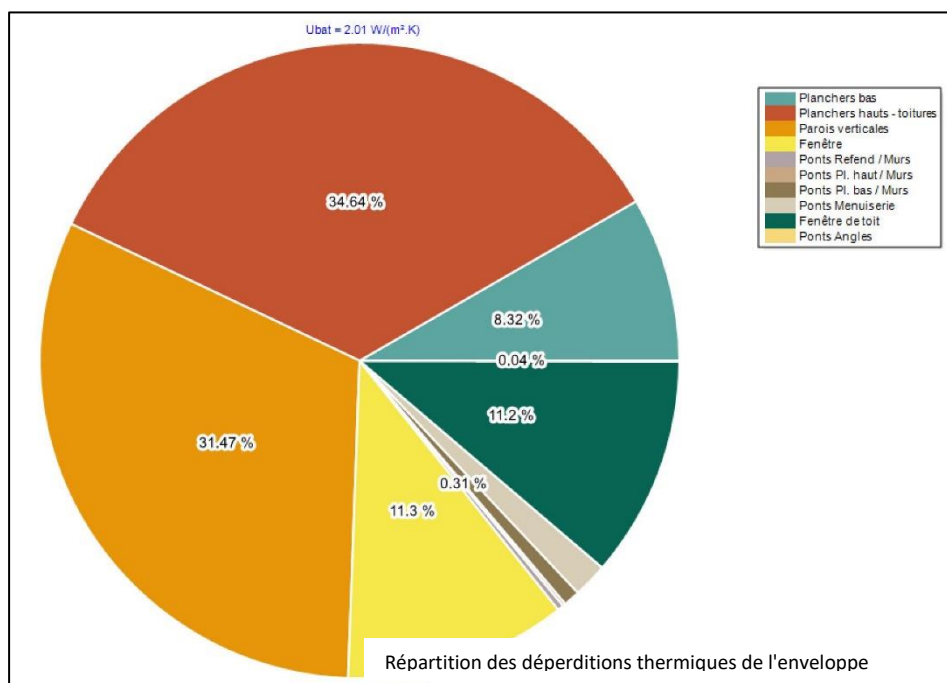
- d'un fichier météo propre à la ville de Marseille. Il comprend la fréquence, l'origine et l'intensité du vent, ainsi que l'évolution des températures et de l'humidité extérieure au cours d'une année avec des températures hivernales moyennes et des étés chauds (période 2003-2017) ;
- d'une prise en compte des masques proches et lointains, dont les ombres portées influenceront les apports solaires selon les saisonnalités ;
- de scénarios de température de consigne chauffage, d'occupation, d'éclairage, de puissance dissipée et de ventilation présentés dans le programme d'opération.

### 3.3.2 Evaluation des performances du bâti existant selon la réglementation thermique

Le Coefficient d'Energie Primaire (CEP) du bâti existant pour ce bâtiment non isolé et chauffé au fioul est de **420.6 kWh/m².an**. Pour rappel, aucune ventilation mécanique ou système de rafraîchissement n'a été pris en considération car le bâtiment n'en possède pas à ce jour.



Le poste de chauffage représente près de 81% du CEP, il est 5 à 6 fois plus important que celui de l'Eau Chaude Sanitaire.



Les performances de l'enveloppe thermique **Ubat sont estimées à 2.01 W/m².K**.

La toiture est la paroi la plus déperditive de la barre d'atelier, elle représente près de 46 % des déperditions. Les parois verticales sont aussi très représentatives et représentent avec les menuiseries extérieures près de 43 % des déperditions.



### 3.3.3 Evaluation des performances du bâti existant à l'aide de Simulations Thermiques Dynamiques (STD)

Comme explicité précédemment, les Simulations Thermiques Dynamiques permettent d'estimer les besoins énergétiques d'un bâtiment avec des scénarii d'utilisation paramétrables.

Au vu de la disparité d'usage de la barre d'atelier, maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage et utilisateurs ont œuvré ensemble pour mieux appréhender ces scénarii d'utilisation. Ces échanges ont abouti à un document support, référence pour la quantification des besoins et des objectifs de confort.

L'ensemble de ces scénarii sont retranscrits en *annexe 1 : Scénarii d'utilisation*

#### Résultats de simulation

##### a) Simulations Thermiques Dynamiques (STD)

Fichier météo : Marseille - été chaud	Surface (logiciel PLEIADE)	Volume (logiciel PLEIADE)	Autonomie d'éclairage naturel (% du temps d'occupation ou l'éclairage artificiel n'est pas nécessaire)		Besoins de Chauffage		Quantification de l'inconfort en saison estivale (nombre d'heures par temps d'occupation où T°int > x°C)	
Zones	m²	m³	Autonomie d'éclairage N. %	Conso Eclairage kWh / an	Besoins Ch. kWh / an	Besoins Ch. kWh / m² / an	x = 26°C Nombre d'heures	x = 28°C Nombre d'heures
Salle de simulation	101	524	82	636	15 894	157	457	288
Local technique	9	38	Non calculé		0	0	Non calculé	
Bureau ateliers	10	48	3	131	2 072	199	620	390
Sanitaires bureaux atelier	7	32	Non calculé		664	98	Non calculé	
Bureau santé ateliers	12	56	75	120	2 180	182	672	430
Circulation ateliers	29	163	Non calculé		1 292	45	Non calculé	
Salle d'enseignement	30	149	62	293	2 891	96	869	595
Salle de classe 1	17	87	69	165	1 920	110	743	448
Salle de classe 2	18	87	58	172	2 027	116	823	553
Circulation locaux mutualisés	17	108	Non calculé		640	37	Non calculé	
Local reprographie	5	34	Non calculé		173	32	Non calculé	
Sanitaires administration	15	95	Non calculé		757	51	Non calculé	
Archives	15	99	Non calculé		873	57	Non calculé	
Local technique 1	11	70	Non calculé		0	0	Non calculé	
Circulation administration	16	90	Non calculé		451	28	Non calculé	
Secrétariat	10	46	95	47	2 042	205	690	429
Bureau responsable UE	12	58	85	109	2 167	174	691	453
Bureau entretiens	11	49	88	88	1 829	173	712	458
Bureau entretiens 1	10	49	95	65	1 930	184	703	463
Bureaux 3 postes	20	104	87	147	2 638	130	776	532
Circulation salle de sport	29	160	Non calculé		3 003	104	Non calculé	
Sanitaires garçons et filles	24	120	Non calculé		1 989	82	Non calculé	
Vestiaires garçons Salle de sport	26	130	Non calculé		3 841	147	Non calculé	
Stockage équipements sportifs	13	81	Non calculé		667	53	Non calculé	
Vestiaires filles Salle de sport 1	26	145	Non calculé		1 530	58	Non calculé	
Salle de sport	110	595	96	262	11 341	103	719	450
Stockage matériel	16	75	Non calculé		1 250	79	Non calculé	
Scène	30	186	94	68	2 230	74	246	215
Couloirs	16	75	Non calculé		1 726	109	Non calculé	
Salle polyvalente	197	1 068	94	380	22 137	112	77	57
Stockage matériel 1	16	81	Non calculé		1 017	63	Non calculé	
Régie	13	81	Non calculé		453	36	Non calculé	
Local ménage	4	18	Non calculé		505	122	Non calculé	
Circulations salle poly	65	327	Non calculé		10 300	159	Non calculé	
Local ménage 1	8	56	Non calculé		0	0	Non calculé	
Studio	61	343	94	319	6 993	115	154	101
Sanitaires salle poly	26	136	Non calculé		2 258	87	Non calculé	
Chaudière	35	164	Non calculé		0	0	Non calculé	
Cafétéria + cuisine	15	68	Non calculé		2 882	190	Non calculé	
TOTAL	1 105	5 894		3 002	116 562	105		

#### Autonomie d'éclairage naturel

Seuls les locaux à occupation continue ont fait l'objet d'une étude d'autonomie d'éclairage naturel.

**Avec une occupation diurne et selon les scénarii d'occupation, nous remarquons que l'accès à la lumière naturelle est globalement très favorable pour l'ensemble des locaux bi-orientés.**

Les pièces de bureaux, aménagées du côté de la façade Est, sont mono-orientées mais peu profonde ce qui conforte leur autonomie d'éclairage naturel.

Les salles de classes et les bureaux aménagés du côté de la façade Ouest, sont plus impactées par les masques proches. Leurs surfaces d'ouvrants pourront être revues en abaissant la hauteur des allèges.

Etant tri-orientés grâce au puit de lumière existant, la salle de sport et la salle polyvalente bénéficient d'un excellent accès à la lumière naturelle.

## Besoins de chauffage

Les besoins de chauffage ont été estimés à près de **105 kWh/m<sup>2</sup>/an**. Il est à noter que les apports solaires directs permettent de réduire annuellement les besoins de chauffage de près de 128 kWh/m<sup>2</sup>/an. Ces importants apports solaires sont favorisés par un puit de lumière d'une surface de 160m<sup>2</sup> ainsi que de menuiseries en simple vitrage, dont les facteurs solaires sont près de 25% supérieurs aux menuiseries en double vitrage.

Ces besoins pourront largement être réduits par l'isolation de l'enveloppe.

## Confort d'été

Le confort d'été est traduit ici par le nombre d'heures d'occupation où la température intérieure dépasse 26°C (en référence à la climatisation) et 28°C (en référence au rafraîchissement).

Nous pouvons constater un nombre d'heures d'inconfort très important et nous comprenons bien le sentiment d'inconfort des occupants en saison estivale. Ces valeurs sont très symptomatiques d'un bâtiment dont les locaux montent en température et dont les calories apportées par ensoleillement direct, par le dégagement de chaleur des occupants ou encore par les équipements techniques ne sont pas suffisamment évacuées.

### **b) Simulations Energétiques Dynamiques (SED)**

A l'aide de Simulations Energétiques Dynamiques, nous avons pu évaluer le bilan environnemental et financier en phase d'exploitation du bâti existant,

Bâti existant	Consommations	Coûts énergétiques	Empreinte carbone
<b>Estimations - 1an</b>			
Chauffage	344.9 MWh <sub>ef</sub>	21 384 €	108.30 T.eq CO <sub>2</sub>
Refroidissement / Rafraîchissement			
Eau Chaude Sanitaire	12.4 MWh <sub>ef</sub>	769 €	3.89 T.eq CO <sub>2</sub>
Ventilation			
Eclairage	4.5 MWh <sub>ef</sub>	791 €	0.30 T.eq CO <sub>2</sub>
Auxiliaires de distribution	0.7 MWh <sub>ef</sub>	123 €	0.05 T.eq CO <sub>2</sub>
TOTAL usages primaires	362.5 MWh <sub>ef</sub>	23 067 €	113 T.eq CO <sub>2</sub>
<b>Estimations - 50ans</b>			
Chauffage	17245 MWh <sub>ef</sub>	1 069 190 €	5415 T.eq CO <sub>2</sub>
Refroidissement / Rafraîchissement			
Eau Chaude Sanitaire	620 MWh <sub>ef</sub>	38 440 €	195 T.eq CO <sub>2</sub>
Ventilation			
Eclairage	225 MWh <sub>ef</sub>	39 555 €	15 T.eq CO <sub>2</sub>
Auxiliaires de distribution	35 MWh <sub>ef</sub>	6 153 €	2 T.eq CO <sub>2</sub>
TOTAL usages primaires	18125 MWh <sub>ef</sub>	1 153 338 €	5627 T.eq CO <sub>2</sub>

Ordre de grandeur : 1 Tonne de CO<sub>2</sub> représente environ 1 aller-retour Paris/New York en avion pour 1 personne.

### **Valeurs de références pour prix des énergies (source : picbleu - août 2020) :**

Les granulés de bois : 6,41 euros / 100 KWh PCI

Le gaz naturel : 6,20 euros / 100 KWh PCI

Le fioul domestique : 7,58 euros / 100 KWh PCI

Le propane : 15,32 euros / 100 KWh PCI

L'électricité : 17,58 euros / 100 KWh PCI

Valeurs de références pour impact environnemental des énergies (source : référentiel énergie/carbone 2017) :

Les granulés de bois : 27 grCO<sub>2</sub>/kWh

Le gaz naturel : 243 grCO<sub>2</sub>/kWh

Le fioul domestique : 314 grCO<sub>2</sub>/kWh

Le propane : 270 grCO<sub>2</sub>/kWh

L'électricité (chauffage) : 210 grCO<sub>2</sub>/kWh

L'électricité (autres usages) : 66 grCO<sub>2</sub>/kWh

### 3.3.4 Conclusions environnementales du bâti existant

**Dans le cas où la barre d'atelier devait être aménagée sans travaux de réhabilitation énergétique, son utilisation représenterait un coût énergétique annuel de près de 23 000 euros, un impact carbone équivalent à 5600 aller/retour Paris/New York sur 50 ans et ne répondrait pas aux problématiques de confort d'été.**

## 4 Scénarii de réhabilitation

Notre groupement souhaite proposer à la maîtrise d'ouvrage trois scénarii de réhabilitation énergétique.

- dans le **scénario 1** sera proposé une solution répondant seulement à la "RT2005" en vigueur. Conformément à la "RT2005 élément par élément", chacun des éléments constitutifs de l'enveloppe thermique existante et chacun des systèmes énergétiques existants sera amélioré et/ou remplacé pour atteindre les garde-fous réglementaires. Ce scénario ne comportera donc pas de systèmes de rafraîchissement ou de refroidissement. La qualité de l'air intérieur reste assurée naturellement.

- le **scénario 2** reprend les hypothèses du scénario 1 avec intégration cette fois-ci de systèmes de refroidissement et de rafraîchissement conformément à l'expression du besoin formulé par la maîtrise d'ouvrage. De plus, le renouvellement d'air est assuré par voie mécanique. **C'est la solution de référence et le projet d'opération présenté par le groupement.**

- le **scénario 3** s'inscrit quant à lui dans une réelle démarche environnementale et le recours à des solutions éco-responsables pour le rafraîchissement du bâtiment ; la climatisation est abandonnée au profit de rafraîchissement d'air adiabatique, les isolants mis en œuvre sont biosourcés, et une production solaire photovoltaïque est étudiée.

Pour une meilleure comparaison de ces 3 scénarii de réhabilitation, les scénarii d'utilisation (voir annexe 1), les volumétries, l'aménagement des pièces et les surfaces d'ouvertures sont invariants.

Dans l'ordre des priorités, en construction neuve comme en réhabilitation énergétique, les travaux à envisager pour la performance thermique d'un projet se hiérarchisent comme suit,

### 1/ Bioclimatisme et enveloppe thermique.

Le bioclimatisme et la conception passive sont les premières sources d'économie d'énergie car l'énergie la moins cher est celle que l'on ne consomme pas.

**Le besoin énergétique est la quantité d'énergie nécessaire pour assurer un confort.**

**L'énergie assurée par un équipement technique se traduit par une consommation.**

L'enjeu d'une éco-conception est de limiter les consommations énergétiques en limitant préalablement les besoins énergétiques.

## 2/ Performance des équipements techniques.

Le choix et la performance des équipements techniques doit fournir aux occupants ce que les éco-gestes, le bioclimatisme et la performance de l'enveloppe du bâtiment ne peuvent suffisamment apporter. Nous recherchons alors des équipements juste-dimensionnés, à hauts rendements, pérennes et peu consommateurs d'énergie.

## 3/ Equipements producteurs d'énergie renouvelable.

La mise en œuvre d'équipements producteurs d'énergies renouvelables est une solution de qualité environnementale qui ne doit pas se substituer aux deux priorités précédentes.

### 4.1 Scenario 1 : niveau de performance réglementaire

#### 4.1.1 Hypothèses de réhabilitation

Scénario 1	Objectif de performance	Moyen technique	Estimation - Quantitatif
<b>1/ Enveloppe thermique</b>			
Plancher bas	RT "élément par élément" Rparoi > 2.1 m².K/W	Isolation sous chape à l'aide de 7cm de polystyrène expansé	1130 m²
Murs extérieures	RT "élément par élément" Rparoi > 2.2 m².K/W	Isolation par l'extérieur à l'aide de 8cm de polystyrène expansé	560 m²
Toiture	RT "élément par élément" Rparoi > 4.8 m².K/W	Toiture en Bac Acier isolée à l'aide de 16cm de laine de verre	1130 m² (à plat)
Menuiseries extérieures	RT "élément par élément" Uw < 1.9 W/m².K	Menuiseries Alu 4 16 4 avec Uw = 1.9 W/m².K et FS = 0.5	120 m²
Protections solaires	Allier ventilation naturelle / accès à l'éclairage naturel / limiter éblouissement	Brise-soleil orientables type "Griesser" ou équivalent pour les menuiseries de la façade Ouest Rideaux intérieurs pour menuiseries façade Est	50 ml 30 ml
<b>2/ Systèmes énergétiques</b>			
Chauffage		Chaudière gaz à condensation Pompes à débit variable pour chacun des départs Radiateurs basse température toutes zones chauffées à 19°C sauf Salle de Sport, salle de Musculation et Salle Polyvalente qui recevront des panneaux rayonnants.	Chaudière De Dietrich C 230-210 ECO K3 ou équivalent 270 m² de pièces chauffées avec des radiateurs 410 m² de pièces chauffées avec des panneaux rayonnants
Refroidissement / Rafraichissement		Sans objet	Sans objet
Eau Chaude Sanitaire		Production ECS électrique décentralisée	6 préparateurs ECS 10L instantanés pour sanitaires 2 préparateurs ECS 200L semi-instantanés pour vestiaires
Ventilation		Ventilation mécanique simple flux pour tous les locaux à pollution spécifique. Renouvellement d'air de confort par voie naturelle	5 VMC pour locaux à pollution spécifique soit 300 m³/h au total
Eclairage		Eclairage LED Détection de présence pour locaux à occupation passagère Interrupteur On/off pour locaux à occupation continue	630 m² de pièces à occupation continue 500 m² de pièces à occupation passagère
<b>3/ Production d'énergies renouvelables</b>			

## Enveloppe thermique

Comme évoqué précédemment, ce premier scénario de réhabilitation énergétique présente les solutions techniques minimales afin de répondre à la réglementation en vigueur.

Communément aux trois scénarii de réhabilitation et dans le cadre de la dépose de la charpente métallique existante au profit d'une toiture en bac acier, le puit de lumière existant serait supprimé.

Afin de réduire les besoins énergétiques, les parois extérieures de l'enveloppe sont isolées et les menuiseries extérieures remplacées.

Pour les menuiseries extérieures disposées sur la façade Ouest les protections solaires retenues sont des protections solaires mobiles type brise-soleil orientables. Ce système permet d'allier efficacement gestion de l'ensoleillement direct, accès à l'éclairage naturel et problématiques liées à l'éblouissement selon la saison.

Les menuiseries extérieures disposées sur la façade Est étant peu sujettes à l'ensoleillement direct grâce aux masques solaires (masques urbains, espaces végétalisés, mur de séparation, ...) elles seront seulement équipées de rideaux intérieurs.

### Exemples :



## Systèmes énergétiques

Etant donné que **le refroidissement/rafraîchissement n'est pas une obligation réglementaire**, aucun système de climatisation ne sera mis en œuvre dans ce premier scénario.

Le confort hygrothermique d'hiver sera assuré par une **chaudière gaz à condensation**. Ce sont les chaudières gaz qui possèdent le meilleur rendement énergétique. Des radiateurs à eau chaude seront disposés dans la majeure partie des pièces à chauffées sauf la salle polyvalente, la salle de musculation et la salle de simulation qui seront chauffées à l'aide de panneaux rayonnants disposés en plafond.

Les besoins d'Eau Chaude Sanitaire seront assurés par **des préparateurs ECS disposés au plus proche des points de puisage**. Ceci limitera les réseaux de distribution, les problématiques de légionellose, le recours à des pompes de circulation et facilitera leur entretien/maintenance. Cette autosuffisance permettra que la chaufferie soit coupée en été. Comme cela devient de plus en plus fréquent dans les bâtiments publics par principe pédagogique de responsabilité environnementale (notamment les groupes scolaires), **nous souhaitons proposer à la maîtrise d'ouvrage de ne pas recourir à de l'Eau Chaude Sanitaire pour les lavabos des sanitaires**.

Le Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT) impose des débits minimums de renouvellement d'air pour les pièces à pollution spécifique (usage sanitaire, cuisine, ...) et les pièces à occupation non spécifique (salles de classe, bureaux, salle de réunion, ...). **A ce jour le renouvellement d'air de la barre d'atelier est**



**réalisé par voie naturelle via ouverture des menuiseries extérieures.** Ce procédé est totalement réglementaire car cette dernière impose **une exigence de résultat mais non de moyen.**

L'avantage principal de ce procédé est qu'il ne nécessite pas d'équipements particuliers, d'entretien/maintenance ou encore d'électricité pour fonctionner. En revanche, le renouvellement d'air naturel peut être problématique pour diverses raisons :

- lorsque les abords sont occupés, les nuisances acoustiques générées poussent les occupants à fermer les fenêtres pour se protéger du bruit au détriment de la qualité de l'air intérieur.
- il est difficile de gérer l'ouverture/fermeture des menuiseries selon le juste besoin afin de limiter un surplus d'entrée d'air frais en hiver ou d'air chaud en hiver, en outre les débits sont difficilement réglables. Les besoins de chauffage sont donc augmentés en hiver et la température intérieure a tendance à augmenter en été.
- les pièces ne donnant pas sur une façade doivent obligatoirement être équipées de ventilation mécanique.

Dans ce premier scénario, seules les pièces à pollution spécifique tels que les sanitaires et les vestiaires sont équipés d'une VMC simple flux en extraction.

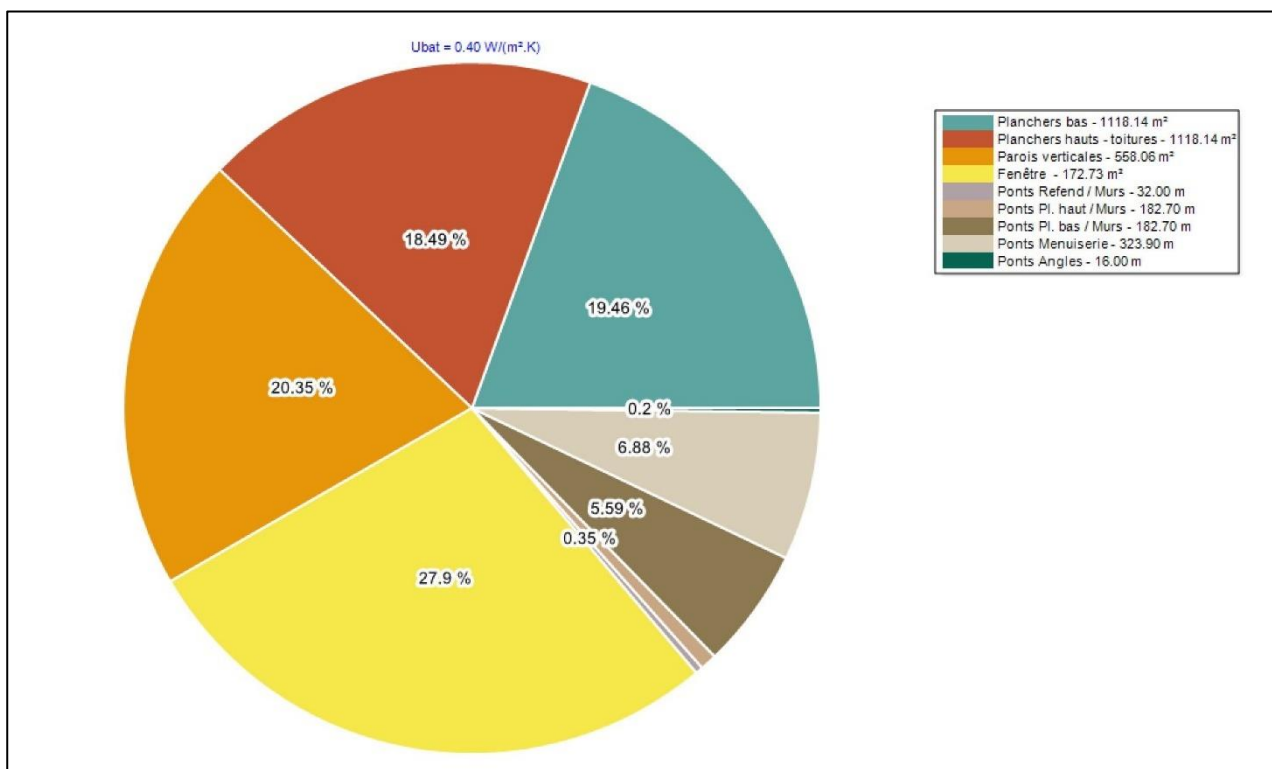
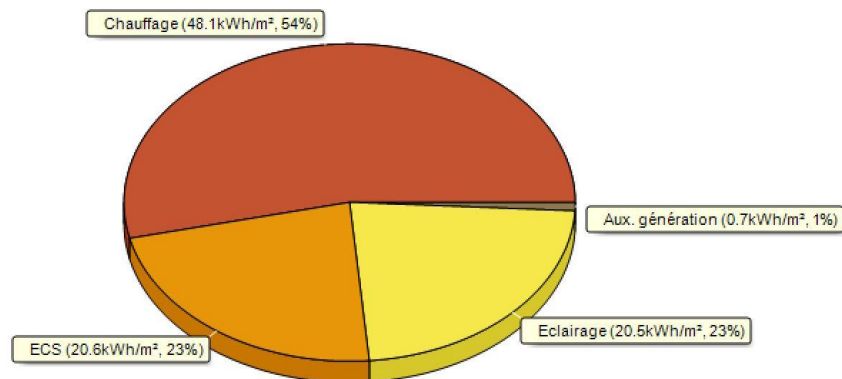
Les équipements d'éclairage seront de type LED sur l'ensemble de la barre d'atelier afin de limiter les consommations d'énergie. Leur gestion sera cohérente avec l'usage du local.

Aucun système de production d'énergies renouvelables n'est prévu dans ce premier scénario.

#### 4.1.2 Evaluation du scenario 1 selon la réglementation thermique

Consommations Cep et déperditions Ubat									
Bâtiment	Cep initial	Cep projet	Cep ref	Cep max	Cep initial-30%	Ubat base	Ubat projet	Ubat max	U-Bat initial
		kWhEP/m <sup>2</sup>	kWhEP/m <sup>2</sup>	kWhEP/m <sup>2</sup>	kWhEP/m <sup>2</sup>	W/(m <sup>2</sup> .K)	W/(m <sup>2</sup> .K)	W/(m <sup>2</sup> .K)	W/(m <sup>2</sup> .K)
Barre d'atelier	420.6	89.9	137.6		294.4	0.525	0.394	0.788	2.005

#### Décomposition du Cep (hors prod. ENR) Projet: 89.9 kWhEP/m<sup>2</sup>.an



Avec un Coefficient d'Energie Primaire (CEP) initial de 420.6 kWhEP/m<sup>2</sup>/an, ce premier scénario de réhabilitation minimal basé sur des exigences réglementaires permet de diviser par près de 4.7 les consommations conventionnelles.

La performance de l'enveloppe initiale appelée « Ubat<sub>initial</sub> » était de 2.005 W/m<sup>2</sup>.K. Grâce à l'isolation thermique de l'enveloppe et le remplacement des menuiseries extérieures, le Ubat<sub>scenario 1</sub> est de 0.394W/m<sup>2</sup>.K; **l'enveloppe thermique est environ 5.1 fois plus performante que celle du bâti existant.**

#### 4.1.3 Evaluation des performances du scenario 1 à l'aide de simulations dynamiques

##### a) Simulations Thermiques Dynamiques (STD)

Fichier météo : Marseille - été chaud Scénario 1	Surface (logiciel PLEIADE)	Volume (logiciel PLEIADE)	Autonomie d'éclairage naturel (% du temps d'occupation ou l'éclairage artificiel n'est pas nécessaire)		Besoins de Chauffage		Quantification de l'inconfort en saison estivale (nombre d'heures par temps d'occupation où T°int > x°C)	
Zones			Autonomie d'éclairage N.	Conso Eclairage	Besoins Ch.	Besoins Ch.	x = 26°C	x = 28°C
	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	%	kWh / an	kWh / an	kWh / m <sup>2</sup> / an	Nombre d'heures	Nombre d'heures
Salle de simulation	101	524	78	372	3 982	39	489	284
Local technique	9	38	Non calculé		0	0	Non calculé	
Bureau ateliers	10	48	60	78	523	50	670	395
Sanitaires bureaux atelier	7	32	Non calculé		0	0	Non calculé	
Bureau santé ateliers	12	56	71	71	643	54	675	397
Circulation ateliers	29	163	Non calculé		0	0	Non calculé	
Salle d'enseignement	30	149	59	153	1 021	34	824	494
Salle de classe 1	17	87	66	82	668	38	719	409
Salle de classe 2	18	87	55	86	817	47	777	451
Circulation locaux mutualisés	17	108	Non calculé		0	0	Non calculé	
Local reprographie	5	34	Non calculé		0	0	Non calculé	
Sanitaires administration	15	95	Non calculé		0	0	Non calculé	
Archives	15	99	Non calculé		0	0	Non calculé	
Local technique 1	11	70	Non calculé		0	0	Non calculé	
Circulation administration	16	90	Non calculé		0	0	Non calculé	
Secrétariat	10	46	90	31	796	80	661	386
Bureau responsable UE	12	58	81	72	603	48	663	408
Bureau entretiens	11	49	84	58	555	52	681	409
Bureau entretiens 1	10	49	90	43	696	67	673	407
Bureaux 3 postes	20	104	83	98	1 464	72	692	425
Circulation salle de sport	29	160	Non calculé		0	0	Non calculé	
Sanitaires garçons et filles	24	120	Non calculé		0	0	Non calculé	
Vestiaires garçons Salle de sport	26	130	Non calculé		0	0	Non calculé	
Stockage équipements sportifs	13	81	Non calculé		0	0	Non calculé	
Vestiaires filles Salle de sport 1	26	145	Non calculé		0	0	Non calculé	
Salle de sport	110	595	91	297	4 409	40	625	366
Stockage matériel	16	75	Non calculé		0	0	Non calculé	
Scène	30	186	89	375	425	14	209	166
Coulisses	16	75	Non calculé		0	0	Non calculé	
Salle polyvalente	197	1 068	89	870	10 639	54	68	44
Stockage matériel 1	16	81	Non calculé		0	0	Non calculé	
Régie	13	81	Non calculé		0	0	Non calculé	
Local ménage	4	18	Non calculé		0	0	Non calculé	
Circulations salle poly	65	327	Non calculé		3 200	49	Non calculé	
Local ménage 1	8	56	Non calculé		0	0	Non calculé	
Studio	61	343	89	236	2 039	34	163	102
Sanitaires salle poly	26	136	Non calculé		0	0	Non calculé	
Chaufferie	35	164	Non calculé		0	0	Non calculé	
Cafétéria + cuisine	15	68	Non calculé		0	0	Non calculé	
<b>TOTAL</b>	<b>1 105</b>	<b>5 894</b>		<b>2 922</b>	<b>32 480</b>	<b>29</b>		

##### Autonomie d'éclairage naturel

Excepté le puit de lumière et les surfaces d'ouvertures étant les mêmes que pour le bâti existant, la barre d'atelier conserve un accès à la lumière naturelle très favorable dans les divers scenarii de réhabilitation énergétique.

Comme évoqué précédemment, les salles de classes et les bureaux aménagés du côté de la façade Ouest sont plus impactés par les masques proches.

Bien que les luminaires fluorescents soient remplacés par des luminaires à LED, les consommations globales d'éclairage diminuent faiblement à cause de la suppression du puit de lumière.

##### Besoins de chauffage

Les besoins de chauffage sont estimés à **29kWh/m<sup>2</sup>/an** soit près de **3.6 fois moins que le bâti existant.**

## Confort d'été

Bien que règlementaire, le premier scénario de réhabilitation ne propose aucun système de rafraîchissement actif; les calories s'accumulent dans les parois à inertie et ne sont jamais évacuées. **Le bâtiment reste très inconfortable en saison estivale** et ne correspond pas aux besoins de la maîtrise d'ouvrage.

### b) Simulations Energétiques Dynamiques (SED)

Scenario 1	Consommations	Coûts énergétiques	Empreinte carbone
<b>Estimations - 1an</b>			
Chauffage	50.3 MWh <sub>ef</sub>	3 118.60 €	15.79 T.eq CO <sub>2</sub>
Refroidissement / Rafraîchissement			
Eau Chaude Sanitaire	2.3 MWh <sub>ef</sub>	404.34 €	0.15 T.eq CO <sub>2</sub>
Ventilation	0.7 MWh <sub>ef</sub>	123.06 €	0.05 T.eq CO <sub>2</sub>
Eclairage	4.3 MWh <sub>ef</sub>	755.94 €	0.28 T.eq CO <sub>2</sub>
Auxiliaires de distribution	0.7 MWh <sub>ef</sub>	123.06 €	0.05 T.eq CO <sub>2</sub>
TOTAL usages primaires	58.3 MWh <sub>ef</sub>	4 525.00 €	16.3 T.eq CO <sub>2</sub>
<b>Estimations - 50ans</b>			
Chauffage	2515 MWh <sub>ef</sub>	155 930.00 €	790 T.eq CO <sub>2</sub>
Refroidissement / Rafraîchissement			
Eau Chaude Sanitaire	115 MWh <sub>ef</sub>	20 217.00 €	8 T.eq CO <sub>2</sub>
Ventilation	35 MWh <sub>ef</sub>	6 153.00 €	2 T.eq CO <sub>2</sub>
Eclairage	215 MWh <sub>ef</sub>	37 797.00 €	14 T.eq CO <sub>2</sub>
Auxiliaires de distribution	35 MWh <sub>ef</sub>	6 153.00 €	2 T.eq CO <sub>2</sub>
TOTAL usages primaires	2915 MWh <sub>ef</sub>	226 250.00 €	816 T.eq CO <sub>2</sub>

\* l'évolution des coûts énergétiques n'est pas prise en compte dans l'estimation sur 50ans

Dans ce premier scénario, nous pouvons estimer les consommations énergétiques des postes primaires à hauteur de **58 MWh<sub>ef</sub>/an**. Cela représente un coût énergétique d'environ **4500 € /an** et un impact carbone équivalent à **16 aller/retour Paris New-York en avion**.

Le **poste de chauffage représente près de 86% des consommations énergétiques, 69% des coûts énergétiques et 97% de l'impact carbone du bâtiment**.

Pour rappel, le gouvernement a récemment annoncé la fin du chauffage gaz dans les constructions de maisons et logements individuels neufs, mais aussi dans les bureaux et bâtiments d'enseignement, pour tout nouveau permis de construire déposé à partir de l'été 2021. Ce dispositif ne s'applique donc pas aux travaux de rénovation. Pour les futurs logements collectifs, l'exclusion du chauffage en gaz interviendra en 2024.

## 4.2 Scenario 2 :

### 4.2.1 Hypothèses de réhabilitation

Scénario 2	Objectif de performance	Moyen technique	Estimation - Quantitatif
<b>1/ Enveloppe thermique</b>			
Plancher bas	RT "élément par élément" + 20% Rparoi > 2.5 m².K/W	Isolation sous chape à l'aide de 9cm de polystyrène expansé	1130 m²
Murs extérieures	RT "élément par élément" + 20% Rparoi > 2.6 m².K/W	Isolation par l'extérieur à l'aide de 10cm de polystyrène expansé	560 m²
Toiture	RT "élément par élément" + 20% Rparoi > 5.8 m².K/W	Toiture en Bac Acier isolée à l'aide de 20cm de laine de verre	1130 m² (à plat)
Menuiseries extérieures	RT "élément par élément" + 15% Uw < 1.60 W/m².K	Menuiseries Alu 4 16 4 avec Uw = 1.6 W/m².K et FS = 0.5	120 m²
Protections solaires	Allier ventilation naturelle / accès à l'éclairage naturel / limiter éblouissement	Brise-soleil orientables type "Griesser" ou équivalent pour les menuiseries de la façade Ouest Rideaux intérieurs pour menuiseries façade Est	50 ml 30 ml
<b>2/ Systèmes énergétiques</b>			
Chauffage		Chauffage de l'ensemble des locaux par Pompe à Chaleur réversible air extérieur / air recyclé Emetteurs type gainable pour le Social Lab et cassettes plafonnieres pour le reste des locaux	800 m² de locaux équipés d'émetteurs de chauffage
Refroidissement / Rafraichissement		Refroidissement de l'ensemble des locaux par Pompe à Chaleur réversible air extérieur / air recyclé Emetteurs type gainable pour le Social Lab et cassettes plafonnieres pour le reste des locaux Salle de musculation non refroidie	640 m² de locaux climatisés
Eau Chaude Sanitaire		Production ECS électrique décentralisée	6 préparateurs ECS 10L instantanés pour sanitaires 2 préparateurs ECS 200L semi-instantanés pour vestiaires
Ventilation		Ventilation mécanique simple flux pour tous les locaux à occupation continue et locaux à pollution spécifique. CTA double flux avec bypass pour Salle de Sport, salle de Musculation et Salle Polyvalente.	3 CTA DF avec batterie d'eau chaude soit 3100 m³/h au total 5 VMC pour locaux à pollution spécifique soit 300 m³/h au total 3 caissons d'extraction SF pour confort soit 700 m³/h au total
Eclairage		Eclairage LED Détection de présence pour locaux à occupation passagère Interrupteur On/off pour locaux à occupation continue	630 m² de pièces à occupation continue 500 m² de pièces à occupation passagère
<b>3/ Production d'énergies renouvelables</b>			

### Scénario de référence

Le scénario 2 présenté ici est celui qui correspond au projet d'opération présenté par le groupement dans le cadre de ce DIAG.

### Similitudes scénario 1

Dans ce second scénario, les solutions techniques de protections solaires, de production d'Eau Chaude Sanitaire et de d'éclairage artificiel sont les mêmes que dans le scénario 1. Aussi, aucun système de production d'énergies renouvelables n'est prévu dans ce scénario.



## **Enveloppe thermique**

Ce second scénario de réhabilitation énergétique présente les solutions techniques permettant une performance de l'enveloppe thermique environ 20% supérieure aux seuils minimaux réglementaires.

Cela se traduit par une épaisseur d'isolants 20% supplémentaire pour le plancher bas, la toiture et les murs extérieurs ainsi que le recours à des menuiseries extérieures en aluminium de qualité supérieure.

## **Systèmes énergétiques**

Conformément aux attentes de la maîtrise d'ouvrage vis-à-vis du confort hygrothermique d'été et notamment d'obtenir une température de consigne de 26°C, la chaudière gaz à condensation est abandonnée au profit de Pompes à Chaleur réversibles.

Les émetteurs seront de type cassettes plafonniers pour l'ensemble des locaux de la barre d'atelier sauf pour les locaux du Social Lab qui seront desservis par gainables.

Le système de chauffage/refroidissement n'est donc plus assuré par radiateurs mais par des ventilo-convecteurs. Les systèmes à air sont plus réactifs et moins encombrants, cependant les consommations énergétiques sont plus fortement impactées par la gestion des menuiseries extérieures, la hauteur sous-plafond ainsi le comportement des occupants qui ont souvent tendance à augmenter les températures de consigne pour un obtenir un confort hygrothermique équivalent à celui procurer par un radiateur en hiver.

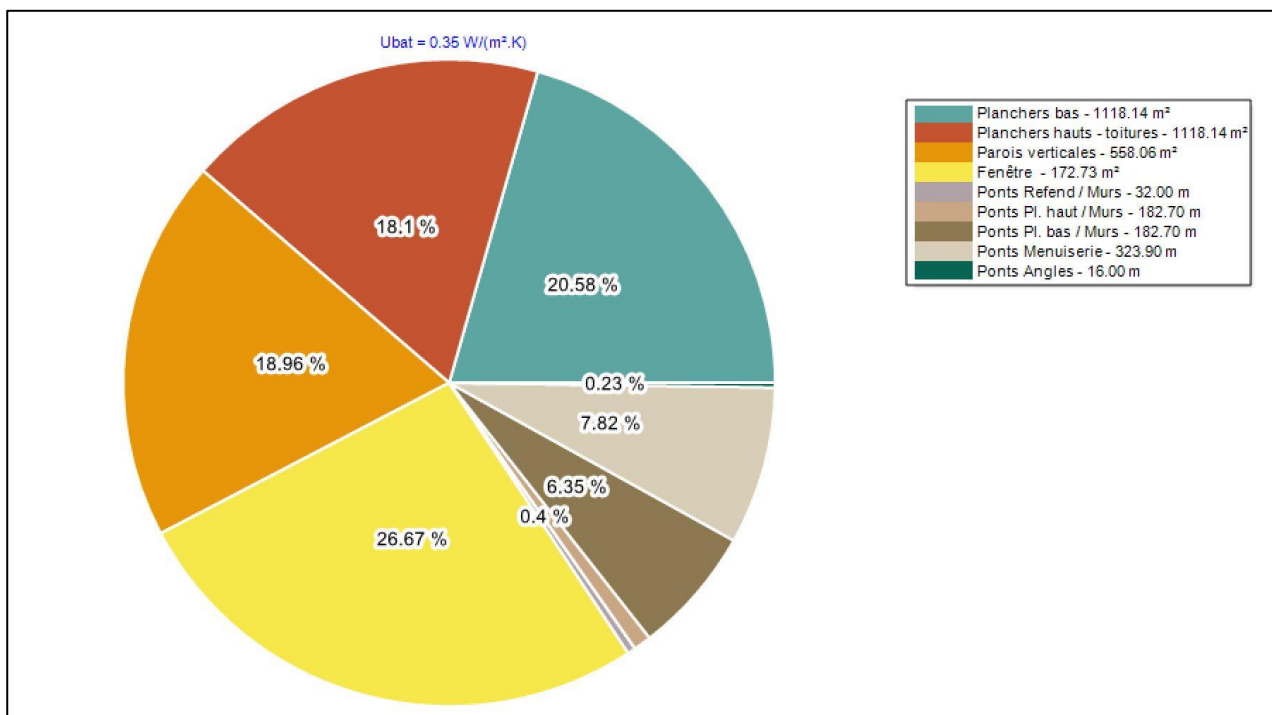
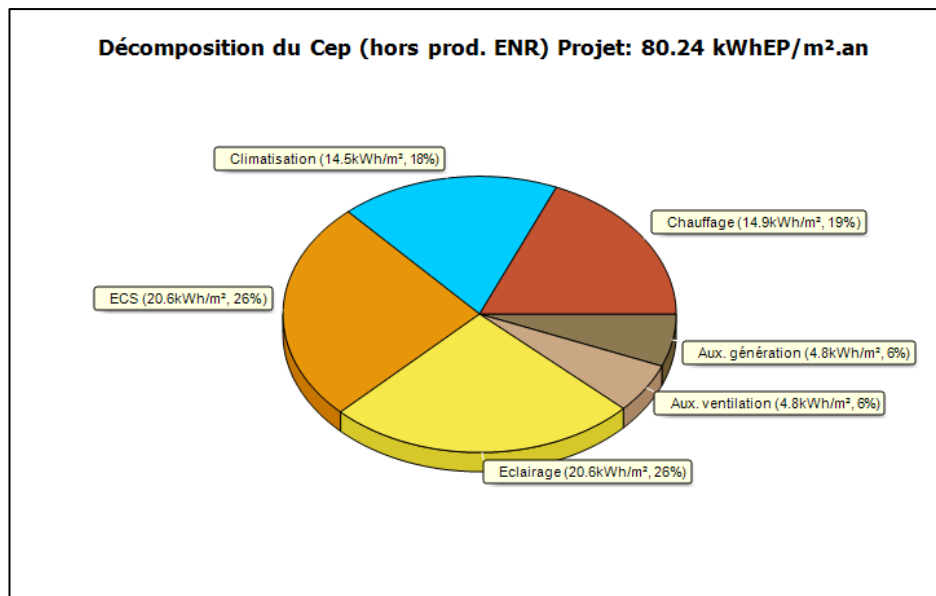
Les débits de renouvellement d'air hygiénique sont assurés mécaniquement pour l'ensemble des locaux de la barre d'atelier. Selon le taux d'occupation de la pièce et son volume, la ventilation mécanique sera en simple flux ou en double flux. Des entrées d'air seront nécessaires pour les locaux donnant sur une façade extérieure et ventilés en "simple flux".

Les CTA en double flux sont plus chers à l'investissement mais plus économiques dans une réflexion en coût global car elles permettent de limiter les besoins de chauffage et de refroidissement grâce à la récupération de calories qui permettent de réchauffer l'air neuf introduit.

Selon l'usage des locaux, la régulation de la ventilation pourra être réalisée par programmation horaire ou liée à des sondes CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.2 Evaluation du scenario 2 selon la réglementation thermique

Consommations Cep et déperditions Ubat									
Bâtiment	Cep initial	Cep projet	Cep ref	Cep max	Cep initial-30%	Ubat base	Ubat projet	Ubat max	U-Bat initial
		kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	W/(m².K)	W/(m².K)	W/(m².K)	W/(m².K)
Barre d'atelier	420.6	80.2	138.3		294.4	0.525	0.346	0.788	2.005



**Avec un Coefficient d'Energie Primaire (CEP) initial de 420.6 kWhEP/m²/an, le scénario de référence permet de diviser par près de 5.2 les consommations conventionnelles.**

La performance de l'enveloppe initiale appelée « Ubat<sub>initial</sub> » était de 2.005 W/m².K. Grâce à l'isolation thermique de l'enveloppe et le remplacement des menuiseries extérieures, le Ubat<sub>scenario 2</sub> est de 0.346 W/m².K. **L'enveloppe thermique est environ 5.8 fois plus performante que l'état initial et 18% plus performante que le scénario réglementaire.**

### 4.2.3 Evaluation des performances du scenario 2 à l'aide de simulations dynamiques

Fichier météo : Marseille - été chaud Scénario 2	Surface (logiciel PLEIADE)	Volume (logiciel PLEIADE)	Autonomie d'éclairage naturel (% du temps d'occupation ou l'éclairage artificiel n'est pas nécessaire)		Besoins de Chauffage		Besoins de Climatisation		Quantification de l'inconfort en saison estivale (nombre d'heures par temps d'occupation où T°int > x°C)	
Zones	m²	m³	Autonomie d'éclairage N. %	Conso Eclairage kWh / an	Besoins Ch. kWh / an	Besoins Ch. kWh / m² / an	Besoins Cl. kWh / an	Besoins Cl. kWh / m² / an	x = 26°C Nombre d'heures	x = 28°C Nombre d'heures
Salle de simulation	101	524	74	372	3 466	34	9 081	90		
Local technique	9	38	Non calculé		0	0			Non calculé	
Bureau ateliers	10	48	57	78	455	44	941	91		
Sanitaires bureaux atelier	7	32	Non calculé		0	0			Non calculé	
Bureau santé ateliers	12	56	68	71	541	45	1 357	113		
Circulation ateliers	29	163	Non calculé		0	0			Non calculé	
Salle d'enseignement	30	149	56	153	858	29	2 069	69		
Salle de classe 1	17	87	62	82	566	32	1 747	100		
Salle de classe 2	18	87	52	86	693	40	1 431	82		
Circulation locaux mutualisés	17	108	Non calculé		0	0			Non calculé	
Local reprographie	5	34	Non calculé		0	0			Non calculé	
Sanitaires administration	15	95	Non calculé		0	0			Non calculé	
Archives	15	99	Non calculé		0	0			Non calculé	
Local technique 1	11	70	Non calculé		0	0			Non calculé	
Circulation administration	16	90	Non calculé		0	0			Non calculé	
Secrétariat	10	46	86	31	662	67	1 348	135		
Bureau responsable UE	12	58	77	72	518	42	1 082	87		
Bureau entretiens	11	49	79	58	470	44	990	93		
Bureau entretiens 1	10	49	86	43	590	56	1 168	112		
Bureaux 3 postes	20	104	79	98	1 191	59	2 448	121		
Circulation salle de sport	29	160	Non calculé		0	0			Non calculé	
Sanitaires garçons et filles	24	120	Non calculé		0	0			Non calculé	
Vestiaires garçons Salle de sport	26	130	Non calculé		0	0			Non calculé	
Stockage équipements sportifs	13	81	Non calculé		0	0			Non calculé	
Vestiaires filles Salle de sport 1	26	145	Non calculé		0	0			Non calculé	
Salle de sport	110	595	87	297	3 669	33			399	100
Stockage matériel	16	75	Non calculé		0	0			Non calculé	
Scène	30	186	85	375	414	14	813	27		
Coulisses	16	75	Non calculé		0	0	606	38	Non calculé	
Salle polyvalente	197	1 068	85	870	8 380	43	3 571	18		
Stockage matériel 1	16	81	Non calculé		0	0			Non calculé	
Régie	13	81	Non calculé		0	0	267	21	Non calculé	
Local ménage	4	18	Non calculé		0	0			Non calculé	
Circulations salle poly	65	327	Non calculé		2 823	44	2 006	31	Non calculé	
Local ménage 1	8	56	Non calculé		0	0			Non calculé	
Studio	61	343	85	236	1 810	30	1 414	23		
Sanitaires salle poly	26	136	Non calculé		0	0			Non calculé	
Chaufferie	35	164	Non calculé		0	0			Non calculé	
Cafétéria + cuisine	15	68	Non calculé		0	0			Non calculé	
TOTAL	1 105	5 894		2 922	27 107	26	32 339	51		

#### a) Simulations Thermiques Dynamiques (STD)

##### Autonomie d'éclairage naturel

Similaire scenarii 1.

##### Besoins de chauffage

Les besoins de chauffage sont estimés à **26kWh/m²/an** soit **près de 4 fois moins** que l'état initial.

##### Confort d'été

Les besoins de refroidissement sont d'environ **51 kWh/m²/an**, ils sont **près de 2 fois plus importants** que les besoins de chauffage.

La salle de sport n'étant pas climatisée conformément aux souhaits de la maîtrise d'ouvrage et ne possédant pas d'autres systèmes de rafraîchissement, le confort hygrothermique d'été n'y est pas assuré. Une solution de rafraîchissement par brasseurs d'airs plafonniers pourra y être envisagée à condition qu'ils soient protégés des ballons ou autres projectiles liés à l'activité de cette salle.

## b) Simulations Energétiques Dynamiques (SED)

Scenario 2	Consommations	Coûts énergétiques	Empreinte carbone
<b>Estimations - 1an</b>			
Chauffage	17.8 MWh <sub>ef</sub>	3 129.24 €	3.74 T.eq CO <sub>2</sub>
Refroidissement / Rafraichissement	17.3 MWh <sub>ef</sub>	3 041.34 €	1.14 T.eq CO <sub>2</sub>
Eau Chaude Sanitaire	2.3 MWh <sub>ef</sub>	404.34 €	0.15 T.eq CO <sub>2</sub>
Ventilation	8.1 MWh <sub>ef</sub>	1 423.98 €	0.53 T.eq CO <sub>2</sub>
Eclairage	4.3 MWh <sub>ef</sub>	755.94 €	0.90 T.eq CO <sub>2</sub>
Auxiliaires de distribution	0.7 MWh <sub>ef</sub>	123.06 €	0.05 T.eq CO <sub>2</sub>
<b>TOTAL usages primaires</b>	<b>50.5 MWh<sub>ef</sub></b>	<b>8 877.90 €</b>	<b>6.5 T.eq CO<sub>2</sub></b>
<b>Estimations - 50ans</b>			
Chauffage	890 MWh <sub>ef</sub>	156 462.00 €	187 T.eq CO <sub>2</sub>
Refroidissement / Rafraichissement	865 MWh <sub>ef</sub>	152 067.00 €	57 T.eq CO <sub>2</sub>
Eau Chaude Sanitaire	115 MWh <sub>ef</sub>	20 217.00 €	8 T.eq CO <sub>2</sub>
Ventilation	405 MWh <sub>ef</sub>	71 199.00 €	27 T.eq CO <sub>2</sub>
Eclairage	215 MWh <sub>ef</sub>	37 797.00 €	45 T.eq CO <sub>2</sub>
Auxiliaires de distribution	35 MWh <sub>ef</sub>	6 153.00 €	2 T.eq CO <sub>2</sub>
<b>TOTAL usages primaires</b>	<b>2525 MWh<sub>ef</sub></b>	<b>443 895.00 €</b>	<b>242 T.eq CO<sub>2</sub></b>

\* l'évolution des coûts énergétiques n'est pas prise en compte dans l'estimation sur 50ans

\* la consommation des ventilateurs des émetteurs de chauffage et de refroidissement sont comptabilisés dans le poste de ventilation

Dans le scénario de référence où l'ensemble des postes fonctionnent à l'électricité, nous pouvons estimer les consommations énergétiques des postes primaires à hauteur de **50 MWh<sub>ef</sub>/an**. Cela représente un coût énergétique d'environ **8900 € /an** et un impact carbone équivalent à **6.5 aller/retour Paris New-York en avion**.

**Les postes de chauffage et de refroidissement sont sensiblement équivalents** et représentent près de **70 % des consommations et coûts énergétiques** ainsi que **75% de l'impact carbone** en phase d'exploitation.



## 4.3 Scenario 3 : haute performance environnementale

### 4.3.1 Hypothèses de réhabilitation

Scénario 3	Objectif de performance	Moyen technique	Estimation - Quantificatif
<b>1/ Enveloppe thermique</b>			
Plancher bas	RT "élément par élément" + 50% Rparoi > 3.2 m².K/W	Isolation sous chape à l'aide de 12cm de liège	1130 m²
Murs extérieures	RT "élément par élément" + 50% Rparoi > 3.3 m².K/W	Isolation par l'extérieur à l'aide de 14cm de fibre de bois	560 m²
Toiture	RT "élément par élément" + 50% Rparoi > 7.2 m².K/W	Toiture en Bac Acier isolée à l'aide de 30cm de fibre de bois	1130 m² (à plat)
Menuiseries extérieures	RT "élément par élément" + 25% Uw < 1.4 W/m².K	Menuiseries bois ou bois/alu 4 16 4 avec Uw = 1.4 W/m².K et FS = 0.5	120 m²
Protections solaires	Allier ventilation naturelle / accès à l'éclairage naturel / limiter éblouissement	Brise-soleil orientables type "Griesser" ou équivalent pour les menuiseries de la façade Ouest Rideaux intérieurs pour menuiseries façade Est	50 ml 30 ml
<b>2/ Systèmes énergétiques</b>			
Chauffage		Chaudière à granulés de bois Pompes à débit variable pour chacun des départs Radiateurs basse température toutes zones chauffées à 19°C sauf Salle de Sport, salle de Musculation et Salle Polyvalente qui recevront des panneaux rayonnants.	Chaudière HARGASSNER EcoPK 170 kW à Granulés de bois ou équivalent 270 m² de pièces chauffées avec des radiateurs 410 m² de pièces chauffées avec des CTA
Refroidissement / Rafraichissement		Rafraichissement d'air adiabatique pour tous locaux initialement climatisés Brasseurs d'air plafonniers pour tous locaux rafraichis Surventilation mécanique nocturne	650 m² de locaux rafraichis avec des BA dont 440 m² de locaux rafraichis par adiabatique
Eau Chaude Sanitaire		Production ECS électrique décentralisée	6 préparateurs ECS 10L instantanés pour sanitaires 2 préparateurs ECS 200L semi-instantanés pour vestiaires
Ventilation		Ventilation mécanique simple flux pour tous les locaux à occupation continue et locaux à pollution spécifique. Capacité de renouvellement d'air à débits nominaux x 2 CTA double flux avec bypass pour Salle de Sport, salle de Musculation et Salle Polyvalente.	3 CTA DF avec batterie d'eau chaude + plug adiabatique soit 4650 m³/h au total 5 VMC pour locaux à pollution spécifique soit 300 m³/h au total 3 caissons d'insufflation SF pour confort + plug adiabatique soit 1050 m³/h au total
Eclairage		Eclairage LED Détection de présence pour locaux à occupation passagère Interrupteur On/off pour locaux à occupation continue	630 m² de pièces à occupation continue 500 m² de pièces à occupation passagère
<b>3/ Production d'énergies renouvelables</b>			
		Panneaux photovoltaïque en Biverre pour parking sécurisé	180 m² de panneaux photovoltaïque avec autoconsommation + revente en surplus

Dans ce dernier scénario de réhabilitation, nous privilégierons des **matériaux et systèmes énergétiques écologiquement et socialement plus vertueux** que ceux présentés précédemment ainsi qu'un système de production d'énergies renouvelables.

Nous préconisons de tendre au maximum vers ce scénario.

## Impact de la climatisation

Dès en amont du projet, il est de notre devoir d'alerter la maîtrise d'ouvrage sur la demande d'un système de refroidissement qui présente plusieurs limites.

En effet, la récurrence annuelle des épisodes caniculaires depuis 2015 et notamment celle de Juin 2019 où une température extérieure de 44.9°C a été enregistrée le 19 Juin, provoque de nouvelles attentes, tant sanitaires qu'énergétiques.

La solution de la climatisation est devenue, à l'instar de "l'air conditionné" américain, depuis la canicule de 2003, la solution privilégiée et spontanée de la grande majorité des acteurs de la construction en France. Ce nouveau marché est devenu alors très lobbyique et favorable à l'électricité nucléaire (beaucoup moins rentable en saison estivale) et on s'est empressait de convaincre, par facilité, que la climatisation était la seule solution possible à tous les maux - en omettant bien sûr que c'est une solution très énergivore et très carbonée.

De plus, la généralisation de la climatisation pose de nombreux problèmes, à commencer par leur coût global dont les externalités environnementales ne sont aujourd'hui pas réglementées :

- Émissions de gaz à effet de serre des gaz frigorigènes, (**compte à lui seul comme environ 10% de l'impact carbone total d'un bâtiment**),
- Appels de puissance croissant sur les réseaux électriques vulnérables en période d'importante chaleur,
- Durée de vie très limitée des systèmes et déchets induits,
- Effets sanitaires de la transmission d'agents biologiques toxiques ou viraux par les systèmes à vecteur air,
- Effets physiologiques à moyen et long termes (rhumatismes, orl...),
- Nuisances acoustiques pour les riverains,
- Nuisances visuelles pour le paysage et le patrimoine,
- Contribution aux effets d'îlots de chaleur urbains par le rejet d'air chaud dans l'espace public...

Aussi, le rendement de ces installations annoncé par les constructeurs est normé pour une température extérieure de 35°C à 37°C. En outre, lorsque la température extérieure dépasse ces températures,

- le rendement de l'installation diminue très fortement et implique de plus grandes consommations énergétiques,
- les climatiseurs se mettent en « marche forcée », ce qui accentue le risque de rupture, et donc nécessite potentiellement l'intervention d'un technicien de maintenance,
- la température de consigne de 26°C risque de ne pas être assurée.

Les règles de l'art pour la construction de bâtiments neufs en climat méditerranéen admettent généralement,

- que la température intérieure ne dépasse pas 28°C plus de 5% du temps d'occupation annuelle,
- qu'il n'y ait pas plus de 7 °C de différence entre intérieur et extérieur car cela peut provoquer des chocs thermiques nocifs (recommandations de l'ADEME).

Dans ce scénario 3, nous présentons donc une solution technique alternative permettant d'assurer « autrement » le confort des occupants. Cette solution ne se focalise pas uniquement sur la température ambiante mais consiste en une analyse multifactorielle intégrant la vitesse d'air, l'humidité relative, le métabolisme, l'activité, la température intérieure, la température des parois et l'habillement.

## Similitudes scénarii 1 et 2

Dans ce troisième scénario, les solutions techniques de protections solaires, de production d'Eau Chaude Sanitaire et de d'éclairage artificiel sont les mêmes que dans les scénarii 1 et 2.

## Enveloppe thermique

L'isolant en laine de verre proposé dans les scénarii 1 et 2 est l'un des isolants les moins chers et les plus performants sur l'aspect énergétique mais il présente une empreinte carbone dégradée. Dans ce 3<sup>ème</sup> scénario nous préconisons le recours à un isolant biosourcé tel que la fibre de bois. Les performances thermiques de la toiture seraient **50% plus importantes que le seuil réglementaire**.

Dans ce scénario éco-exemplaire, nous préconisons des **menuiseries en bois** car elles présentent l'avantage d'avoir un pouvoir isolant globalement 20% plus performant que les menuiseries en aluminium et ont une **empreinte carbone nulle**. En effet, le CO<sub>2</sub> émis pendant la fabrication des cadres de menuiseries s'équilibre dans le temps grâce au fait qu'elles continuent à absorber du CO<sub>2</sub> pendant des décennies en phase d'exploitation.

L'isolant thermique sous chape préalablement proposé en Polystyrène pourra être remplacé par un isolant **biosourcé comme le liège**. Le pouvoir isolant de ces matériaux étant différents, 12cm d'épaisseur seront nécessaires pour l'isolation du plancher bas.

L'isolant thermique des murs extérieures initialement prévu en Polystyrène serait remplacé par de la **fibre de bois**. Environ 14cm d'isolants seraient nécessaires pour rendre les murs extérieures **50% plus performants thermiquement que le seuil réglementaire**.

Laine de verre / polystyrène --> liège / fibre de bois
--

### Systèmes énergétiques

Le chauffage de la barre d'atelier sont assurées par des **chaudières à granulés de bois**. Elles seront alimentées par un silo de stockage et une vis sans fin.

Le bois énergie se présente comme le combustible de chauffage le plus intéressant et demeure très largement soutenu politiquement par les territoires.

**Valorisation forestière** – L'utilisation du bois énergie concourt à une gestion forestière durable. Les forêts françaises s'accroissent globalement d'environ 1% chaque année en surface et leur faible exploitation constitue désormais un enjeu majeur d'aménagement du territoire ; augmentation du risque d'incendie et difficulté de renouvellement des peuplements vieillissants. Cette faible exploitation s'explique par la qualité des bois, la limitation du débouché pour ces derniers, le morcellement de la propriété et les contraintes sociales.

**Économique** – Le combustible bois est l'une des sources d'énergie la moins chère et son prix est stable dans le temps puisque c'est une matière première qui n'est pas indexée sur le prix du baril de pétrole.

**Environnemental** – La combustion du bois rejette le CO<sub>2</sub> stocké par l'arbre lors de sa croissance selon le principe de la photosynthèse et du cycle du carbone, il a donc un bilan CO<sub>2</sub> nul contrairement aux énergies fossiles. L'utilisation de 4 m<sup>3</sup> de bois en substitution d'une énergie fossile pour le chauffage collectif résidentiel évite l'apport de 2,5t de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

**Emploi** - Il permet de développer ou maintenir de l'activité économique locale grâce à l'ensemble des opérations de production de plaquettes/granulés bois énergie (exploitation, broyage, stockage/conditionnement, livraisons, ...) et développer et diversifier l'économie du bois et de la forêt en milieu rural, en créant ou maintenant des emplois dans les entreprises sur les territoires.

Des radiateurs à eau chaude seront disposés dans la majeure partie des pièces à chauffées sauf la salle polyvalente, la salle de musculation et la salle de simulation qui seront chauffées par gainables.

Le **brasseur d'air plafonnier** est utilisé depuis le dix-huitième siècle et demeure **le système technique de rafraîchissement le plus répandu au monde**. Il crée un mouvement d'air artificiel qui augmente considérablement la vitesse de l'air dans la pièce et donne une sensation de fraîcheur grâce à la réaction épidermique du corps humain.

Une réaction thermodynamique se crée lorsque l'air brassé vient chasser la fine masse de chaleur qui se trouve en surface du corps. La sensation de confort est favorisée par deux mécanismes qui sont la convection et l'évaporation.

Le ventilateur de plafond permet donc une baisse de la **température ressentie pouvant aller jusqu'à moins 8 degrés** alors que la température ambiante restera inchangée.

Dans le cadre de ce scénario de rénovation éco-responsable, nous préconisons le recours aux brasseurs d'air plafonniers pour l'ensemble des pièces à occupation continue de la barre d'atelier.



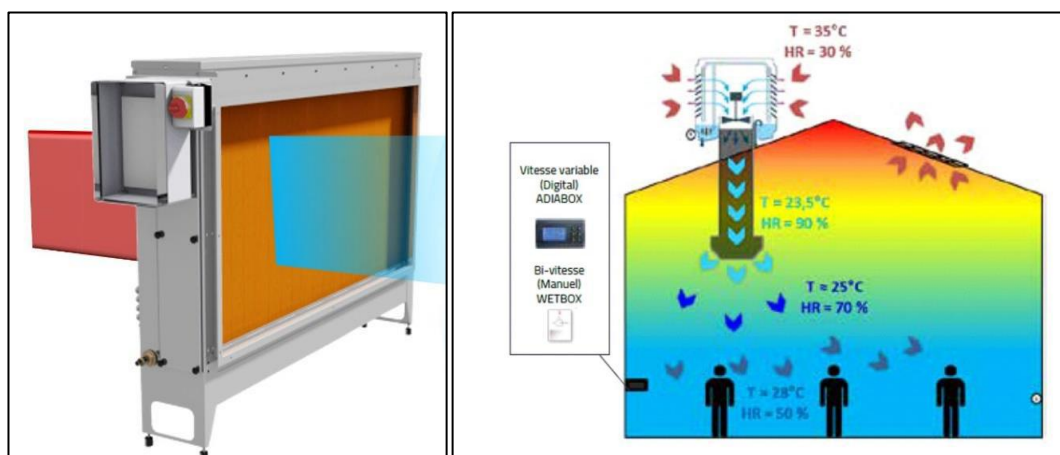
De même que pour le scénario 2, le renouvellement d'air hygiénique est assuré par des organes de ventilation mécanique. De plus, une **surventilation nocturne mécanique programmable** est mise en œuvre. La température extérieure étant plus faible la nuit que le jour, la surventilation nocturne est un procédé qui permet de décharger un bâtiment des calories accumulées la journée par une augmentation importante des débits de renouvellement d'air. De fait, les caissons de ventilation devront avoir une capacité de renouvellement au moins **2x supérieurs aux débits nominaux et/ou permettre un renouvellement d'air de 10 volume/heure.**

Les débits de ventilation pourront être réglés au juste besoin par des scénarios de programmation horaire ou encore des **sondes CO<sub>2</sub>** positionnées à 1mètre du sol.

Les caissons de ventilation pourront être équipés de plugs permettant le **rafraichissement adiabatique**.

Le principe est simple : l'air chaud passe à travers un échangeur humide. En s'évaporant, l'eau absorbe les calories présentes dans l'air, ce qui par conséquent le rafraîchit, l'enthalpie est donc constante dans cet échange. En outre ce système est particulièrement intéressant pour notre climat méditerranéen car les été sont chauds et secs.

Le rafraichissement adiabatique est l'une des solutions les plus économiques pour refroidir l'air – on parle souvent d'éco-climatisation car il n'y plus besoin d'un compresseur très « gourmand » énergétiquement et financièrement ou de **fluide frigorigère R410A qui est un gaz à effet de serre puissant**. De plus et contrairement à la climatisation traditionnelle, les ouvertures du bâtiment (fenêtres, portes...) n'ont aucune incidence sur le bon fonctionnement de l'installation.



Plug adiabatique

Principe de fonctionnement



### Plug adiabatique

Pour se faire, les caissons de ventilation en simple flux devront fonctionner en insufflation. L'air refroidi et chargé en humidité est insufflé dans le volume intérieur et chassant l'air chaud vers l'extérieur. Le confort des occupants n'est ainsi plus seulement assuré par un abaissement seul de la température (=climatisation) mais également en prenant en compte la vitesse de l'air du local ainsi que l'humidité relative. Cette sensation de confort est décuplée par la mise en route des brasseurs d'air plafonniers prévus grâce au phénomène d'évapotranspiration.

**Le rafraîchissement d'air adiabatique consomme près de 10x moins d'électricité que la climatisation** pour fonctionner. Il a par exemple été préféré à la climatisation pour le rafraîchissement de l'institut du sang de Barcelone.

### Production d'énergies renouvelables

Une production d'électricité est possible avec la mise en œuvre de **panneaux solaires photovoltaïques en Biverre positionnés en ombrière du parking sécurisé.**

La surface d'installation pressentie est d'environ **180m<sup>2</sup>** ce qui représente une puissance installée d'environ **23kWc.**

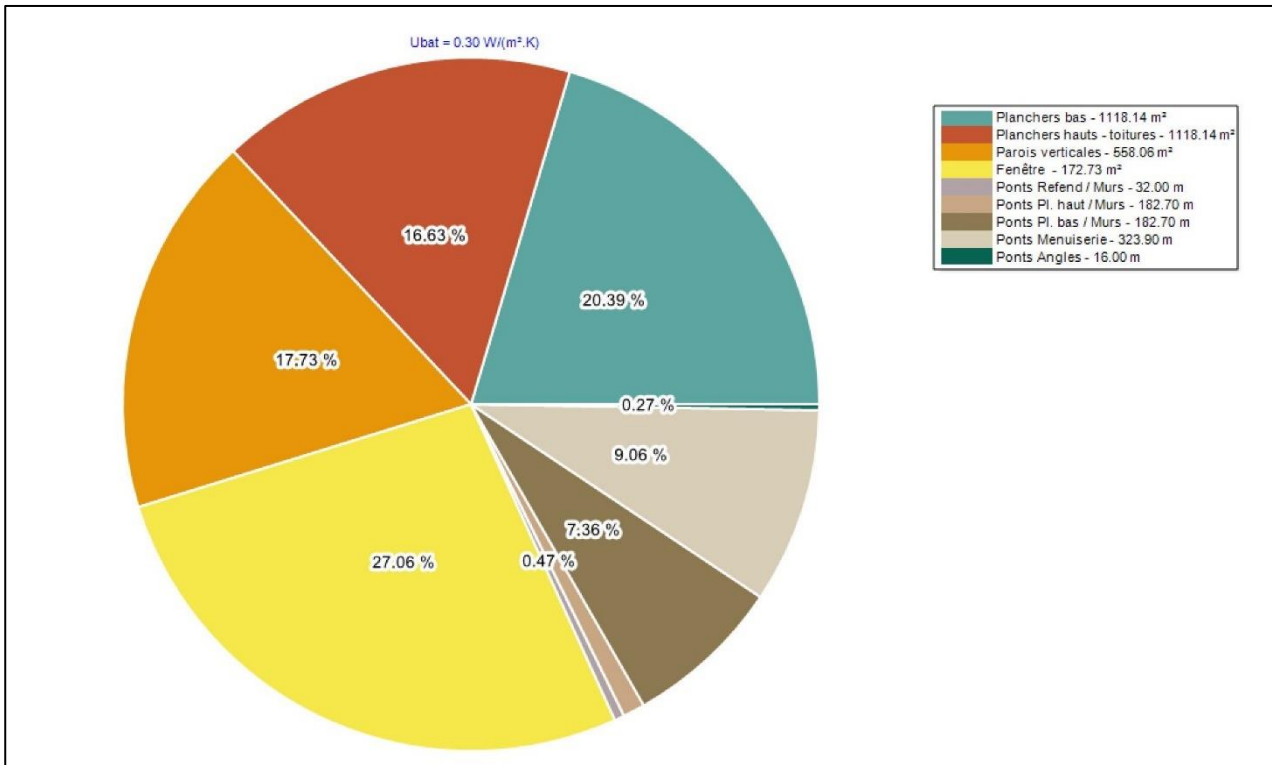
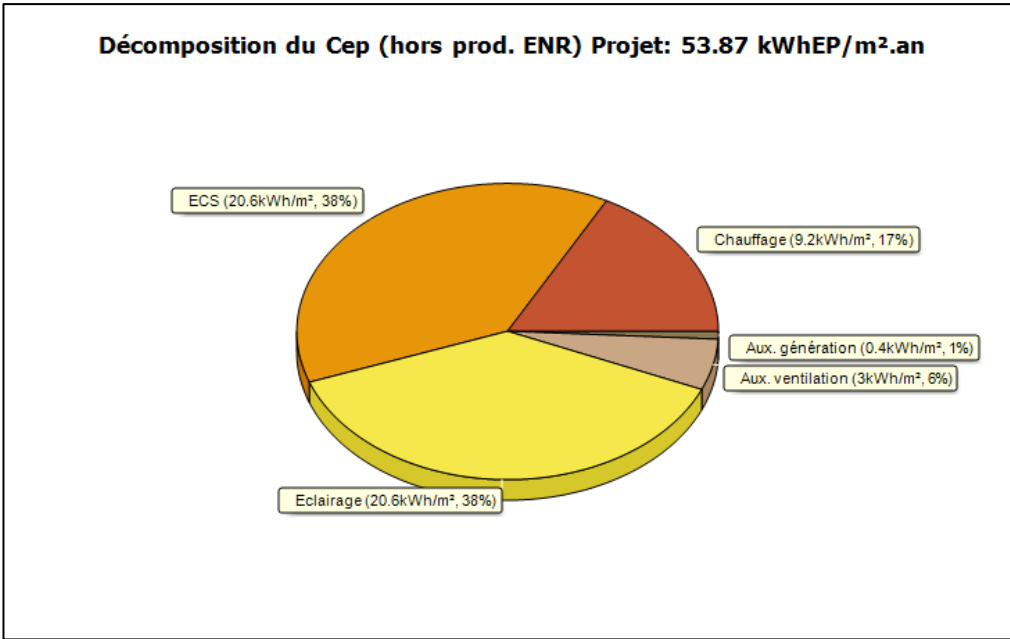
L'électricité produite serait **prioritairement auto consommée** par les équipements électriques de la barre d'atelier tandis que **l'énergie excédante serait revendue.**

Exemple de production photovoltaïque en Biverre :



4.3.2 Evaluation du scenario 3 selon la réglementation thermique

Consommations Cep et déperditions Ubat									
Bâtiment	Cep initial	Cep projet	Cep ref	Cep max	Cep initial-30%	Ubat base	Ubat projet	Ubat max	U-Bat initial
		kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	W/(m².K)	W/(m².K)	W/(m².K)	W/(m².K)
Barre d'atelier	420.6	-11.2	128.9		294.4	0.525	0.298	0.788	2.005



Avec un Coefficient d'Energie Primaire (CEP) initial de 420.6 kWh/m²/an, ce dernier scénario inscrit pleinement dans une démarche de construction durable permet d'atteindre un CEP négatif; le bâtiment est à énergie positive, il produit plus d'énergies qu'il n'en consomme.

La performance de l'enveloppe initiale appelée « Ubat<sub>initial</sub> » était de 2.005 W/m².K. Grâce à l'isolation thermique de l'enveloppe et le remplacement des menuiseries extérieures, le Ubat<sub>scenario 3</sub> est de 0.298 W/m².K. **L'enveloppe thermique est environ 6.7fois plus performante que l'état initial** et 14% plus performante que le scénario de référence.

Remarque : les brasseurs d'air plafonniers ainsi que le rafraichissement d'air adiabatique ne sont pas pris en compte par la réglementation thermique existante. Aussi, les **chaudières à granulés de bois sont largement valorisées** par les règles de calcul TH-C-E ex.

#### 4.3.3 Evaluation des performances du scenario 3 à l'aide de simulations dynamiques

##### a) Simulations Thermiques Dynamiques (STD)

Fichier météo : Marseille - été chaud Scénario 3	Surface (logiciel PLEIADE)	Volume (logiciel PLEIADE)	Autonomie d'éclairage naturel (% du temps d'occupation ou l'éclairage artificiel n'est pas nécessaire)		Besoins de Chauffage		Quantification de l'inconfort en saison estivale
Zones	m²	m³	Autonomie d'éclairage N. %	Conso Eclairage kWh / an	Besoins Ch. kWh / an	Besoins Ch. kWh / m² / an	Diagramme de Givoni Nombre d'heures
Salle de simulation	101	524	70	372	2 703	27	1
Local technique	9	38	Non calculé		0	0	Non calculé
Bureau ateliers	10	48	54	78	419	40	9
Sanitaires bureaux atelier	7	32	Non calculé		0	0	Non calculé
Bureau santé ateliers	12	56	64	71	509	42	18
Circulation ateliers	29	163	Non calculé		0	0	Non calculé
Salle d'enseignement	30	149	53	153	867	29	36
Salle de classe 1	17	87	59	82	564	32	51
Salle de classe 2	18	87	50	86	683	39	50
Circulation locaux mutualisés	17	108	Non calculé		0	0	Non calculé
Local reprographie	5	34	Non calculé		0	0	Non calculé
Sanitaires administration	15	95	Non calculé		0	0	Non calculé
Archives	15	99	Non calculé		0	0	Non calculé
Local technique 1	11	70	Non calculé		0	0	Non calculé
Circulation administration	16	90	Non calculé		0	0	Non calculé
Secrétariat	10	46	81	31	622	63	42
Bureau responsable UE	12	58	73	72	489	39	59
Bureau entretiens	11	49	75	58	446	42	85
Bureau entretiens 1	10	49	81	43	559	53	76
Bureaux 3 postes	20	104	75	98	1 107	55	44
Circulation salle de sport	29	160	Non calculé		0	0	Non calculé
Sanitaires garçons et filles	24	120	Non calculé		0	0	Non calculé
Vestiaires garçons Salle de sport	26	130	Non calculé		0	0	Non calculé
Stockage équipements sportifs	13	81	Non calculé		0	0	Non calculé
Vestiaires filles Salle de sport 1	26	145	Non calculé		0	0	Non calculé
Salle de sport	110	595	82	297	2 585	24	34
Stockage matériel	16	75	Non calculé		0	0	Non calculé
Scène	30	186	81	375	360	12	12
Coulisses	16	75	Non calculé		0	0	Non calculé
Salle polyvalente	197	1 068	81	870	7 744	39	12
Stockage matériel 1	16	81	Non calculé		0	0	Non calculé
Régie	13	81	Non calculé		0	0	Non calculé
Local ménage	4	18	Non calculé		0	0	Non calculé
Circulations salle poly	65	327	Non calculé		2 518	39	Non calculé
Local ménage 1	8	56	Non calculé		0	0	Non calculé
Studio	61	343	81	236	1 647	27	73
Sanitaires salle poly	26	136	Non calculé		0	0	Non calculé
Chaufferie	35	164	Non calculé		0	0	Non calculé
Cafétéria + cuisine	15	68	Non calculé		0	0	Non calculé
TOTAL	1 105	5 894		2 922	23 823	23	

##### Autonomie d'éclairage naturel

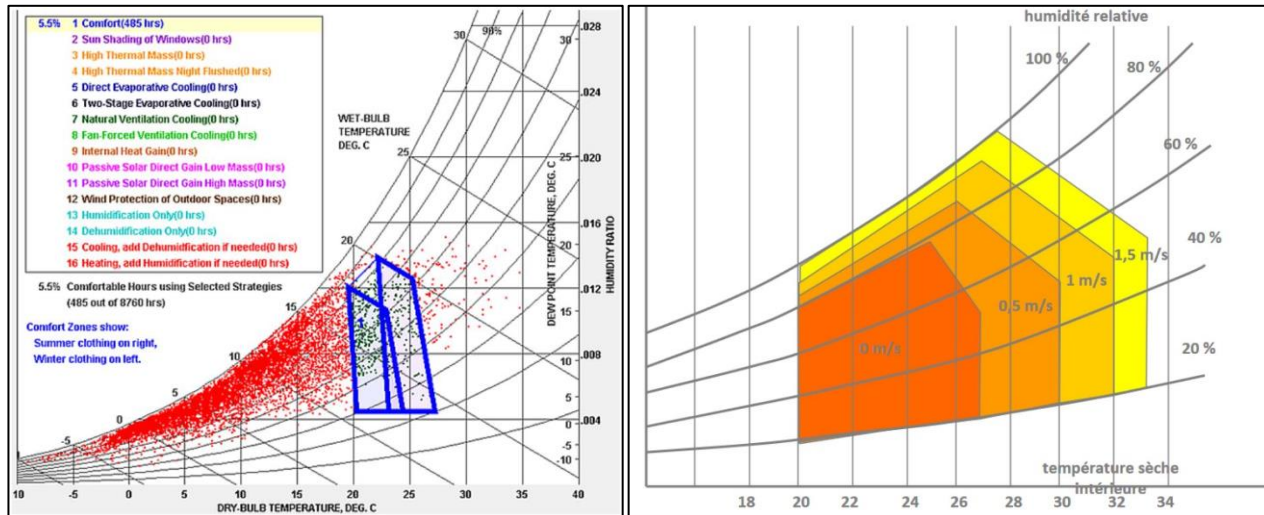
Similaire scenarii 1 et 2.

##### Besoins de chauffage

Les besoins de chauffage sont estimés à **23kWh/m²/an** soit près de **4.6 fois moins** que l'état initial.

## Confort d'été

Dans ce troisième scénario l'analyse du **confort en saison estivale** est approchée par le **diagramme de Givoni**. Il permet de tracer sur un diagramme psychrométrique (humidité en ordonnée, et température en abscisse) des plages de confort, qui peuvent dépendre de la vitesse d'air, de l'habillement (comme sur le diagramme ci-dessous) ou de l'activité.



Pour une humidité relative de 50% et une vitesse d'air de 0 m/s, nous pouvons voir que la température d'inconfort est de 27°C. Pour une vitesse de 1m/s, soit celle procurée par un brasseur d'air, cette température d'inconfort est portée à 32°C.

Remarque : En raison d'un conflit de convergence des données d'humidité relative obtenue dans le logiciel de simulation, le nombre d'heures d'inconfort obtenu est légèrement faussé.



## b) Simulations Energétiques Dynamiques (SED)

Scenario 3	Consommations	Coûts énergétiques	Empreinte carbone
<b>Estimations - 1an</b>			
Chauffage	42.2 MWh <sub>ef</sub>	2 705.02 €	1.14 T.eq CO <sub>2</sub>
Refroidissement / Rafraichissement	1.7 MWh <sub>ef</sub>	304.13 €	0.11 T.eq CO <sub>2</sub>
Eau Chaude Sanitaire	2.3 MWh <sub>ef</sub>	404.34 €	0.15 T.eq CO <sub>2</sub>
Ventilation	5.2 MWh <sub>ef</sub>	914.16 €	0.34 T.eq CO <sub>2</sub>
Eclairage	4.3 MWh <sub>ef</sub>	755.94 €	0.28 T.eq CO <sub>2</sub>
Auxiliaires de distribution	0.6 MWh <sub>ef</sub>	105.48 €	0.04 T.eq CO <sub>2</sub>
Production photovoltaïque	-22.9 MWh <sub>ef</sub>	-2 702.20 €	-2.02 T.eq CO <sub>2</sub>
TOTAL usages primaires	35.2 MWh <sub>ef</sub>	2 486.87 €	0.1 T.eq CO <sub>2</sub>
<b>Estimations - 50ans</b>			
Chauffage	2110 MWh <sub>ef</sub>	135 251.00 €	57 T.eq CO <sub>2</sub>
Refroidissement / Rafraichissement	87 MWh <sub>ef</sub>	15 206.70 €	6 T.eq CO <sub>2</sub>
Eau Chaude Sanitaire	115 MWh <sub>ef</sub>	20 217.00 €	8 T.eq CO <sub>2</sub>
Ventilation	260 MWh <sub>ef</sub>	45 708.00 €	17 T.eq CO <sub>2</sub>
Eclairage	215 MWh <sub>ef</sub>	37 797.00 €	14 T.eq CO <sub>2</sub>
Auxiliaires de distribution	30 MWh <sub>ef</sub>	5 274.00 €	2 T.eq CO <sub>2</sub>
Production photovoltaïque	-1145 MWh <sub>ef</sub>	-135 110.00 €	-101 T.eq CO <sub>2</sub>
TOTAL usages primaires	1758 MWh <sub>ef</sub>	124 343.70 €	3 T.eq CO <sub>2</sub>

\* l'évolution des coûts énergétiques n'est pas prise en compte dans l'estimation sur 50ans

Dans le scénario de réhabilitation éco-responsable, nous pouvons estimer les consommations énergétiques des postes primaires à hauteur de **58 MWh<sub>ef</sub>/an** et la production d'énergies renouvelables à hauteur de **23 MWh<sub>ef</sub>/an** ce qui porte à un bilan global d'environ **35 MWh<sub>ef</sub>/an**.

Le **coût énergétique serait d'environ 2500 €** avec l'hypothèse d'une production photovoltaïque autoconsommée à 50% et revendue à 50%.

Grâce aux solutions techniques mises en œuvre, la **neutralité carbone** de la barre d'atelier serait **quasiment atteinte** en phase d'exploitation.

#### 4.4 Comparaison des scénarii de réhabilitation - phase exploitation

Synthèse scenarii	Consommations	Coûts énergétiques	Empreinte carbone
<b>Estimations - 1an</b>			
Scenario 1	58.3 MWh <sub>ef</sub>	4 525 €	16.3 MWh <sub>ef</sub>
Scenario 2 - Projet	50.5 MWh <sub>ef</sub>	8 878 €	6.5 MWh <sub>ef</sub>
Scenario 3	35.2 MWh <sub>ef</sub>	2 487 €	0.1 MWh <sub>ef</sub>
<b>Estimations - 50ans</b>			
Scenario 1	2915 MWh <sub>ef</sub>	226 250 €	816 T.eq CO <sub>2</sub>
Scenario 2 - Projet	2525 MWh <sub>ef</sub>	443 895 €	326 T.eq CO <sub>2</sub>
Scenario 3	1758 MWh <sub>ef</sub>	124 344 €	3 T.eq CO <sub>2</sub>

Le scénario 1, isolé aux seuils règlementaires et chauffé au gaz représente une consommation énergétique près de **2x moindre que le scénario de référence**. Cependant, il ne présente pas de solutions de rafraîchissement/refroidissement et demeure **très inconfortable en été**. Aussi, il a un **impact carbone en phase d'exploitation 2.5x plus important**.

Le **scénario 2 répond aux objectifs de confort hygrothermique** de la maîtrise d'ouvrage en toute saison. Avec ses pompes à chaleurs réversibles, le chauffage et le refroidissement sont assurés par des cassettes plafonniers et des gainables. Il reste cependant **le scénario le plus onéreux en phase d'exploitation**.

Le **scénario 3 s'inscrit pleinement dans une démarche de développement durable**. Il présente une alternative au refroidissement par le biais d'un système de rafraîchissement d'air adiabatique, de brasseurs d'air plafonniers et de surventilation nocturne active. La quantification de l'inconfort n'est plus uniquement portée sur la température ambiante et devient multifactorielle. Les isolants synthétiques sont remplacés par des **isolants biosourcés** et la Pompe à Chaleur assurant le chauffage est remplacée par **une chaudière à granulés de bois**. Les **coûts énergétiques sont environ 3.5x moins importants** que le scénario-projet et tend vers la **neutralité carbone en phase d'exploitation**.

## 4.5 Comparaison des scénarii de réhabilitation - phase construction

Comparaison estimation des coûts d'investissement		Scénario 1		Scénario 2 = Scénario de référence	Scénario 3	
1/ Enveloppe thermique						
Plancher bas	Isolation sous chape à l'aide de 7cm de polystyrène expansé	- 5000 €	Isolation sous chape à l'aide de 9cm de polystyrène expansé	+ 30000 €	Isolation sous chape à l'aide de 12cm de liège	
Murs extérieures	Isolation par l'extérieur à l'aide de 8cm de polystyrène expansé	- 3000 €	Isolation par l'extérieur à l'aide de 10cm de polystyrène expansé	+ 11000 €	Isolation par l'extérieur à l'aide de 14cm de fibre de bois	
Toiture	Toiture en Bac Acier isolée à l'aide de 16cm de laine de verre en plénum	- 2500 €	Toiture en Bac Acier isolée à l'aide de 20cm de laine de verre en plénum	+ 7000 €	Toiture en Bac Acier isolée à l'aide de 30cm de fibre de bois en plénum	
Menuiseries extérieures	Menuiseries Alu 4 16 4 avec Uw = 1.9 W/m².K et FS = 0.5	- 12000 €	Menuiseries Alu 4 16 4 avec Uw = 1.6 W/m².K et FS = 0.5	+ 18000 €	Menuiseries bois ou bois/alu 4 16 4 avec Uw = 1.4 W/m².K et FS = 0.5	
Protections solaires	IDEM		Brise-soleil orientables type "Griesser" ou équivalent pour les menuiseries de la façade Est Rideaux intérieurs pour menuiseries façade Ouest	IDEM		
2/ Systèmes énergétiques						
Chauffage	Chaudière gaz à condensation Pompes à débit variable pour chacun des départs Radiateurs basse température toutes zones chauffées à 19°C sauf Salle de Sport, salle de Musculation et Salle Polyvalente qui recevront des panneaux rayonnants.	- 8500 €	Chauffage de l'ensemble des locaux par Pompe à Chaleur réversible air extérieur / air recyclé Emetteurs type gainable pour le Social Lab et cassettes plafonnrières pour le reste des locaux	+ 6500 €	Chaudière à granulés de bois Pompes à débit variable pour chacun des départs Radiateurs basse température toutes zones chauffées à 19°C sauf Salle de Sport, salle de Musculation et Salle Polyvalente qui recevront des panneaux rayonnants.	
Refroidissement / Rafraichissement	Sans objet		Refroidissement de l'ensemble des locaux par Pompe à Chaleur réversible air extérieur / air recyclé Emetteurs type gainable pour le Social Lab et cassettes plafonnrières pour le reste des locaux Salle de musculation non refroidie	+ 23 500 €	Rafraichissement d'air adiabatique pour tous locaux initialement climatisés Brasseurs d'air plafonnier pour tous locaux rafraichis Surventilation mécanique nocturne	
Ventilation	Ventilation mécanique simple flux pour tous les locaux à pollution spécifique. Renouvellement d'air de confort par voie naturelle	- 60 000 €	Ventilation mécanique simple flux pour tous les locaux à occupation continue et locaux à pollution spécifique. CTA double flux avec bypass pour Salle de Sport, salle de Musculation et Salle Polyvalente.	+ 32000 €	Ventilation mécanique simple flux pour tous les locaux à occupation continue et locaux à pollution spécifique. Capacité de renouvellement d'air à débits nominaux x 2 CTA double flux avec bypass pour Salle de Sport, salle de Musculation et Salle Polyvalente.	
Eau Chaude Sanitaire	IDEM		Production ECS électrique décentralisée	IDEM		
Eclairage	IDEM		Eclairage LED Détection de présence pour locaux à occupation passagère Interrupteur On/off pour locaux à occupation continue	IDEM		
3/ Production d'énergies renouvelables						
	Sans objet		Sans objet	+ 81000 €	180 m² de panneaux photovoltaïque avec autoconsommation + revente en surplus	
TOTAL		-82 500.00 €		209 000 €		

Par rapport à l'enveloppe prévisionnelle de travaux allouée à la rénovation de la barre d'atelier dans le cadre de ce DIAG,

- le scénario 1 présente une **moins-value d'environ 82500 €**

- le scénario 3 présente une **plus-value d'environ 209000 €**

# Annexes

## ANNEXE 1 : SCENARII D'UTILISATION

Programme d'opération			
1. UEAJ SYLVESTRE ADMINISTRATION			
Usage RT2005 : Immeuble de bureaux			
Repère	Pièce	Nombre	Surface unitaire
1.1	Hall Accueil/Attente	1	10 m²
1.2	Bureau Responsable UE	1	12 m²
1.3	Secrétariat	1	10 m²
1.4	Bureau de 3 postes de travail	1	20 m²
1.5	Bureau d'entretiens	1	10 m²
1.6	Reprographie	1	5 m²
1.7	Stockage pour équipements sportifs	1	12 m²
1.8	Archives	1	15 m²
1.9	Sanitaires	2	6 m²
/	Circulations	/	/

2. UEAJ SOCIAL LAB			
Usage RT2005 : Grande salle de spectacle, de conférences			
Repère	Pièce	Nombre	Surface unitaire
2.1	Salle polyvalente	1	200 m²
2.2	Scène	1	40 m²
2.3	Coulisses	1	20 m²
2.4	Cafétéria + Cuisine	1	15 m²
2.5	Studio de répétition	1	60 m²
2.6	Local régie	1	12 m²
2.7	Sanitaires	1	8 m²
2.8	Stockage matériel	1	15 m²
2.9	Circulations	/	/

3. UEAJ LOCAUX D'ATELIERS			
Usage RT2005 : Etablissement enseignement zone enseignement			
Repère	Pièce	Nombre	Surface unitaire
3.1	Salle de simulation + enseignement	1	100 m²
3.2	Bureau	1	10 m²
3.5	Bureau santé	1	12 m²
3.6	Sanitaires agents	1	6 m²
/	Circulations	/	/

4. UEAJ SPORTS			
Usage RT2005 : Etablissement sportif			
Repère	Pièce	Nombre	Surface unitaire
4.1 et 4.2	Salle de sport + espace de musculation	1	110 m²
4.3	Vestiaires/Sanitaires	2	16 m²
/	Circulations	/	/

5. LOCAUX MUTUALISES			
Usage RT2005 : Etablissement enseignement zone enseignement			
Repère	Pièce	Nombre	Surface unitaire
5.1	Salles de classes	2	18 m²
5.2	Salles d'enseignement	1	30 m²
4.3	Sanitaires	2	12 m²
/	Circulations	/	/

Scenarios d'utilisation pour évaluation des besoins de la maîtrise d'ouvrage				
1. UEAJ SYLVESTRE ADMINISTRATION				
Usage RT2005 : Immeuble de bureaux				
Nombre d'occupants	Renouvellement d'air hygiénique	Besoins d'Eau chaude sanitaire	Niveau d'éclairage	Refroidissement / Rafraichissement
			150 lux	
1 4	18 m³/h 72 m³/h		300 lux	Refroidissement
2.5	45 m³/h		300 lux	Refroidissement
7	126 m³/h		300 lux	Refroidissement
2.5	45 m³/h		300 lux	Refroidissement
	2 m³/h		300 lux	
	5 m³/h		150 lux	
	6 m³/h		200 lux	
	2 * 30 m³/h	3.0L/h à 40°C	150 lux	
			100 lux	

2. UEAJ SOCIAL LAB				
Usage RT2005 : Grande salle de spectacle, de conférences				
Nombre d'occupants	Renouvellement d'air hygiénique	Besoins d'Eau chaude sanitaire	Niveau d'éclairage	Refroidissement / Rafraichissement *
150	2700 m³/h		500 lux	Refroidissement
15	270 m³/h		500 lux	Refroidissement
			150 lux	
		Utilisation à la marge --> 1x/mois	300 lux	
15	270 m³/h		300 lux	Refroidissement
	18 m³/h		300 lux	
	2 * 30 m³/h	3.0L/h à 40°C	150 lux	
	6 m³/h		150 lux	
			100 lux	

3. UEAJ LOCAUX D'ATELIERS				
Usage RT2005 : Etablissement enseignement zone enseignement				
Nombre d'occupants	Renouvellement d'air hygiénique	Besoins d'Eau chaude sanitaire	Niveau d'éclairage	Refroidissement / Rafraichissement *
7	126 m³/h		300 lux	Rafraichissement
2	36 m³/h		300 lux	Refroidissement
2	36 m³/h		300 lux	Refroidissement
	30 m³/h	0.5L/h à 60°C	150 lux	
			100 lux	

4. UEAJ SPORTS				
Usage RT2005 : Etablissement sportif				
Nombre d'occupants	Renouvellement d'air hygiénique	Besoins d'Eau chaude sanitaire	Niveau d'éclairage	Refroidissement / Rafraichissement *
15	270 m³/h		300 lux	Rafraichissement
	2*90 m³/h	4.5L/h à 40°C	150 lux	
			100 lux	

5. LOCAUX MUTUALISES				
Usage RT2005 : Etablissement enseignement zone enseignement				
Nombre d'occupants	Renouvellement d'air hygiénique	Besoins d'Eau chaude sanitaire	Niveau d'éclairage	Refroidissement / Rafraichissement *
7	2*126 m³/h		300 lux	Refroidissement
15	270 m³/h		300 lux	Refroidissement
	2 * 30 m³/h	0.5L/h à 40°C	150 lux	
			100 lux	