



PALAIS DE TOKYO, AUDIT ÉNERGETIQUE

LIVRE 2 - Audit énergétique _ Palais de Tokyo _ 22/12/2021

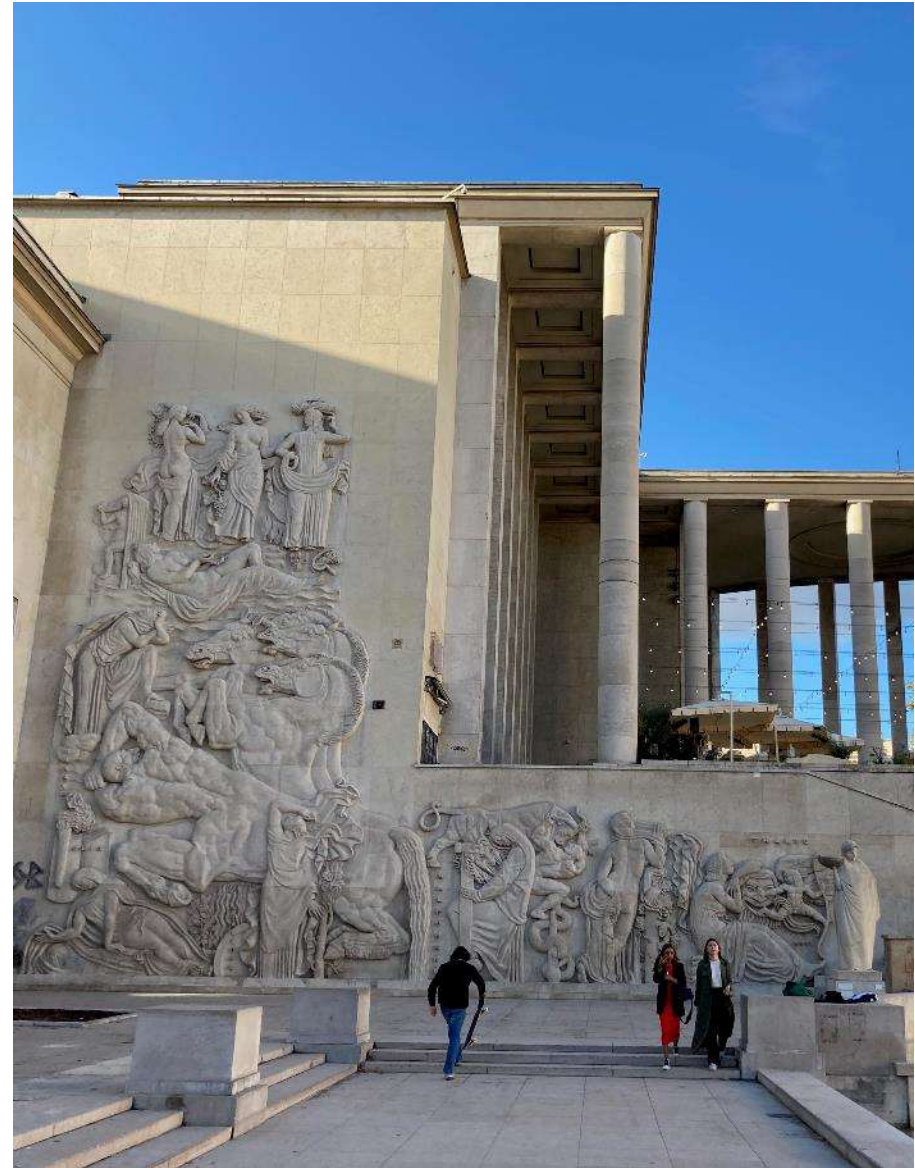


PARTIE A AUDIT ENERGETIQUE..... 4

I.	CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	5
I.1.	CONTEXTE.....	5
I.2.	OBJECTIFS.....	6
II.	PRESENTATION DU SITE.....	7
II.1.	LOCALISATION.....	7
II.2.	USAGES.....	7
III.	ETAT DES LIEUX DE L'EXISTANT.....	8
III.1.	SYNTHESE.....	8
III.2.	CARACTERISTIQUES DU BATI.....	9
III.3.	CARACTERISTIQUES DES INSTALLATIONS TECHNIQUES.....	11
IV.	LEXIQUE.....	14
V.	PERFORMANCE ENERGETIQUE DE L'EXISTANT.....	15
V.1.	CONSOMMATIONS HISTORIQUES.....	15
V.2.	POSITIONNEMENT VIS-A-VIS DU DECRET TERTIAIRE.....	19
V.3.	SIMULATION ENERGETIQUE.....	23
VI.	ACTIONS DE PERFORMANCE ET STRATEGIE D'AMELIORATION.....	27
VI.1.	ACTIONS DE PERFORMANCE.....	27
VI.2.	SCENARIOS DE RENOVATION.....	31
VII.	ANNEXES.....	33
VII.1.	FORMULE D'AJUSTEMENT DES CONSOMMATION UTILISEES POUR LE CALCUL DE L'ANNEE DE REFERENCE.....	33

PARTIE A

AUDIT ENERGETIQUE



I. CONTEXTE ET OBJECTIFS

I.1. CONTEXTE

I.1.1. CONTEXTE GENERAL

Sur le site du Palais de Tokyo, l'OPPIC assure la maîtrise d'ouvrage pour le pilotage de différents audits techniques. Suite à différentes alertes émanant des équipes du Palais de Tokyo quant à la qualité et la conformité du bâtiment et notamment au regard de plusieurs dysfonctionnements identifiés, une mission d'audit technique et architectural est réalisée.

Dans ce cadre, outre les audits relatifs aux corps d'état architecturaux et techniques, un audit énergétique a été effectué afin d'analyser la performance énergétique actuelle du bâtiment et les améliorations possibles.

Ce rapport présente les hypothèses et résultats de l'audit énergétique uniquement.

Les différents audits réalisés permettront d'établir dans un second temps un Plan Pluriannuel d'Investissement.

I.1.2. DECRET TERTIAIRE

Issu de la loi pour l'évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (ELAN), le dispositif Eco-Energie Tertiaire (plus souvent connu sous le nom de « Décret Tertiaire ») détermine des obligations de réduction de la consommation d'énergie finale des bâtiments à usage tertiaire.

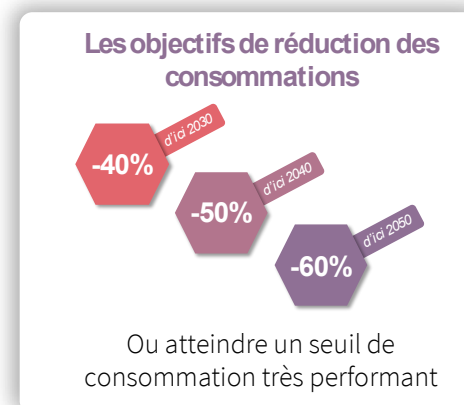
Tous les bâtiments à usage tertiaire disposant d'une surface de plus de 1 000 m² sont assujettis, à l'exception des constructions provisoires, lieux de culte et bâtiments de défense et de sécurité civile.

L'objectif est de réduire drastiquement les consommations énergétiques des bâtiments, en respectant l'une de ces deux obligations :

- réduire les consommations énergétiques de 40 % en 2030, de 50 % en 2040, de 60 % en 2050 par rapport à une valeur de référence prise entre 2010 et 2020 ;

ou

- avoir un niveau de consommation énergétique inférieur à celui d'un bâtiment très performant de la même catégorie.



On s'attachera dans ce document à positionner, dans la mesure du possible, le bâtiment par rapport au décret tertiaire et émettre des préconisations en vue des échéances 2030 et 2040.

I.2. OBJECTIFS

L'audit énergétique digital vise à accompagner les propriétaires et locataires des bâtiments tertiaires dans la définition de leur stratégie énergétique leur permettant de respecter les obligations de performance réglementaires, en répondant notamment d'une façon rigoureuse aux questions suivantes :

- Quelles sont les forces et faiblesses de mes bâtiments en termes de performance énergétique ?
- Quelles sont les actions à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs de performance réglementaires ?
- Faut-il prioriser certains types d'actions, ou certains bâtiments ?
- Quel budget faut-il prévoir ? Comment l'optimiser ?

Afin de répondre à ces différentes questions, l'audit énergétique se décompose selon les grandes phases suivantes :

- Etat des lieux de l'existant ;
- Analyse des consommations historiques et positionnement vis-à-vis du décret tertiaire ;
- Simulation énergétique dynamique du bâtiment afin de disposer d'une vision globale des consommations énergétiques ;
- Propositions d'actions de performance énergétique et quantification des gains énergétiques grâce à la simulation.

II. PRESENTATION DU SITE

II.1. LOCALISATION

Le Palais de Tokyo est situé dans le XVIème arrondissement de PARIS, dont l'entrée principale est au 13 avenue du Président Wilson. Il se trouve entre l'avenue du Président Wilson (au Nord) et l'avenue du New-York qui longe la Seine (au Sud). Il fait face au Musée d'Art Moderne (MAM) de la Ville de Paris (à l'Est) et est bordé par la rue de la Manutention (à l'Ouest).

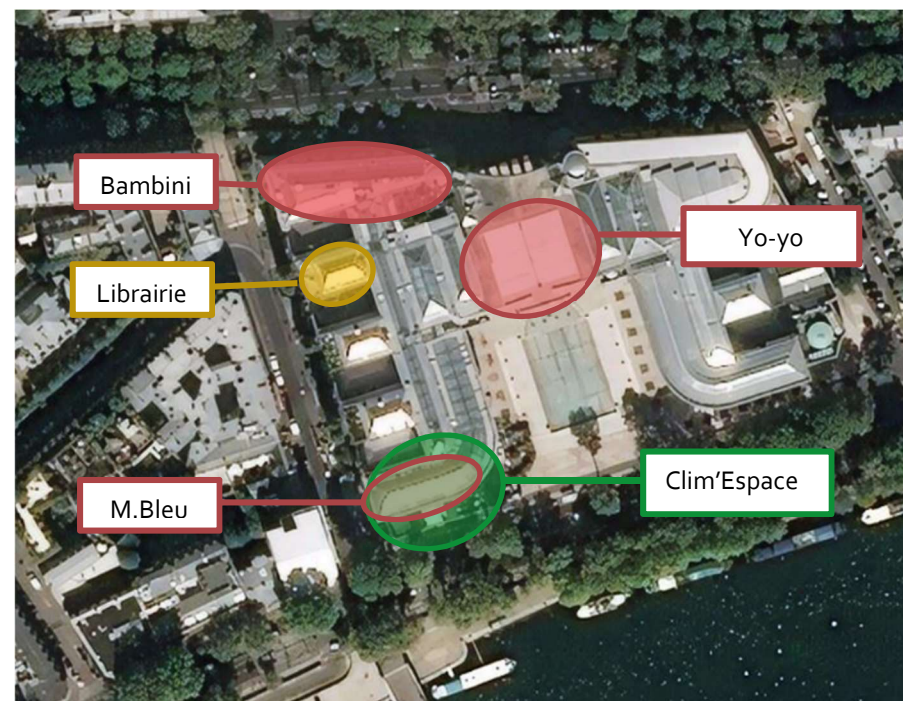


II.2. USAGES

Le Palais de Tokyo est un musée d'art contemporain et la majorité des espaces sont donc constitués de salles d'exposition, et des espaces nécessaires à leur fonctionnement (administration, stockage, locaux techniques, etc.).

Cependant le bâtiment accueille également d'autres usages dans des espaces différenciés, dont la gestion est effectuée par des tiers dans le cadre de concessions.

Deux restaurants (Bambini et M.Bleu) ainsi qu'une discothèque (Yo-yo) sont présents. La boutique du musée est constitué d'une librairie. Enfin en sous-sol le long de l'avenue de New-York, une sous-station de production du concessionnaire Clim'Espace est présente.











NB : les plans de repérage des différents usages ne sont pas reproduits ici, ils sont présentés en détail dans l'audit technique et architectural.

III. ETAT DES LIEUX DE L'EXISTANT

III.1. SYNTHESE











III.1.1.1. ENVELOPPE

Le bâti est globalement non isolé et très peu performant du point de vue thermique, ce qui s'explique par la complexité et l'aspect patrimonial du bâtiment.

Paroi	Caractéristiques	Performance
 Murs extérieurs	Murs extérieurs en pierre, non isolés.	
 Toiture	Charpente bois avec plancher bois supportant une couverture en zinc. Toiture non isolée.	
 Plancher bas	Plancher bas sur terre-plein, non isolé.	
 Menuiseries	Trois types de fenêtres sont présentes sur le site : fenêtre en simple vitrage, double vitrage et en pavé de verre.	

III.1.1.2. INSTALLATIONS TECHNIQUES

Les systèmes énergétiques ont une performance énergétique moyenne. Certains systèmes ponctuels sont peu performants ou arrivent en fin de vie (aérothermes, etc.) et nécessiteraient d'être remplacés par des systèmes performants.

Système	Caractéristiques	Performance
 Chauffage	Sous-station de chauffage raccordée au réseau de chaleur CPCU, aérothermes dans les salles et radiateurs dans les bureaux.	
 Ventilation	Ventilation naturelle pour la quasi-totalité du site. CTA double-flux pour quelques salles, et VMC simple flux pour les pièces humides.	
 Climatisation	Seules quelques salles du site sont climatisées, notamment les salles de spectacles, à travers des pompes à chaleur et des aérothermes.	
 Eau Chaude Sanitaire	Ballon électrique d'ECS dans la quasi-totalité du bâtiment, sauf pour le restaurant Bambini raccordé au réseau de chaleur pour sa production d'ECS.	
 Eclairage	Tubes fluorescents T8 dans l'intégralité du site. Présence d'interrupteur marche/arrêt, sauf dans les salles de spectacle.	

III.2. CARACTERISTIQUES DU BATI

III.2.1.1. MURS EXTERIEURS

Type de murs n°1 : mur pierre	
Localisation	-
Type de structure	Murs en pierre
Qualité de l'isolation	Aucune isolation
Résistance thermique de la paroi (m².K/W)	0,5
Position de l'isolant	-
Commentaire	Mur extérieur en briques avec un revêtement en pierre. Murs non isolés

III.2.1.2. TOITURE

Type de toiture n°1 : toiture	
Localisation	-
Type de toiture	Toiture terrasse avec structure légère
Qualité de l'isolation	Aucune isolation
Résistance thermique de la paroi (m².K/W)	0,4
Position de l'isolant	-
Présence de combles non chauffés	Oui
Commentaire	Charpente bois avec plancher bois qui supporte une couverture zinc / non isolée

III.2.1.3. PLANCHER BAS

Type de plancher n°1 : Plancher bas	
Localisation	-
Qu'y a-t-il sous le plancher ?	Terre-plein
Qualité de l'isolation	Aucune isolation
Résistance thermique R de la paroi (m².K/W)	0,5
Position de l'isolant	Isolation en sous-face
Commentaire	-

III.2.1.4. MENUISERIES

Types de fenêtres n°1 : Fenêtre double vitrage

Matériau du cadre	Métal sans rupture de pont thermique
Caractéristiques thermique de la fenêtre	Double vitrage après 2010
Conductance (Ug en W/m².K)	1,1
Caractéristiques solaires	Basse émissivité - standard
Facteur solaire (Sw)	0,48
Transmission lumineuse (TLw)	0,64
Protections solaires fixes	Aucune
Protections solaires mobiles	Intérieur - Stores toile
Utilisation des protections mobiles	Manuel
Commentaire	Double vitrage récent (2012)

Types de fenêtres n°2 : Pavé de verre

Matériau du cadre	-
Caractéristiques thermique de la fenêtre	Pavé de verre
Conductance (Ug en W/m².K)	2,8
Caractéristiques solaires	-
Facteur solaire (Sw)	0,2
Transmission lumineuse (TLw)	0,3
Protections solaires fixes	Aucune
Protections solaires mobiles	Aucune
Utilisation des protections mobiles	-
Commentaire	-

Types de fenêtres n°3: Simple vitrage

Matériau du cadre	Métal sans rupture de pont thermique
Caractéristiques thermique de la fenêtre	Simple vitrage
Conductance (Ug en W/m².K)	5,8
Caractéristiques solaires	Vitrage clair
Facteur solaire (Sw)	0,64
Transmission lumineuse (TLw)	0,72
Protections solaires fixes	Aucune
Protections solaires mobiles	Intérieur - Stores toile
Utilisation des protections mobiles	Manuel
Commentaire	-

Types de toiture n°4 : Verrière

Matériau du cadre	Métal avec rupteur de pont thermique
Caractéristiques thermique de la fenêtre	fiche technique DOE 2004
Conductance (Ug en W/m².K)	1,8
Caractéristiques solaires	Basse émissivité - standard
Facteur solaire (Sw)	0,48
Transmission lumineuse (TLw)	0,64
Protections solaires fixes	Aucune
Protections solaires mobiles	Stores toiles intérieurs
Utilisation des protections mobiles	Manuel
Commentaire	Double vitrage récent (2012)

III.3. CARACTERISTIQUES DES INSTALLATIONS TECHNIQUES

III.3.1.1. SYSTEME DE PRODUCTION DE CHAUFFAGE

Système de chauffage n°1 : RCU	
Systèmes de génération	Réseau de chaleur
Puissance nominale de la génération (kW)	-
Rendement nominal de production	0,97
Etat de la production	Relativement récent (<20 ans)
Etat de la distribution	Réseaux non isolés ou vétustes
Puissance totale des circulateurs (primaire + secondaire, en kW)	-
Type de circulateur	Circulateur à débit variable
Etat des pompes de circulation	Pompes anciennes mais bien entretenues
Etat des réseaux hydrauliques	Réseau peu emboué
Type de régulation de la température de départ	Loi d'eau basique
Période de chauffe	2012-10-15 -> 2012-04-15
Commentaire	-

III.3.1.2. SYSTEMES DE VENTILATION

Système de ventilation n°1 : CTA double flux Bureaux	
Type de système	CTA double flux
Débit nominal (m3/h)	-
Puissance spécifique (SFP) (W/m3/h)	0,90
Rendement de récupération de chaleur	72%
Etat des réseaux	Gaines et filtres moyennement encrassés
Free-cooling	Non
Système de chauffage	01 : RCU
Système de climatisation	-
Température de soufflage : mode chaud	19,0
Température de soufflage : mode froid	26,0
Régulation du débit de ventilation en inoccupation	Arrêt en inoccupation
Rafraîchissement adiabatique	Non
Commentaire	-

Système de ventilation n°2 : Hotte cuisine	
Type de système	VMC simple flux
Débit nominal (m3/h)	-
Puissance spécifique (SFP) (W/m3/h)	0,32
Rendement de récupération de chaleur	-
Etat des réseaux	Gaines et filtres moyennement encrassés
Free-cooling	Non

Système de chauffage	-
Système de climatisation	-
Température de soufflage : mode chaud	19,0
Température de soufflage : mode froid	26,0
Régulation du débit de ventilation en inoccupation	Arrêt en inoccupation
Rafraîchissement adiabatique	Non
Commentaire	-

Système de ventilation n°3 : PAC double flux salle spectacle

Type de système	CTA double flux
Débit nominal (m³/h)	-
Puissance spécifique (SFP) (W/m³/h)	0,90
Rendement de récupération de chaleur	72%
Etat des réseaux	Gaines et filtres moyennement encrassés
Free-cooling	Non
Système de chauffage	-
Système de climatisation	-
Température de soufflage : mode chaud	19,0
Température de soufflage : mode froid	26,0
Régulation du débit de ventilation en inoccupation	Réduit en inoccupation
Rafraîchissement adiabatique	Non
Commentaire	PAC assure également le chauffage et le refroidissement des salles de spectacle.

Système de ventilation n°4 : VMC

Type de système	VMC simple flux
Débit nominal (m³/h)	-
Puissance spécifique (SFP) (W/m³/h)	0,32
Rendement de récupération de chaleur	-
Etat des réseaux	Gaines et filtres moyennement encrassés
Free-cooling	Non
Système de chauffage	-
Système de climatisation	-
Température de soufflage : mode chaud	19,0
Température de soufflage : mode froid	26,0
Régulation du débit de ventilation en inoccupation	Aucun réduit en inoccupation
Rafraîchissement adiabatique	Non
Commentaire	VMC pour sanitaires et locaux techniques

III.3.1.3. SYSTEME DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE**Système de production ECS n°1 : Production ECS**

Système de production de chaleur	01 : RCU
Volume total des ballons ECS (l)	500,0
Bouclage ECS	Oui
Isolation des réseaux	Réseaux non isolés ou vétustes
Présence système ECS solaire	Non

Présence thermodynamique	système	ECS	Non
Commentaires	Production ECS pour restaurant Bambini		

IV. LEXIQUE

- **DJC : Degrés Jours de Chauffage.** C'est un indicateur de la rigueur climatique : plus le nombre de Degrés Jours de Chauffage est élevé, plus la température est basse en moyenne (climat rigoureux). Cet indicateur est notamment utilisé pour corriger les consommations de chauffage afin de pouvoir les comparer.
- **DJR : Degrés jours de Rafraichissement.** C'est l'équivalent des DJC pour la période de rafraichissement. Cet indicateur mesure l'écart entre la température extérieure et la référence choisie. A l'inverse du DJC, plus il fait chaud, plus le DJR est grand

V. PERFORMANCE ENERGETIQUE DE L'EXISTANT

V.1. CONSOMMATIONS HISTORIQUES

Le bâtiment est raccordé au réseau CPCU pour le chauffage (hors restaurant M'Bleu et Salle Yoyo), ainsi que pour la production d'ECS du restaurant Bambigny.

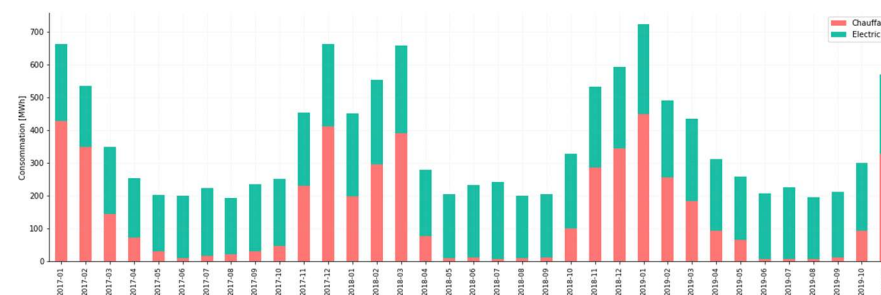
L'ensemble des autres usages sont électriques.

Les données de consommations énergétiques du site communiquées et analysées dans le cadre de l'audit sont :

- Les consommations mensuelles de 2013 à 2020 pour la chaleur CPCU ;
- Les consommations mensuelles de 2017 à 2020 pour l'électricité ;
- Les relevés semestriels pour la consommation des concessions de 2018 à 2020 (restaurants M'Bleu et Bambigny, Salle Yoyo et librairie).

L'année 2020 est systématiquement exclue des analyses de consommations du fait de la fermeture du musée liée au Covid.

V.1.1.1. SYNTHÈSE



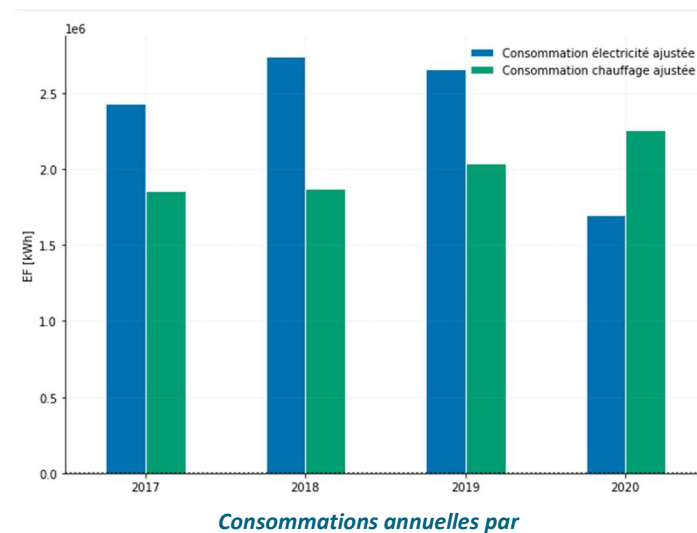
Consommations énergétiques mensuelles communiquées (de 2017 à 2020)

Sur les dernières années (hors période Covid, de 2017 à 2019), les consommations énergétiques sont globalement plutôt à la hausse :

- Augmentation de 10% sur les consommations électriques entre 2019 et 2017 ;
- Augmentation de 9% de la consommation de chaleur corrigée des DJUs entre 2018 et 2019.

Cette augmentation ne semble pas liée à une augmentation des consommations des concessionnaires. Une attention particulière devra donc être portée sur les prochaines années afin d'inverser la tendance, tant sur la consommations électrique (gestion de l'éclairage, équipements électriques) que sur la consommation de chaleur.

		2017		2018		2019		Moyenne	
DJChauffage 16°C		1866		1798		1738		1800	
Consommation en énergie finale		MWh	kWh/ m ²	MWh	kWh/ m ²	MWh	kWh/ m ²	MWh	kWh/ m ²
	Electricité	2429	110	2737	124	2655	121	2330	106
	Chaleur	1789	81	1739	79	1834	83	1644	75
	Total	4217	192	4476	203	4489	204	3974	181
Estimation de la facture HT (hors abonnement)		k€	€/m ²	k€	€/m ²	k€	€/m ²	k€	€/m ²
	Electricité	200.2	9.1	226.2	10.28	219.1	9.96	215.2	9.78
	Chaleur	153.7	6.99	151.3	6.88	157.1	7.14	154	7
	Total	353.9	16.09	377.5	17.16	376.2	17.1	369.2	16.78



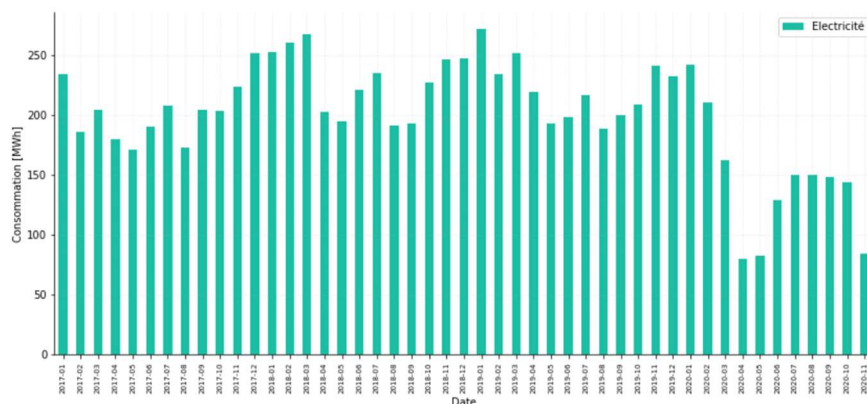
La consommation se répartissait en 2019 de la manière suivante :

- 40% pour la chaleur CPCU ;
- 60% pour l'électricité.

Les prix de l'énergie sont relativement similaires sur le site (autour de 85€/MWh), la facture énergétique est donc répartie de manière identique :

- 40% pour la chaleur CPCU ;
- 60% pour l'électricité.

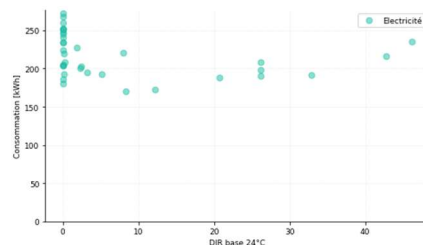
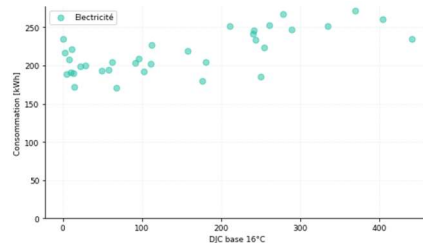
V.1.1.2. CONSOMMATION ELECTRIQUE



Consommations électriques mensuelles

Les consommations électriques mensuelles présentent une variabilité moyenne sur l'année. On observe en particulier une augmentation des consommations en hiver, et avec les DJC qui peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

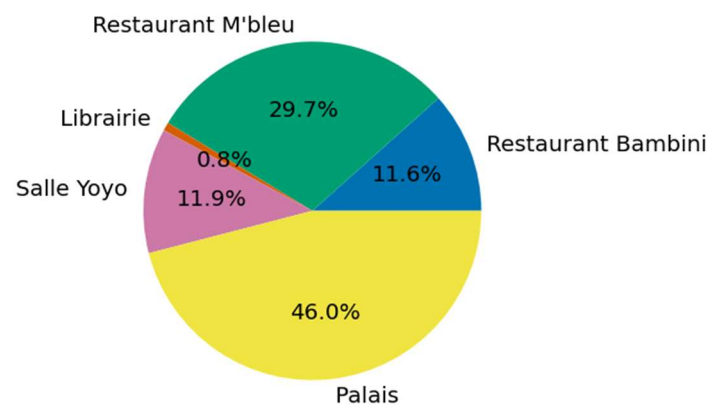
- la présence de chauffage électrique dans certaines zones du bâtiment (Salle Yoyo, restaurant M'Bleu) ;
- la consommations des auxiliaires de chauffage ;
- l'utilisation de l'éclairage, plus élevée en hiver d'une fait d'une luminosité extérieure moindre.



Thermosensibilité des consommations électriques en fonction des DJC (haut) et des DJR (bas)

Les relevés de consommations semestriels permettent de dissocier les consommations par usages, ou par concessions. On observe qu'une majorité de la consommation électrique est liée aux différentes concessions :

- 30% environ pour le restaurant M'Bleu ;
- 12% pour le restaurant Bambini ;
- 12% pour la salle Yoyo.

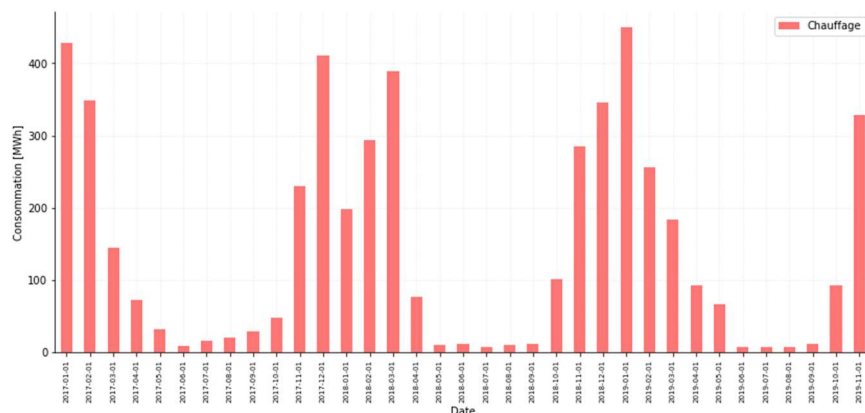


Répartition des consommations électriques par concession

	Surface	Consommation 2017		Consommation 2018		Consommation 2019	
		m²	MWh	kWh/m²	MWh	kWh/m²	MWh
Restaurant Bambini	815	317	389	308	377	143	176
Restaurant M'bleu	563	760	1350	789	1401	399	709
Librairie	291	15	51	21	72	20	70
Salle Yoyo	1312	368	280	317	242	141	107
Palais	22000	1277	58	1221	55.5	996	45.3

V.1.1.3. CONSOMMATION DE CHALEUR

Le bâtiment est relié au réseau de chaleur urbain de la ville de Paris. Les consommations de chauffage sont disponibles de 2013 à 2020.

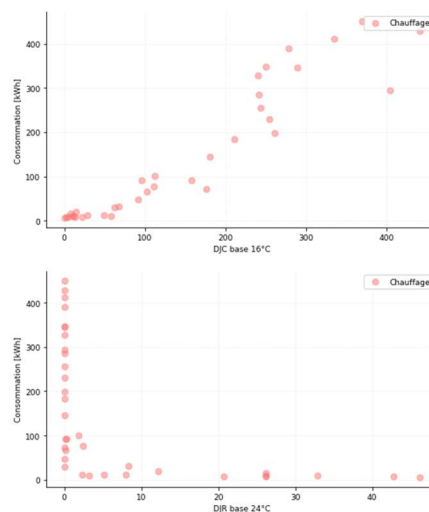


Consommations mensuelles de chaleur

Les consommations de chaleur montrent une très bonne corrélation avec les DJC.

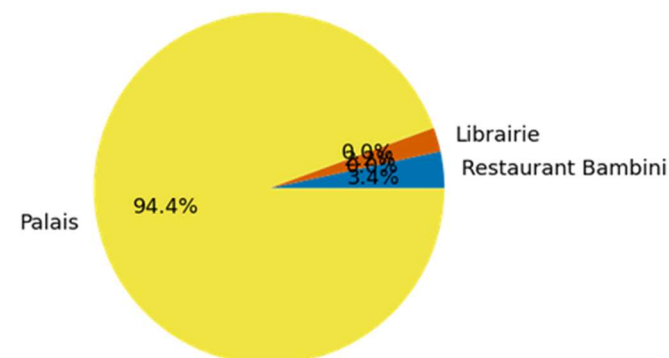
On observe par ailleurs un talon de consommation conséquent en été, qui correspond à la production d'ECS du restaurant Bambini.

Cette production d'ECS sur le réseau CPCU oblige à faire fonctionner la sous-station tout au long de l'année entraînant d'importantes pertes de chaleur, et donc un rendement très amoindri en été.



Thermosensibilité des consommations de chaleur en fonction des DJC (haut) et des DJR (bas)

A contrario de la consommation électrique, la consommation de chaleur est principalement liée au palais, et en particulier aux salles d'expositions. Cela s'explique par les volumes très importants à chauffer en comparaison avec les autres concessions



Répartition des consommations de chaleur par concession

	Surface	Consommation 2017		Consommation 2018		Consommation 2019	
	m ²	MWh	kWh/m ²	MWh	kWh/m ²	MWh	kWh/m ²
Restaurant Bambini	815	-	-	62.5	76.7	60.8	74.7
Restaurant M'bleu	563	-	-	-	-	-	-
Librairie	291	39	133.9	41	141	40	137.3
Salle Yoyo	1312	-	-	-	-	-	-
Palais	22000	1661	75.5	1751	79.6	1693	77

V.2. POSITIONNEMENT VIS-A-VIS DU DECRET TERTIAIRE

V.2.1.1. PRESENTATION DU DECRET TERTIAIRE

V.2.1.1.1. OBJECTIFS

Issu de la loi pour l'évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (ELAN), le dispositif Eco-Energie Tertiaire (plus souvent connu sous le nom de « Décret Tertiaire ») détermine des obligations de réduction de la consommation d'énergie finale des bâtiments à usage tertiaire.

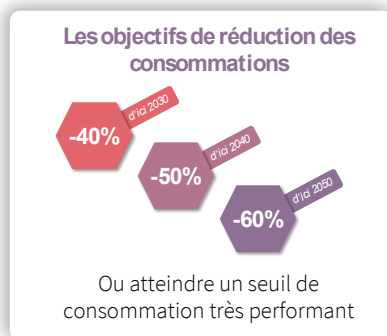
Tous les bâtiments à usage tertiaire disposant d'une surface de plus de 1 000 m² sont assujettis, à l'exception des constructions provisoires, lieux de culte et bâtiments de défense et de sécurité civile.

L'objectif est de réduire drastiquement les consommations énergétiques des bâtiments, en respectant l'une de ces deux obligations :

Réduire les consommations énergétiques de 40 % en 2030, de 50 % en 2040, de 60 % en 2050 par rapport à une valeur de référence prise entre 2010 et 2020 ;

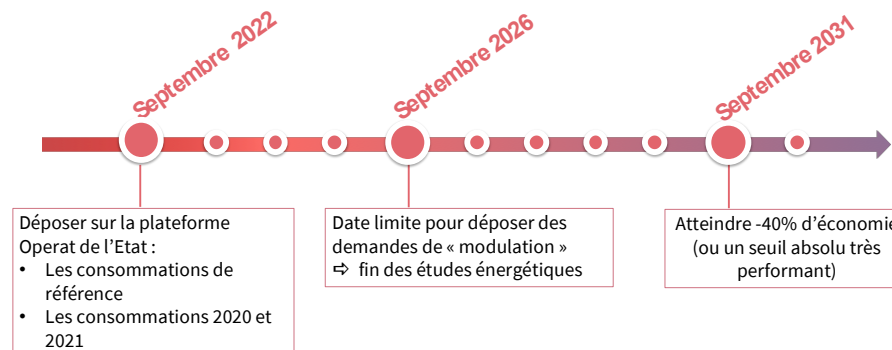
Ou

Avoir un niveau de consommation énergétique inférieur à celui d'un bâtiment très performant de la même catégorie.



V.2.1.1.2. OBLIGATIONS ET CALENDRIER

Concrètement, les assujettis au décret tertiaire sont soumis aux obligations et au calendrier détaillés ci-dessous.



- Avant le 30 septembre 2022 : déposer un dossier complet sur la plateforme internet OPERAT de l'ADEME. Ce dossier vise à fournir aux services de l'état les informations suivantes :
 - Informations administratives sur chaque site de l'assujetti : adresse, code NAF, surfaces, usages, etc.
 - Données de consommations de l'année 2020 et 2021
 - Consommation de référence : il s'agit de la consommation (corrigée du climat et des éventuelles variations d'usage du bâtiment) de 12 mois consécutifs, choisis par l'assujetti entre 2010 et 2019, qui servira de référence pour le calcul des économies d'énergie réalisées. En pratique, on cherchera à identifier la période entre 2010 et 2019 pour laquelle la consommation a été la plus élevée, de façon à faciliter l'atteinte des objectifs du décret tertiaire.

- Tous les ans jusqu'en 2050 : déposer sur la plateforme OPERAT, avant le 30 septembre, les consommations de l'année N-1, ainsi que mettre à jour si besoin les autres informations demandées
- Fin 2030 : avoir réduit ses consommations conformément aux obligations fixées par le décret tertiaire (-40% ou atteinte d'un seuil)
- Fin 2040 : avoir réduit ses consommations conformément aux obligations fixées par le décret tertiaire (-50% ou atteinte d'un seuil)
- Fin 2050 : avoir réduit ses consommations conformément aux obligations fixées par le décret tertiaire (-60% ou atteinte d'un seuil)

Chaque dépôt sur OPERAT permettra à l'assujetti d'obtenir une attestation de conformité aux obligations du Décret tertiaire.

V.2.1.1.3. DEMANDES DE MODULATION

Dans certains cas, l'atteinte des objectifs fixés par le décret tertiaire peut s'avérer très difficile, trop cher, voire impossible, en raison de spécificités techniques ou architecturales propres au site. Le Décret Tertiaire prévoit alors la possibilité de déposer un « dossier de modulation » justifiant les difficultés identifiées :

- Rapport architectural justifiant l'impossibilité de certains travaux (par exemple dans le cas d'un immeuble classé)
- Rapport d'audit technique et énergétique justifiant le calcul d'un objectif « modulé ».

Ce dossier de demande de modulation devra être déposé au plus tard en septembre 2026, ce qui veut dire qu'il est fortement recommandé de finaliser toutes les études techniques préalables à des travaux avant cette date, au cas où une demande de modulation se révélait pertinente.

V.2.1.1.4. REPARTITION DES RESPONSABILITES ENTRE PROPRIETAIRES ET LOCATAIRES

Dans le cadre d'un bâtiment comme celui du palais de Tokyo, il est à noter que ce sont les locataires, ou concessions qui sont assujettis au décret tertiaire. Ils doivent donc calculer leur consommation de référence et déposer leur consommations sur OPERAT. Les consommations des systèmes CVC et des parties communes sont réparties entre les locataires et sont donc déclarées via la déclaration des locataires.

En termes d'économies d'énergie, le Décret Tertiaire prévoit que les propriétaires et les preneurs à bail réalisent les actions qui relèvent de leurs responsabilités respectives. Dans le cas du Palais de Tokyo, on peut séparer les responsabilités de la manière suivante :

- Propriétaire : actions de performance sur l'enveloppe du bâtiment, les systèmes CVC communs, les parties communes
- Locataires : actions de performance sur les consommations des parties privatives (éclairage, systèmes techniques spécifiques (cuisines, etc.)

Dans ce cadre, le palais de Tokyo aura une double responsabilité :

- Mesure et communiquer aux différentes concessions leurs consommations annuelles ;
- Identifier les actions de performances pertinentes à mettre en œuvre. Les réaliser sur le périmètre propriétaire, ou suivre leur réalisation sur le périmètre locataire.

Un des objectifs du présent audit est précisément d'identifier les gisements de performance, en particulier sur le bâti et les systèmes énergétiques du bâtiment.

V.2.1.1.5. TEXTES OFFICIELS

- Le « Décret Tertiaire » lui-même : Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire
- L'arrêté « méthode », qui précise la méthode à suivre pour corriger les consommations en fonction de la météo et des usages : *Arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire*
- L'arrêté « valeurs absolues », qui précise notamment les seuils en valeur absolue à respecter : *Arrêté du 24 novembre 2020 modifiant l'arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire*
- Bien qu'ayant un statut un peu moins officiel que les décrets et arrêtés ci-dessus, on se référera utilement au site OPERAT de l'ADEME, et plus particulièrement à sa Foire Aux Questions

V.2.1.2. POSITIONNEMENT DU BATIMENT PAR RAPPORT AUX EXIGENCES

V.2.1.2.1. CALCUL DU SEUIL EN VALEUR ABSOLUE

Le bâtiment peut être décomposé en plusieurs catégories, respectant la décomposition préconisée par le décret tertiaire et ses arrêtés :

Usage/Concession	Catégorie	Surface (m²)*
Palais	Musée	18260
Administration	Bureaux Standards	1350
Salle Yoyo	Commerces	1000
Restaurant Bambini	Restauration traditionnelle	720
Restaurant M'Bleu	Restauration traditionnelle	500
Librairie	Salles de spectacles	170

*NB : les surfaces sont estimées, sur la base d'une SDP de 22000m².

Parmi les catégories d'usages du bâtiment, seule la catégorie « Bureaux Standards » a pour l'instant un seuil de consommation fixé par arrêté :

" Sous-catégorie "Bureaux Standards" (cloisonnés - attribués)
(NAF : Section N - Activités de service administratif et de soutien - code 82.11Z)

Composante CVC en kWh/m²/an	Zones Géographiques													
	H1a	H1b	H1c	H2a	H2b	H2c	H2d	H3	Guyane	Guadeloupe	Martinique	Mayotte	Réunion	
Altitude < 400 m Référence 100 m	57	66	62	57	50	56	63	40	Définie par arrêté	Définie par arrêté	Définie par arrêté	Définie par arrêté	Défini par arrêté	
Altitude 400 à 800 m Référence 500 m	68	77	71		61	64	66	44	Définie par arrêté	Définie par arrêté	Définie par arrêté		Défini par arrêté	
Altitude 800 à 1200 m Référence 900 m		90	81			75	68	54			Définie par arrêté		Défini par arrêté	
Altitude 1200 m -1600m Référence 1400 m		125	115			109	99	84					Défini par arrêté	
Altitude > 1600m Référence 1700 m			133			117	107	92						
Composante USE					USE étalon =		50	kWh/m²/an						
Type d'indicateur d'intensité d'usage	Indicateur d'intensité d'usage à renseigner par l'assujetti Valeur de référence associée à la USE étalon								Indicateur d'intensité d'usage étalon					
Indicateurs d'intensité d'usage temporels	Amplitude horaire annuelle (h ouvrées/an) Nb_h ouvrées							3 120		Densité Temporelle étalon (h ouvrées/an) DTétalon			3 120	
Indicateurs d'intensité d'usage surfaciques	Surface Plancher / poste de travail ou Surface Utile Brute (m²/poste) Surf_poste			18	Taux d'occupation (%) T_occ			70		Surface / Poste étalon (m²/poste) Surfétalon Taux d'occupation étalon (%) T_occétalon			18 70	
Formule de modulation en fonction du volume d'activité	USE modulé (kWh/m²/an) = USE étalon x [0,05 + 0,95 x (T_occ / T_occétalon) x (Surfétalon / Surf_poste) x (Nb_h ouvrées/ DTétalon) + 0,28 (Nb_h ouvrées - DTétalon)/ DTétalon]													

Seuils de consommations pour la catégorie « Bureaux standards ». Source : Arrêté du 24 novembre 2020 modifiant l'arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000042994780>).

Le bâtiment est situé à Paris (Zone H1A), à une altitude inférieure à 400m ; par conséquent, la composante du seuil correspondant au chauffage, climatisation et ventilation des bureaux est :

CVC = 57 kWh/m²/an

Le seuil de la composante USE, prenant en compte les usages non CVC (consommations des équipements électriques, de l'éclairage, de l'ECS, etc.), dépend de l'intensité d'usages.

L'ensemble des données n'étant pas connues à l'heure actuelle, la composante USE n'as pas été modulée/

USE = 50 kWh/m²/an

Pour les autres usages, les seuils n'ont pas encore été publiés par arrêté à l'heure actuelle. Le calcul sera donc à remettre à jour une fois les seuils publiés afin de calculer le seuil absolu à l'échelle du bâtiment.

Usage/Concession	Catégorie	Surface SDP (m²)*	CVC (kWh /m²)	USE (kWh /m²)	Total Cabs (kWh/m²)	Total (MWh)
Palais	Musée	18260	Seuils non connus pour l'instant			
Administration	Bureaux Standards	1350	57	50	107	144
Salle Yoyo	Commerces	1000	Seuils non connus pour l'instant			
Restaurant Bambini	Restauration traditionnelle	720				
Restaurant M'Bleu	Restauration traditionnelle	500				
Librairie	Salles de spectacles	170				

*NB : les surfaces sont estimées, sur la base d'une SDP de 22000m².

V.2.1.2.2. CONSOMMATION ACTUELLE ET CIBLE FUTURE

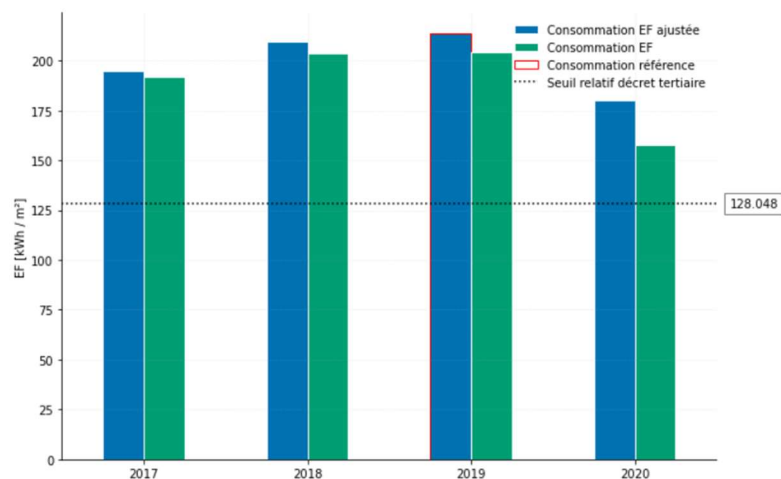
L'arrêté méthode du décret tertiaire prévoit une correction climatique en fonction des Degrés jours de chauffage et de refroidissement.

Cependant, les Degrés jours de référence (qui doivent être basés sur les statistiques Météo France sur la période 2000-2019) ne sont pas encore disponibles. On se base donc sur le fichier météo Meteonorm de la station paris Orly pour effectuer les ajustements. Celui-ci est un fichier météo représentatif du climat moyen sur les dernières années.

Les degrés-jours du fichier météo sont rappelés ci-dessous :

- Degrés jours de chauffage (base 16°C, conformément à l'arrêté valeur absolue) : 1934 DJ
- Degrés jours de refroidissement (base 24°C, conformément à l'arrêté valeur absolue) : 33 DJ

L'ajustement en fonction des DJU et des DJC est réalisé selon les formules de l'arrêté méthode du décret tertiaire, qui sont présentées en annexe.



Consommation annuelle « brute » et corrigée en fonction des DJUs

Les consommations corrigées sur les dernières années sont présentées ci-dessous. L'année de référence choisie est l'année avec les consommations énergétiques les plus élevées, soit l'année 2019.

La consommation de référence (année 2019) est donc 213 kWh/m²SDP/an.

		2017		2018		2019	
DJC 16°C	DJR 24°C	1866	73	1798	90	1738	92
		MWh	kWh/m2	MWh	kWh/m2	MWh	kWh/m2
Electricité		2428	110	2654	121	2736	124
Gaz		1854	84	2041	93	1871	85
Total		4282	195	4695	213	4607	209

V.3. SIMULATION ENERGETIQUE

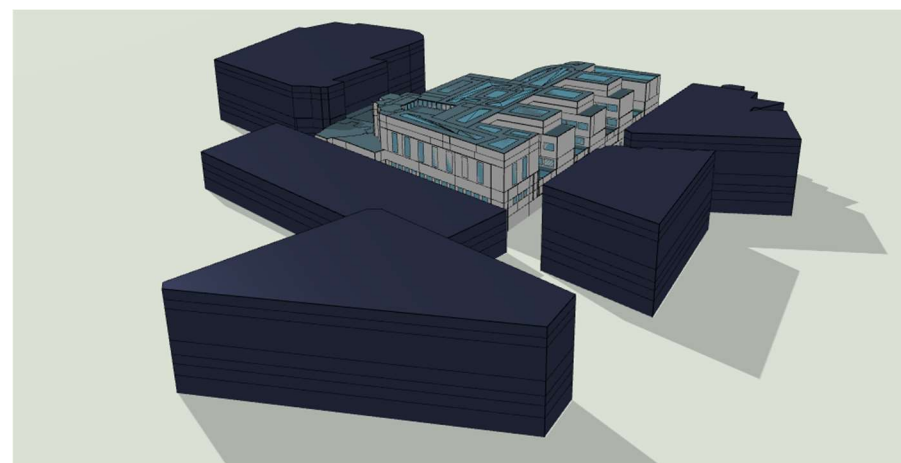
V.3.1.1. METHODOLOGIE

Afin de pouvoir analyser plus finement les consommations énergétiques, ainsi qu'estimer de manière précise les gains de différentes actions de performance, une simulation énergétique dynamique (SED) a été réalisée.

Celle-ci permet en particulier, grâce à une modélisation détaillée de la géométrie et des usages du bâtiment de dissocier les consommations des différents postes énergétiques pour les différentes concessions du bâtiment.

Pour ce faire, le bâtiment a été modélisé grâce au logiciel de simulation Oplus :

- Modélisation géométrique détaillée sur la base des plans PDF fournis
- Modélisation de l'enveloppe
- Modélisation des usages : plannings d'occupation, consignes de températures, etc.
- Systèmes CVC : modélisation des générateurs et des émetteurs de chauffage, climatisation et ventilation dans le bâtiment.



Visualisation du modèle géométrique et des masques environnants

V.3.1.2. CALIBRAGE DU MODELE

Le modèle énergétique construit sur la base de l'état des lieux de l'existant comporte un certain nombre d'incertitudes :

- Compositions exactes des parois
- Performances précises des systèmes CVC
- Usages : horaires d'occupation, consommation d'équipements électriques, etc.

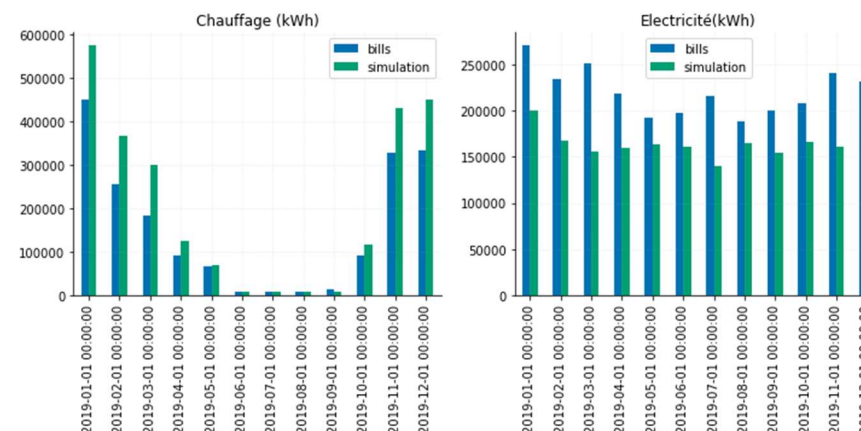
Afin de limiter au maximum ces incertitudes et fiabiliser le modèle, on procède à une étape de calibrage, c'est-à-dire que certains paramètres du modèles, jugés incertains, sont ajustés de façon à ce que les consommations historiques simulées correspondent aux consommations réelles.

Afin de tenir compte au mieux des incertitudes sur les données d'entrées et des plages de variation a priori des paramètres, nous réalisons un calibrage bayésien. La procédure de calibrage est la suivante :

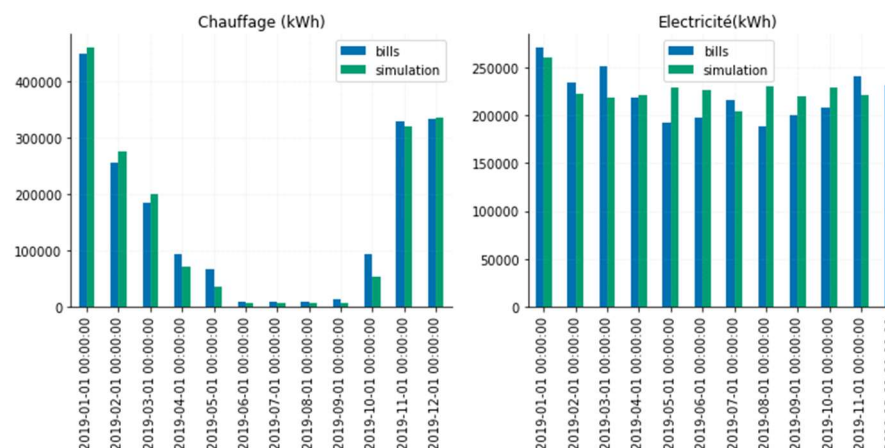
1. Pour chaque paramètre à calibrer, nous quantifions l'impact dudit paramètre sur les consommations, puis nous sélectionnons uniquement les paramètres les plus influents pour le calibrage
2. Afin d'accélérer la procédure de calibrage, nous entraînons un émulateur mathématique du modèle EnergyPlus, qui remplacera le modèle de simulation pendant la procédure de calibrage
3. Nous affectons à chaque paramètre une distribution de probabilité quantifiant son incertitude a priori
4. Nous calibrons les paramètres influents puis nous injectons les valeurs trouvées par l'algorithme dans le modèle de simulation. Le calibrage est validé en s'assurant que certains indicateurs statistiques ne dépassent pas les seuils définis par l'ASHRAE pour le calibrage de modèle

Le modèle est calibré sur l'ensemble des consommations disponibles : consommations de chaleur issues de factures CPCU ; consommations électriques et relevés semestriels de consommations des concessions. Les résultats sont présentés dans les graphiques ci-dessous :

Avant calibrage



Après calibrage



Avant calibrage, on observe un écart de 25% entre les consommations réelles en électricité par rapport aux consommations simulées avant calibrage. Un écart de 34% est observé pour les consommations de chauffage.

Après calibrage, les écarts observés sont de 3% pour les consommations de chauffage et d'électricité. Les méthodes de calibrage permettent d'approcher au mieux les consommations réelles du bâtiment.

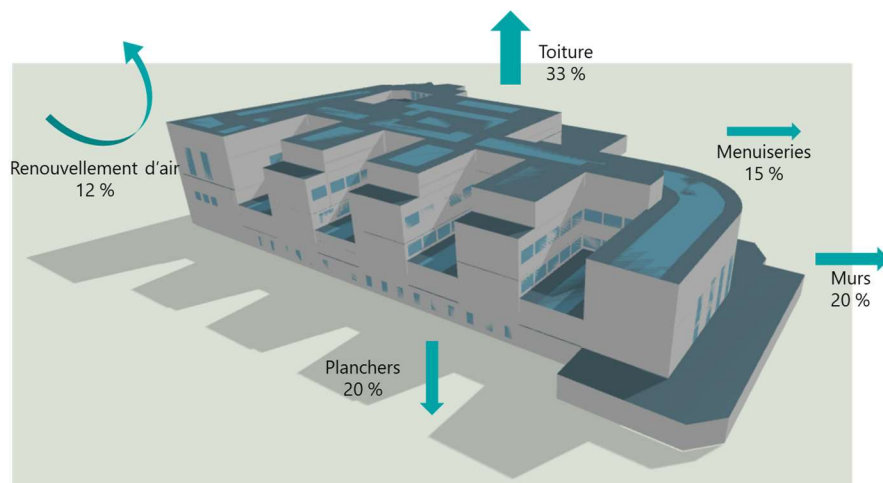
V.3.1.3. ANALYSE DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE

V.3.1.3.1. DEPERDITIONS THERMIQUES

Dans un premier temps, la modélisation du bâtiment permet de calculer les déperditions thermiques liées à l'enveloppe, et au renouvellement d'air.

Les déperditions sont à l'origine d'une part des consommations de chauffage importantes sur le bâtiment, et d'autre part d'un inconfort thermique lié aux effets de parois froides (à proximité d'une paroi déperditive, donc froide en hiver, le confort ressenti est très dégradé).

La répartition des déperditions est représentée schématiquement dans l'image ci-dessous :



Répartition des déperditions sur le bâtiment

Le bâti est actuellement très déperditif, avec un Ubat d'environ $2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Les toitures, non isolées, représentent une surface très importante, et sont la principale source de déperditions. Ce sont les éléments à cibler en priorité pour une isolation thermique.

Les murs et planchers bas représentent chacun environ 20% des déperditions du

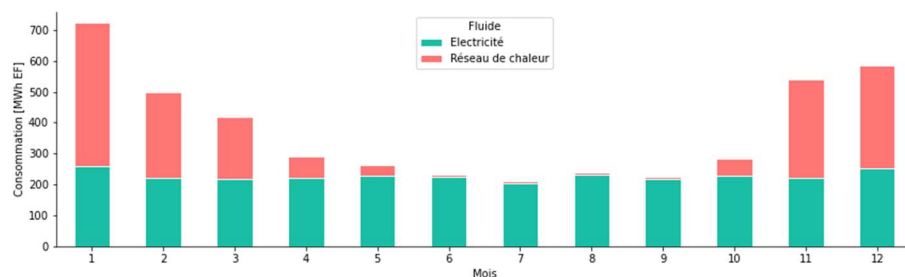
bâtiment, mais, l'isolation semble plus complexe techniquement et au vu de la dimension patrimoniale du bâtiment.

Finalement, les menuiseries représentent environ 15% des déperditions, dont plus de la moitié sont liés aux simples vitrages très déperditifs. Le remplacement de ces menuiseries semble donc particulièrement intéressant.

V.3.1.3.2. PERFORMANCE ENERGETIQUE

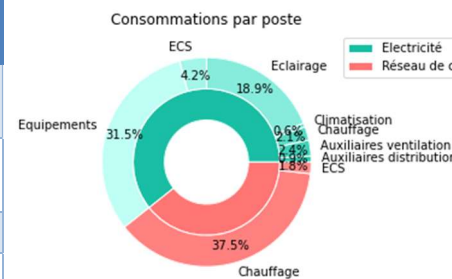
La simulation permet de disposer d'une vision analytique détaillée des consommations du bâtiment, par usage et par poste énergétique.

Les résultats ci-dessous donnent le détail des consommations estimées de l'usage bureau à partir de la simulation énergétique dynamique et pour le fichier météo générique représentatif du climat moyen :



Consommations mensuelles par fluide

Consommations par poste	kWh/m ² /an	k€/an
Auxiliaires distribution	1.9	4.2
Auxiliaires ventilation	5.0	11.0
Chauffage	81.3	119.6
Climatisation	1.2	2.7
ECS	12.2	24.0
Eclairage	38.8	85.3
Equipements	64.7	142.4
Total	205.1	389.2



Répartition des consommations par fluide et par poste énergétique

La consommation estimée du bâtiment sur l'année de référence est d'environ 200 kWh/m² au global.

Les postes énergétiques principaux sont :

- le chauffage : 40% des consommations ;
- les équipements électriques, en particulier avec les équipements cuisine des deux restaurants : 30% des consommations ;
- L'éclairage : 20% des consommations.

Il semble relativement aisé d'agir sur les postes chauffage et éclairage par des travaux plus ou moins lourds sur le bâtiment (relamping, remplacement des systèmes de chauffage, rénovation de l'enveloppe).

A contrario, le poste « équipement électriques », plus diffus et concernant en grande partie les restaurants semble plus compliqué à optimiser. Une sensibilisation des preneurs actuelle est cependant à réaliser afin de les orienter vers des équipements économes en cas de remplacement d'équipements électriques.

	Palais	Administ ration	Salle Yoyo	Restau. Bambini	Restau. M'Bleu
Aux. Distribution	33	7	7	1	-
Aux. Ventilation	32	3	70	8	3
Chauffage	1463	343	48	38	63
Climatisation	11	-	12	-	-
Eclairage	698	21	95	22	18
ECS	115	9	-	86	59
Equipements Elec.	439	26	98	329	532

Consommations énergétiques simulée (en MWhEF/an) par poste et partie de bâtiment

VI. ACTIONS DE PERFORMANCE ET STRATEGIE D'AMELIORATION

À partir des éléments collectés et des analyses énergétiques établies, différentes actions sont proposées ci-dessous afin d'étudier des solutions permettant d'atteindre l'exigence du décret tertiaire, et au-delà, de définir des stratégies de rénovation à moyen termes du bâtiment.

Les actions sont tout d'abord présentées de manière indépendantes, avant de définir plusieurs scénarios de rénovation sous forme de bouquets de travaux permettant de projeter le bâtiment sur les prochaines années.

VI.1. ACTIONS DE PERFORMANCE

VI.1.1.1. ACTIONS PRECONISEES

Les Actions de Performances (APEs) proposées sont décrites de manière synthétique dans le tableau ci-dessous :

n°	Nom de l'APE	Description
1	Isolation des toitures	Isolation des toitures Zinc actuellement non isolées en sous face à l'occasion de la réfection des couvertures. Une attention particulière devra être portée à la continuité de l'isolation avec les double-vitrages existants.
2	Remplacement des simples vitrages	Remplacement des simples vitrages par des menuiseries double-vitrage performantes. Les simples vitrages actuels sont très déperditifs, entraînant des consommations énergétiques importantes ainsi qu'un inconfort lié à

		l'effet de paroi froide.
3	Remplacement de la production ECS	Remplacement du ballon ECS du restaurant Bambigny sur le réseau CPCU par un ballon thermodynamique.
4	Amélioration de la régulation des aérothermes	Mise en place d'une gestion centralisée pour la régulation des aérothermes
5	Remplacement des aérothermes	Ramplacement des aérothermes vétustes par des aérothermes de chaleurs performants
6	Amélioration de la régulation des panneaux rayonnants des bureaux	Amélioration de la régulation des panneaux rayonnants des bureaux, par l'installation de robinets thermostatiques et/ou un pilotage via GTC
7	Relamping complet Hors circulation et zones annexes	Remplacement des équipements d'éclairage par des luminaires LED faiblement consommateurs.
8	Relamping complet Circulations	Remplacement des équipements d'éclairage par des luminaires LED faiblement consommateurs.

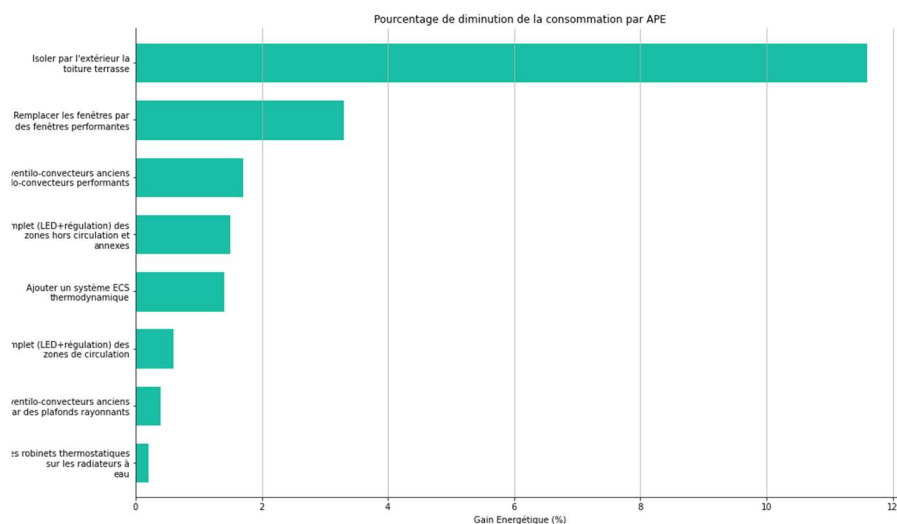
L'impact des différentes APE est présenté en détail dans les sections ci-dessous. Une synthèse des résultats est présentée ici.

VI.1.1.2. SYNTHÈSE DES RESULTATS

Individuellement, l'action de performance la plus intéressante est, sans surprise, l'isolation des toitures en zinc du bâtiment. En effet, la toiture recouvre une grande partie du bâtiment, et l'actuelle n'est pas isolée, ce qui en fait une source importante de déperdition de chaleur.

Le tableau ci-dessous présente les économies d'énergies réalisées par chaque action de performance considérée individuellement.

Pour rappel, la consommation totale du bâtiment est de 4400 MWh/an actuellement environ.



Gain énergétique pour chacune des actions de performance

n°	Nom de l'APE	Economie d'énergie (MWh /an)	Gain énergétique (%)	Economie estimée (k€)
1	Isolation des toitures	544	12%	36 k€
2	Remplacement des simples vitrages	157	3,3%	11 k€
3	Remplacement de la production ECS	66	1,4%	4 k€
4	Amélioration de la régulation des aérothermes	19	0,4%	1 k€
5	Remplacement des aérothermes	78	1,7%	5 k€
6	Amélioration de la régulation des panneaux rayonnants des bureaux	11	0,2%	0,7 k€
7	Relamping complet Hors circulation et zones annexes	73	1,6%	11 k€
8	Relamping complet Circulations	30	0,6%	4 k€

VI.1.1.3. RESULTATS DETAILLES PAR ACTION

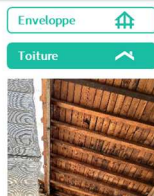
VI.1.1.3.1. ISOLATION DES TOITURES

Description de
l'action et de sa mise
en oeuvre

Les toitures zinc ne sont actuellement pas isolées, et représentent donc une part importante des déperditions du bâtiment.
L'isolation des toitures permet d'améliorer significativement la performance du bâtiment. Une attention particulière devra être portée à la continuité de l'isolant avec les doubles vitrages existants.

Gain qualitatif

Réduction des consommations de chauffage.
Amélioration du confort, en particulier dans les bureaux.



	Avant travaux		Après travaux		Gain		
	Total	/m2	Total	/m2	Total	/m2	%
Consommation totale (kWh EF/an)	4 708 282	214.0	4 164 391	189.3	543 891	24.7	12%
Chauffage	1 975 150	89.8	1 439 259	65.4	535 890	24.4	27%
Climatisation	23 339	1.1	25 908	1.2	-2 569	-0.1	-11%
Ventilation	117 474	5.3	117 497	5.3	-13	-0.0	0%
ECS	268 343	12.2	268 343	12.2	0	0.0	0%
Auxiliaires de distribution	46 872	2.1	36 290	1.6	10 583	0.5	23%
Eclairage	853 352	38.8	853 352	38.8	0	0.0	0%
Equipements électriques	1 423 752	64.7	1 423 752	64.7	0	0.0	0%
Production EnR (PV, etc.)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	-

VI.1.1.3.3. REMPLACEMENT DE LA PRODUCTION ECS

Description de
l'action et de sa mise
en oeuvre

Le ballon ECS du restaurant est actuellement alimenté par le CPCU, ce qui empêche de couper la production de chaleur en été, et entraîne des surconsommations importantes du fait du surdimensionnement de la production pour le seul ballon ECS.
Le remplacement du ballon ECS du restaurant Bambigny par un ballon thermodynamique permet de réduire de manière importante les consommations d'ECS.

Gain qualitatif

Réduction des consommations d'ECS



	Avant travaux		Après travaux		Gain		
	Total	/m2	Total	/m2	Total	/m2	%
Consommation totale (kWh EF/an)	4 708 282	214.0	4 642 570	211.0	65 713	3.0	1%
Chauffage	1 975 150	89.8	1 975 132	89.8	18	0.0	0%
Climatisation	23 339	1.1	23 339	1.1	-0	-0.0	0%
Ventilation	117 474	5.3	117 474	5.3	0	0.0	0%
ECS	268 343	12.2	202 648	9.2	65 695	3.0	24%
Auxiliaires de distribution	46 872	2.1	46 872	2.1	0	0.0	0%
Eclairage	853 352	38.8	853 352	38.8	0	0.0	0%
Equipements électriques	1 423 752	64.7	1 423 752	64.7	0	0.0	0%
Production EnR (PV, etc.)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	-

VI.1.1.3.2. REMPLACEMENT DES SIMPLES VITRAGES

Description de
l'action et de sa mise
en oeuvre

Les simples vitrages actuels sont très déperditifs, entraînant des consommations énergétiques importantes ainsi qu'un inconfort lié à l'effet de paroi froide. Remplacer les vitrages par des doubles vitrages performants permet donc de diminuer les consommations, tout en améliorant le confort.

Gain qualitatif

Réduction des consommations de chauffage.
Amélioration du confort thermique localement par la diminution de l'effet de paroi froide.



	Avant travaux		Après travaux		Gain		
	Total	/m2	Total	/m2	Total	/m2	%
Consommation totale (kWh EF/an)	4 708 282	214.0	4 551 649	206.9	156 634	7.1	3%
Chauffage	1 975 150	89.8	1 820 896	82.8	154 252	7.0	8%
Climatisation	23 339	1.1	23 639	1.1	-300	-0.0	-1%
Ventilation	117 474	5.3	117 479	5.3	-5	-0.0	0%
ECS	268 343	12.2	268 343	12.2	0	0.0	0%
Auxiliaires de distribution	46 872	2.1	43 982	2.0	2 891	0.1	6%
Eclairage	853 352	38.8	853 555	38.8	-203	-0.0	0%
Equipements électriques	1 423 752	64.7	1 423 752	64.7	0	0.0	0%
Production EnR (PV, etc.)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	-

VI.1.1.3.4. AMELIORATION DE LA REGULATION DES AEROTHERMES

Description de
l'action et de sa mise
en oeuvre

Actuellement, la régulation des aérothermes est peu fonctionnelle : la gestion n'est plus effectuée sur la GTC, et de nombreux aérothermes ne disposent plus de V2V.
La mise en place d'une gestion centralisée permet une meilleure adéquation entre le besoin de chauffage et la puissance délivrée à chaque émetteur.
Cela permet de réduire les consommations, tout en limitant l'inconfort.

Gain qualitatif

Réduction des consommations de chauffage.
Amélioration du confort dans les grands espaces grâce à une meilleure régulation.



	Avant travaux		Après travaux		Gain		
	Total	/m2	Total	/m2	Total	/m2	%
Consommation totale (kWh EF/an)	4 708 282	214.0	4 689 423	213.2	18 859	0.9	0%
Chauffage	1 975 150	89.8	1 955 362	88.9	19 788	0.9	1%
Climatisation	23 339	1.1	23 341	1.1	-2	-0.0	0%
Ventilation	117 474	5.3	117 454	5.3	20	0.0	0%
ECS	268 343	12.2	268 343	12.2	0	0.0	0%
Auxiliaires de distribution	46 872	2.1	47 799	2.2	-927	-0.0	-2%
Eclairage	853 352	38.8	853 352	38.8	0	0.0	0%
Equipements électriques	1 423 752	64.7	1 423 752	64.7	0	0.0	0%
Production EnR (PV, etc.)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	-

VI.1.1.3.5. REMPLACER LES AÉROTHERMES VÉTUSTES

Description de
l'action et de sa mise
en œuvre

Certains aérothermes actuels sont non fonctionnels ou vétustes. Le remplacement de ces équipements permettra la mise en place d'aérothermes plus performants énergétiquement (meilleure régulation, moteurs plus efficaces, etc.).

Gain qualitatif

Réduction des consommations d'auxiliaires et des consommations de chauffage.
Amélioration de confort dans les grands espaces (meilleure diffusion de la chaleur)

Systèmes

Chauffage/ECS



	Avant travaux		Après travaux		Gain		
	Total	/m2	Total	/m2	Total	/m2	%
Consommation totale (kWh EF/an)	4 708 282	214.0	4 630 422	210.5	77 861	3.5	2%
Chauffage	1 975 150	89.8	1 897 289	86.2	77 861	3.5	4%
Climatisation	23 339	1.1	23 339	1.1	0	0.0	0%
Ventilation	117 474	5.3	117 474	5.3	-0	-0.0	0%
ECS	268 343	12.2	268 343	12.2	0	0.0	0%
Auxiliaires de distribution	46 872	2.1	46 873	2.1	-0	-0.0	0%
Eclairage	853 352	38.8	853 352	38.8	0	0.0	0%
Équipements électriques	1 423 752	64.7	1 423 752	64.7	0	0.0	0%
Production EnR (PV, etc.)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	-

VI.1.1.3.6. INSTALLER DES ROBINETS THERMOSTATIQUES SUR LES PANNEAUX RAYONNANTS

Description de
l'action et de sa mise
en œuvre

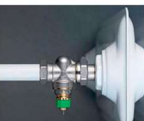
L'amélioration de la régulation des panneaux rayonnants des bureaux, par l'installation de robinets thermostatiques et/ou un pilotage via GTC permet d'ajuster automatiquement la puissance de chauffage délivrée dans chaque pièce en fonction des besoins réels. Cela permet de réduire les consommations et de s'assurer que les consignes de température soient atteintes.

Gain qualitatif

Réduction des consommations de chauffage et amélioration du confort thermique.

Exploitation

Chauffage/ECS



	Avant travaux		Après travaux		Gain		
	Total	/m2	Total	/m2	Total	/m2	%
Consommation totale (kWh EF/an)	4 708 282	214.0	4 697 343	213.5	10 939	0.5	0%
Chauffage	1 975 150	89.8	1 964 210	89.3	10 940	0.5	1%
Climatisation	23 339	1.1	23 339	1.1	0	0.0	0%
Ventilation	117 474	5.3	117 474	5.3	0	0.0	0%
ECS	268 343	12.2	268 343	12.2	0	0.0	0%
Auxiliaires de distribution	46 872	2.1	46 873	2.1	-1	-0.0	0%
Eclairage	853 352	38.8	853 352	38.8	0	0.0	0%
Équipements électriques	1 423 752	64.7	1 423 752	64.7	0	0.0	0%
Production EnR (PV, etc.)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	-

VI.1.1.3.7. RELAMPLING COMPLET DES ZONES HORS CIRCULATION

Description de
l'action et de sa mise
en œuvre

Remplacement des équipements d'éclairage par des luminaires LED faiblement consommateurs dans les espaces principaux (exposition, administration).

Gain qualitatif

Réduction des consommations d'éclairage.

Exploitation

Eclairage



	Avant travaux		Après travaux		Gain		
	Total	/m2	Total	/m2	Total	/m2	%
Consommation totale (kWh EF/an)	4 708 282	214.0	4 635 362	210.7	72 921	3.3	2%
Chauffage	1 975 150	89.8	2 081 300	94.6	-106 150	-4.8	-5%
Climatisation	23 339	1.1	22 583	1.0	756	0.0	3%
Ventilation	117 474	5.3	117 475	5.3	-2	-0.0	0%
ECS	268 343	12.2	268 343	12.2	0	0.0	0%
Auxiliaires de distribution	46 872	2.1	48 908	2.2	-2 035	-0.1	-4%
Eclairage	853 352	38.8	673 000	30.6	180 351	8.2	21%
Équipements électriques	1 423 752	64.7	1 423 752	64.7	0	0.0	0%
Production EnR (PV, etc.)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	-

VI.1.1.3.8. RELAMPLING COMPLET DES ZONES DE CIRCULATION

Description de
l'action et de sa mise
en œuvre

Remplacement des équipements d'éclairage par des luminaires LED faiblement consommateurs dans les espaces de circulation, et les ascenseurs.

Gain qualitatif

Réduction des consommations d'éclairage

Exploitation

Eclairage



	Avant travaux		Après travaux		Gain		
	Total	/m2	Total	/m2	Total	/m2	%
Consommation totale (kWh EF/an)	4 708 282	214.0	4 677 839	212.6	30 443	1.4	1%
Chauffage	1 975 150	89.8	1 991 270	90.5	-16 120	-0.7	-1%
Climatisation	23 339	1.1	23 292	1.1	47	0.0	0%
Ventilation	117 474	5.3	117 494	5.3	-20	-0.0	0%
ECS	268 343	12.2	268 343	12.2	0	0.0	0%
Auxiliaires de distribution	46 872	2.1	47 193	2.1	-320	-0.0	-1%
Eclairage	853 352	38.8	806 496	36.7	46 856	2.1	5%
Équipements électriques	1 423 752	64.7	1 423 752	64.7	0	0.0	0%
Production EnR (PV, etc.)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	-

VI.2. SCENARIOS DE RENOVATION

VI.2.1.1. SCENARIOS ETUDIES

Afin d'estimer les interactions potentielles entre les différentes actions proposées, on étudie ici 3 scénarios de rénovation différents :

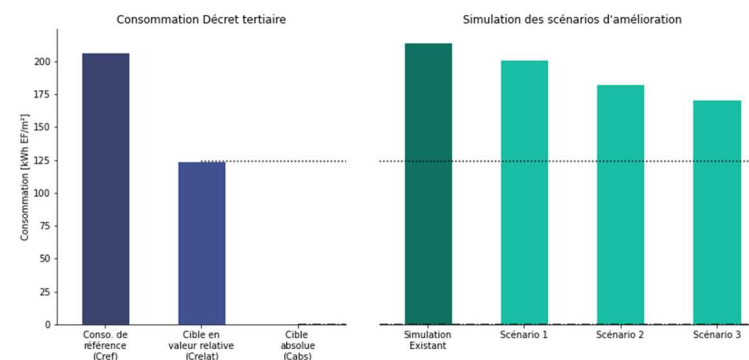
- Scénario 1 : rénovation des systèmes CVC (système ECS, robinets thermostatiques et émetteurs de chauffage) et de l'éclairage
- Scénario 2 : rénovation de l'enveloppe (toiture et fenêtre)
- Scénario 3 : rénovation « globale » : systèmes CVC, éclairage, et enveloppe

n°	Nom de l'APE	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
1	Isoler par l'extérieur la toiture terrasse		X	X
2	Remplacer les fenêtres par des fenêtres performantes		X	X
3	Ajouter un système ECS thermodynamique	X		X
4	Remplacer les ventilo-convecteurs anciens par des plafonds rayonnants	X		X
5	Remplacer les ventilo-convecteurs anciens par des ventilo-convecteurs performants	X		X
6	Installer des robinets thermostatiques sur les radiateurs à eau chaude	X		X
7	Relamplage complet des zones hors circulations	X		X
8	Relamplage complet des zones de circulation	X		X

VI.2.1.2. SYNTHESE DES RESULTATS

Les résultats principaux de la simulation des différents scénarios sont présentés ci-dessous :

Nom du scénario	Consommation d'énergie (kWh EF/m ² /an)			
	Avant	Après	Économie	%
Scénario 1	214	201	13	6%
Scénario 2	214	183	31	15%
Scénario 3	214	171	43	20%



Consommations énergétiques projetées pour chaque scénario étudié et comparaison aux seuils du décret tertiaire

VII. ANNEXES

VII.1. FORMULE D'AJUSTEMENT DES CONSOMMATION UTILISEES POUR LE CALCUL DE L'ANNEE DE REFERENCE

Formule d'ajustement des consommations de chauffage	$E_{chauffage_ajusté}(n) = E_{chaud}(n) * \left(\frac{DJC_{base,moyen}}{DJC_{base,n}} \right)$ <p>Avec</p> <ul style="list-style-type: none">• $E_{chauffage_ajusté}(kWh)$: Consommation de chauffage suite à l'ajustement du aux variations météorologiques de la quantité d'énergie finale nécessaire au chauffage pour l'année n.• $E_{chaud}(kWh)$: Consommation en énergie finale pour le chauffage.• $DJC_{base,moyen}(°C.jour)$: Nombre de degrés jour hiver moyen statistique sur la période 2000-2019 de la station météo considérée.• $DJC_{base,n}(°C.jour)$: Degrés jour hiver de l'année n de la station météo considérée.
Formule d'ajustement des consommations de refroidissement	$E_{froid_ajusté}(n) = 0.05 * S_{refroidie} * (DJR_{base,moyen} - DJR_{base,n})$ <p>Avec</p> <ul style="list-style-type: none">• $E_{froid_ajusté}(kWh)$: Consommation de refroidissement suite à l'ajustement du aux variations météorologiques de la quantité d'énergie finale nécessaire au chauffage pour l'année n.• $0.05(kWh/m^2/°C)$: Ecart de consommation théorique de refroidissement surfacique par degré d'écart à la référence.• $S_{refroidie}(m^2)$: Surface refroidie.• $DJR_{base,moyen}(°C.jour)$: Nombre de degrés jour été moyen statistique sur la période 2000-2019 de la station météo considérée.• $DJR_{base,n}(°C.jour)$: Degrés jour été de l'année n de la station météo considérée.