



Audit énergétique du bâtiment de la DGFIP

CENTRE DES FINANCES PUBLIQUES DE NOGENT

Audit énergétique du bâtiment
Mission d’audit patrimonial

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
1	Audit énergétique (hors Simulation dynamique du bâti)		Guillaume REGENT	30/11/2022
2	Ajout des conclusions de la simulation dynamique du bati	Julie Gomez	Guillaume REGENT	28/04/2023
ARTELIA				

16 rue Simone Veil, 93400 Saint-Ouen
+33 (0)1 55 84 10 10

A. ETUDE ÉNERGÉTIQUE.....	4
1. INTRODUCTION	5
2. PRÉSENTATION DU SITE	6
2.1. LOCALISATION DU SITE	6
2.2. PERIMETRE DU BILAN	6
2.3. DONNEES RELATIVES A LA REALISATION DE L'AUDIT	7
2.4. DONNEES CLIMATIQUES LOCALES	7
3. CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES	8
3.1. DESCRIPTION DE L'ENVELOPPE.....	8
3.2. DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS TECHNIQUES	9
3.3. REGULATION DES EQUIPEMENTS	10
3.4. HISTORIQUE DES CONSOMMATIONS	10
3.5. DECRET TERTIAIRE	13
4. SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE.....	14
B. PROPOSITIONS D'ACTIONS	15
5. SCÉNARIO 1A : REMPLACEMENT DES MENUISERIES ..	16
5.1. GENERALITES	16
5.2. RECAPITULATIF DES RESULTATS	17
6. SCÉNARIO 1B : ISOLATION EXTÉRIEURE ET MENUISERIES.....	18
6.1. GENERALITES	18

6.2.	RECAPITULATIF DES RESULTATS	19
7.	SCÉNARIO 2A : REMPLACEMENT DU CHAUFFAGE / CENTRALES D’AIR.....	20
7.1.	GENERALITES	20
7.2.	RECAPITULATIF DES RESULTATS	21
8.	SCÉNARIO 2B : VARIANTE ISOLATION	22
8.1.	GENERALITES	22
8.2.	RECAPITULATIF DES RESULTATS	23
9.	SYNTHÈSE DES RÉSULTATS	24



A. ETUDE ENERGETIQUE

1. INTRODUCTION

Objectif de la mission :

ARTELIA a été missionné par la DDFIP (Direction départementale des finances publiques) pour réaliser un audit énergétique du site de Nogent. Cet audit s'inscrit dans une démarche d'amélioration de la performance énergétique du bâtiment.

Il doit permettre de dresser une proposition chiffrée et argumentée de programme d'économie d'énergie et amener la DDFIP à décider des investissements appropriés.

La mission a pour objectif, via la réalisation de cet audit énergétique, de fournir au maître d'ouvrage les éléments d'aide à la décision afin de réduire les coûts liés aux consommations énergétiques.

Pour ce faire, le bilan s'articule autour de trois phases méthodologiques :

- Recueil de données et visite de site
- Analyse des factures et audits précédents disponibles
- Proposition d'actions d'amélioration et évaluation des gains énergétiques

2. PRESENTATION DU SITE

2.1. LOCALISATION DU SITE

Le site est situé 1 Rue Jean Soules, 94130 Nogent-sur-Marne. Il est constitué d'un seul bloc (en rouge sur la capture) de forme rectangulaire, sans mur mitoyen.



2.2. PERIMETRE DU BILAN

Le périmètre étudié dans cet audit énergétique comprend donc l'ensemble des installations techniques et l'enveloppe.

	CFP Nogent sur Marne
Année de construction	1971
Surface	3 260,38 m ² SHON 2 548 m ² SUB 1 571 m ² SUN
Typologie de bâtiment	Tertiaire (ERP)
Usage principal	Bureaux, archivage, accueil du public

2.3. DONNEES RELATIVES A LA REALISATION DE L'AUDIT

Date de la visite	22 novembre 2022
Auditeur(s) présent(s)	• Guillaume REGENT (ARTELIA)

2.4. DONNEES CLIMATIQUES LOCALES

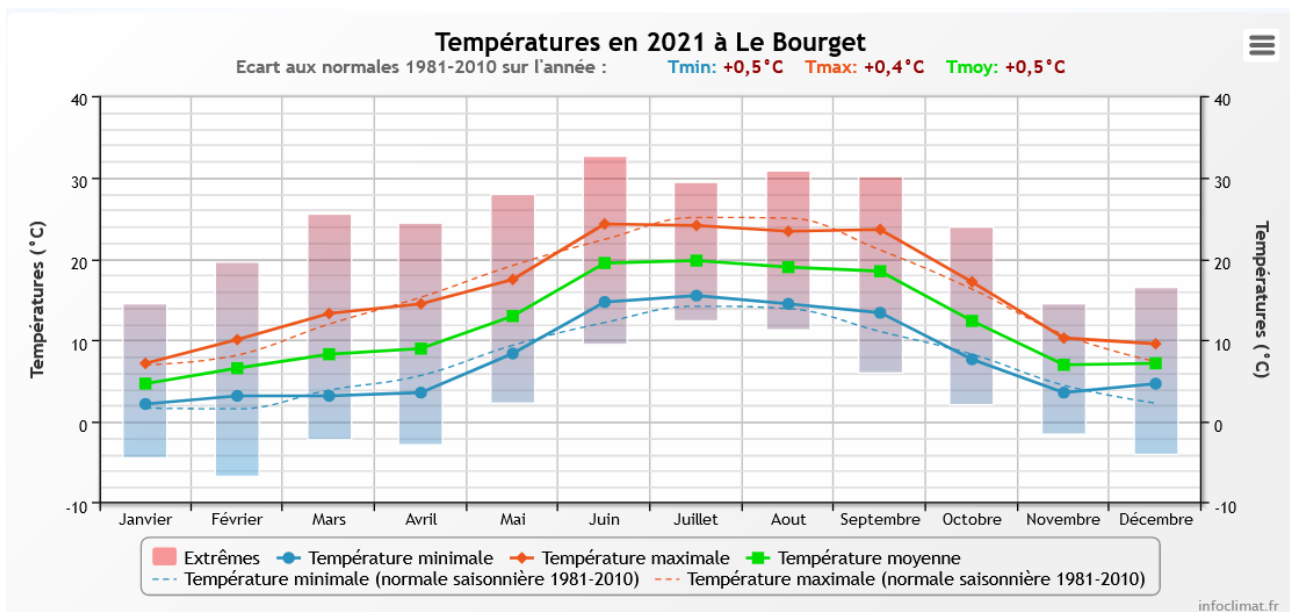
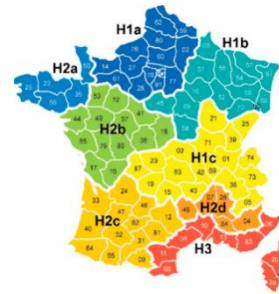
Le bâtiment est situé à Nogent sur Marne dans le département du Val de Marne, en zone climatique H1a au sens de la réglementation thermique.

Station météo de référence : Le Bourget

Données climatiques standardisées :

Chauffage : DJU base 18°C, données météo RE2020 zone H1a : 2 444,46

Climatisation : DJU_f base 18°C, données météo RE2020 zone H1a : 305,98



3. CONSOMMATIONS ENERGETIQUES

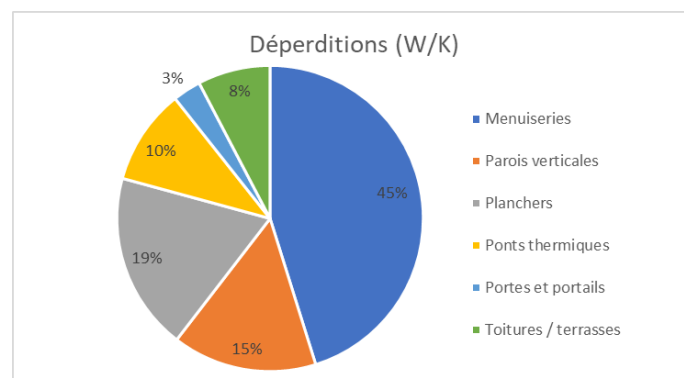
3.1. DESCRIPTION DE L'ENVELOPPE

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques thermiques des parois du bâtiment.

	Up* (W/m².K)	Performance thermique
Parois verticales Mur plein d'environ 30 cm, sans isolation	Entre 2 et 2,5	
Toiture terrasse Toiture terrasse béton, isolation reprise à la suite de travaux récents. Couverture végétalisée en partie.	Entre 1 et 1,2	
Plancher bas Plancher béton sans isolation, donnant sur un garage enterré.	Entre 2,2 et 2,4	
Menuiseries 1 Menuiseries simple vitrage présent principalement au rez de chaussée, et au niveau des sanitaires : <ul style="list-style-type: none"> • 4 mm d'épaisseur • 6 mm d'épaisseur 	Entre 4 et 6	
Menuiseries 2 Les menuiseries sont en double vitrage montées sur châssis en aluminium, sans rupture de pont thermique : <ul style="list-style-type: none"> • 10/4/6, au rez de chaussée • 4/4/4 dans les étages Stores tissus extérieurs	Entre 2,5 et 3	

* Coefficient de transfert thermique des parois, un nombre plus faible signifie que la paroi est mieux isolée. Les valeurs sont issues soit d'un rapport de calcul RT si existant, soit estimé en fonction de l'âge du bâtiment et des relevés réalisés sur place.

Le bâtiment ayant été construit en 1971 (antérieur à la première réglementation thermique), les performances thermiques de l'enveloppe sont faibles. Les menuiseries des étages sont plus performantes que le reste du bâtiment, mais sont aujourd'hui désuètes par rapport aux possibilités des menuiseries actuelles. La forte proportion de surfaces vitrées en fait le premier poste de déperdition du bâtiment, devant le plancher bas. Les parois verticales arrivent en troisième position, la surface de celles-ci étant relativement faible face aux menuiseries.



3.2. DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS TECHNIQUES

a) Ventilation

Le site ne dispose pas de dispositif mécanique d'amenée d'air neuf dans le bâtiment. Le renouvellement d'air est réalisé par les défauts d'isolation des menuiseries, ou par l'ouverture de celles-ci. Une VMC ALDES CVEC 750 présente dans un des édifices en toiture permet l'évacuation de l'air vicié des sanitaires. Le débit maximal de la VMC est de 750 m³/h.

Les hypothèses et besoins estimés en chauffage lié au renouvellement d'air du bâtiment sont les suivants :

Débit d'air neuf	Estimé	525
Récupération de chaleur	Pas de récupération	0%
Besoins en chauffage lié au renouvellement d'air		116 kW

b) Eau Chaude Sanitaire

La fourniture d'eau chaude sanitaire est réalisée via des ballons électriques présents dans chaque bloc sanitaire. La consommation annuelle est estimée à 1 952 kWh/an

c) Chauffage

Le chauffage du bâtiment est assuré par une chaudière gaz VIESSMANN VITOCROSSAL 300 de 314 kW. L'eau chaude alimente les radiateurs situés en allège des fenêtres par un unique réseau de distribution.

Les hypothèses et besoins estimés en chauffage statique du bâtiment sont les suivants

Déperditions des parois	/	6 684 W/K
Température de base	Zone H1a, 0-200m	-7°C
Température de consigne	/	19°C
Besoins en chauffage statique		174 kW

Les besoins théoriques maximums en chauffage (statique + renouvellement d'air, sans apport des utilisateurs) sont donc de 117 + 174 = 290 kW. La chaudière actuelle est donc correctement dimensionnée.

d) Climatisation

Le site ne dispose pas de climatisation. A titre informatif, les besoins estimés pour une climatisation du bâtiment avec une consigne de 26°C dans les conditions actuelles d'isolation seraient de :

Puissance liée aux déperditions des parois et aux apports internes	158,8 kW
Puissance liée au renouvellement d'air	40,2 kW
Besoins en climatisation	199 kW

e) Electricité

L'alimentation électrique du bâtiment est réalisée via à partir d'un Tableau General Basse tension installé au 1^{er} sous-sol. A partir de ce TGBT, des tableaux divisionnaires d'étages desservent les différents niveaux, avec des départs électriques séparés pour les prises de courant, les éclairages, et le matériel informatique.

L'éclairage est réalisé principalement par deux technologies :

- Des pavés LED installés dans certaines zones au rez de chaussée.
- Des pavés de deux tubes fluo-compact dans les autres étages.

Des horloges sont présentes pour les éclairages du rez de chaussée.

Une salle informatique est présente au premier étage, et dispose d'une climatisation à détente directe.

3.3. REGULATION DES EQUIPEMENTS

Le tableau suivant récapitule les méthodes de régulations mises en place sur le site, ainsi que l'avis d'ARTELIA sur leur fonctionnement :

Equipement(s)	Méthode de régulation	Détail	Avis ARTELIA
Chauffage – Production	Régulation sur Température	100% à -7°C 0% à 19°C	✓ Fonctionnement optimal
Chauffage – Circuit constant	Programmation horaire	Fonctionnement 24h/24	± Envisager un réduit de nuit, si l'inertie du bâtiment le permet
	Régulation sur Température	Peu de têtes thermostatiques	✗ Mettre en place des têtes thermostatiques sur les radiateurs non équipés.
VMC	Programmation horaire	24h/24	✗ Possibilité de réduire l'amplitude horaire la nuit

3.4. HISTORIQUE DES CONSOMMATIONS

Le tableau suivant récapitule les consommations de référence du bâtiment :

	Electricité	Gaz	DJU	DJF
Origine des données	Factures	Factures	Météo France	Météo France
2020	34 446 kWh	435 626 kWh	2 010	472
2021	33 814 kWh	590 109 kWh	2 452	297
2022 (10 mois)	18 384 kWh	290 579 kWh	1 480	499
Données « standardisées »	34 000 kWh	577 732 kWh	2 444	306

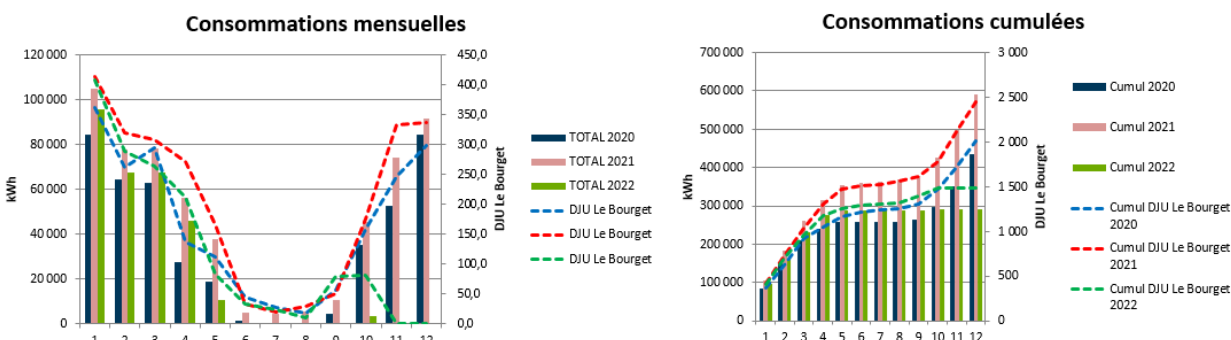
Les données standardisées seront celles utilisées comme base pour les données de consommation dans les scénarios d'économies d'énergie.

a) Consommations de chauffage

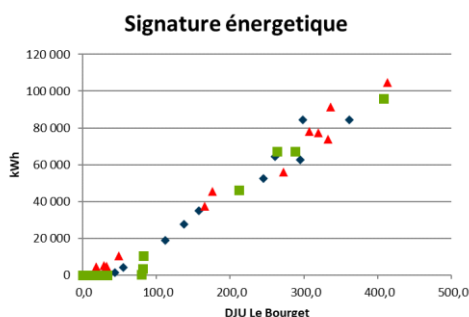
Consommations mensuelles										kWh			
2020	janv.-20	févr.-20	mars-20	avr.-20	mai-20	juin-20	juil.-20	août-20	sept.-20	oct.-20	nov.-20	déc.-20	TOTAL
Gaz	84 342	64 439	62 559	27 538	18 844	1 352	145	266	4 129	34 910	52 667	84 434	435 626
TOTAL 2020	84 342	64 439	62 559	27 538	18 844	1 352	145	266	4 129	34 910	52 667	84 434	435 626
DJU Le Bourget	361,4	261,1	294,7	137,3	112,1	43,6	26,4	16,7	55,1	157,9	245,5	298,6	2 010
Ratio	233,4	246,8	212,3	200,6	168,1	31,0	5,5	15,9	74,9	221,1	214,5	282,8	216,7

2021	janv.-21	févr.-21	mars-21	avr.-21	mai-21	juin-21	juil.-21	août-21	sept.-21	oct.-21	nov.-21	déc.-21	TOTAL
Gaz	104 748	77 426	78 232	56 022	37 585	4 848	4 468	5 249	10 498	45 581	73 898	91 553	590 109
TOTAL 2021	104 748	77 426	78 232	56 022	37 585	4 848	4 468	5 249	10 498	45 581	73 898	91 553	590 109
DJU Le Bourget	413,3	319,6	306,8	271,9	165,8	32,7	18,9	29,4	49,5	175,7	332,4	336,3	2 452
Ratio	253,4	242,3	255,0	206,0	226,7	148,2	236,4	178,5	212,1	259,4	222,3	272,2	240,6

2022	janv.-22	févr.-22	mars-22	avr.-22	mai-22	juin-22	juil.-22	août-22	sept.-22	oct.-22	nov.-22	déc.-22	TOTAL
Gaz	95 782	67 179	67 241	46 112	10 381	0	0	0	388	3 496	0	0	290 579
TOTAL 2022	95 782	67 179	67 241	46 112	10 381	0	0	0	388	3 496	0	0	290 579
DJU Le Bourget	408,2	288,3	263,3	211,5	82,0	33,1	22,4	10,1	79,4	81,3	0,0	0,0	1 480
Ratio	234,6	233,0	255,4	218,0	126,6	0,0	0,0	0,0	4,9	43,0	0,0	0,0	196,4



Le gaz est utilisé sur site uniquement pour le chauffage du bâtiment, il est donc attendu que son évolution soit proportionnelle aux températures extérieures. C'est bien le cas ici, puisque les consommations sont proportionnelles à la rigueur climatique mensuelle (exprimée par les degrés jour / DJU). Cette proportionnalité est plus explicite par ce graphique qui montre l'évolution de la consommation mensuelle en fonction des DJU.



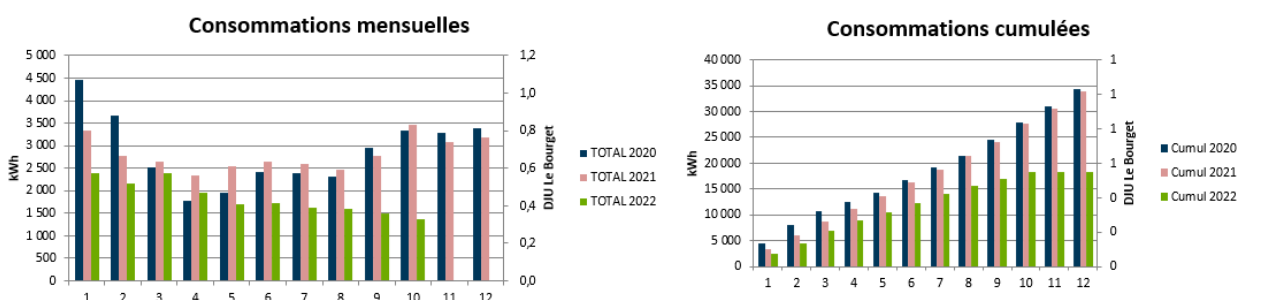
On constate que la régulation du chauffage est correctement réalisée, les points étant alignés sur une droite (indiquant une consommation proportionnelle au climat). Les DJU étant basé sur une référence de 18°C, les consommations ne s'annulent pas lorsque les DJU sont à 0, mais plutôt autour de 25, ce qui correspond à une température moyenne de 19°C. Ce résultat est cohérent avec la programmation du site.

Il est à noter qu'aucune baisse particulière du chauffage n'a été constatée durant les périodes de confinement de 2020. Il est probable qu'aucune adaptation des consignes (mise en place d'un réduit, coupure partielle) n'ait été réalisée.

Cette corrélation quasi parfaite permet de définir une consommation de chauffage en fonction d'une année climatique de référence, que nous estimons à 577 732 kWh

b) Consommation d'électricité

Consommations mensuelles										kWh			
2020	janv.-20	févr.-20	mars-20	avr.-20	mai-20	juin-20	juil.-20	août-20	sept.-20	oct.-20	nov.-20	déc.-20	TOTAL
Electricité	4 464	3 673	2 526	1 766	1 946	2 423	2 388	2 313	2 951	3 346	3 275	3 375	34 446
TOTAL 2020	4 464	3 673	2 526	1 766	1 946	2 423	2 388	2 313	2 951	3 346	3 275	3 375	34 446
2021	janv.-21	févr.-21	mars-21	avr.-21	mai-21	juin-21	juil.-21	août-21	sept.-21	oct.-21	nov.-21	déc.-21	TOTAL
Electricité	3 328	2 767	2 637	2 334	2 532	2 655	2 590	2 464	2 776	3 471	3 084	3 177	33 814
TOTAL 2021	3 328	2 767	2 637	2 334	2 532	2 655	2 590	2 464	2 776	3 471	3 084	3 177	33 814
2022	janv.-22	févr.-22	mars-22	avr.-22	mai-22	juin-22	juil.-22	août-22	sept.-22	oct.-22	nov.-22	déc.-22	TOTAL
Electricité	2 395	2 163	2 395	1 954	1 691	1 727	1 628	1 588	1 489	1 355	0	0	18 384
TOTAL 2022	2 395	2 163	2 395	1 954	1 691	1 727	1 628	1 588	1 489	1 355	0	0	18 384



Les consommations électriques du site sont globalement plus importantes en hiver qu'en été, mais cette variation est beaucoup moins marquée que pour le gaz. Cette situation est logique, l'électricité ne servant pas directement pour le chauffage du site, mais servant à certains usages plus consommateurs en hiver (eau chaude sanitaire, éclairage). Les périodes estivales, durant lesquelles les bureaux sont moins remplis, expliquent également les creux de juillet / août.

On note également un niveau de consommation assez bas (13 kWh/m².an) ce qui s'explique par le faible nombre d'équipements en dehors de l'éclairage et du matériel informatique. Des variations importantes sont aussi constatées selon les années. Plusieurs éléments peuvent expliquer ce point :

- Les périodes de confinement en 2020 ont fait varier fortement l'utilisation du bâtiment, et donc les consommations directement liées aux occupants (éclairage, alimentation du matériel informatique,)
- Lors de notre visite, seule une partie des étages étaient occupés. Un départ progressif des occupants de certains bureaux peut expliquer la baisse progressive des consommations sur 2022

Nous prendrons comme hypothèse de consommation annuelle électrique 34 000 kWh, soit une valeur proche des années 2020 et 2021.

3.5. DECRET TERTIAIRE

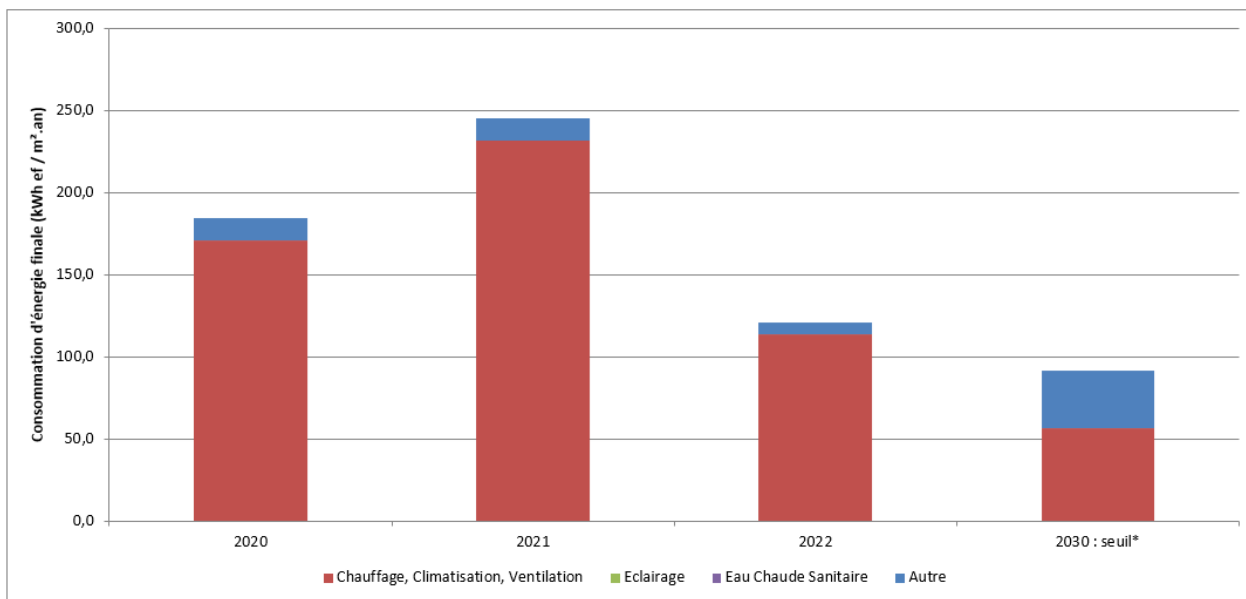
Nous avons estimé la valeur seuil définie par l'arrêté du 24 novembre 2020 pour les consommations à atteindre en 2030. Si l'objectif de -40% est inférieur au seuil, alors le seuil pourra être l'objectif retenu pour 2030. Des seuils seront définis pour les années 2040 et 2050 dans le courant des années 2030/2040. Nos hypothèses pour ce seuil sont les suivantes :

- Profil « Bureaux services publics - bureaux standards », nombre d'heures d'ouvertures de 2 340h (8h-17h du lundi au vendredi, 52 semaines par an), taux d'occupation et surface de poste standard

Ces hypothèses nous permettent d'estimer un seuil « 2030 » de 91,6 kWh/m².an. Selon l'année de référence retenue, ce seuil peut être retenu comme objectif à atteindre pour 2030, si celui-ci est supérieur à la consommation de la période de référence réduite de 40%.

	kWh/m ² .an
2020	184,5
2021	244,9
2022 (partiel)	121,3
2030 : seuil	91,6

POINT DECRET TERTIAIRE



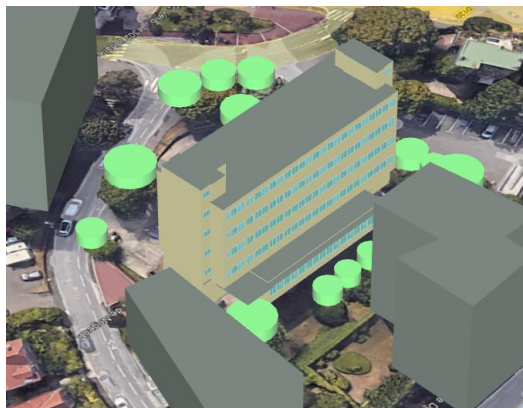
* L'arrêté du 24 novembre 2020 définit des seuils par type de bâtiment pour l'objectif 2030. Si l'objectif de -40% est inférieur au seuil, alors le seuil pourra être l'objectif retenu pour 2030. Des seuils seront définis pour les années 2040 et 2050 dans le courant des années 2030/2040

4. SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

Afin de déterminer les pertes thermiques dues aux parois, et estimer les gains possibles avec une isolation de celles-ci, nous avons réalisé une simulation thermique dynamique du bâtiment.

La première étape d'une Simulation Thermique Dynamique est la construction du modèle géométrique 3D du projet. Elle est réalisée sur la base des plans, coupes, façades à disposition. La modélisation a été réalisée sur la base :

- des plans, non datés, transmis par la MOA ainsi que du plan de repérage amiante du R-1 ;
- en l'absence de coupes et façades, nous avons approchés les hauteurs par rapport à un bâtiment standard.





B. PROPOSITIONS D' ACTIONS

5. SCENARIO 1A : REMPLACEMENT DES MENUISERIES

5.1. GENERALITES

Ce scénario comprend le changement des fenêtres du site par des modèles récents. Le principe de ventilation simple flux par extraction mécanique est conservé, le passage en double flux de l'ensemble du bâtiment étant jugé trop complexe sans modification de la chaudière gaz.

Le remplacement des huisseries améliorant l'étanchéité du site, cette opération risque d'entraîner une baisse du taux d'air neuf entrant dans le bâtiment. Pour éviter ce point et les problèmes d'humidité associés, les huisseries seront équipées d'entrées d'air.

Le changement des menuiseries diminue les besoins énergétiques du site en gaz, et réduit la puissance du chauffage nécessaire.

Hypothèses :

- Coefficient de transmission moyen retenu pour les nouvelles fenêtres : 1,6 W/m².K (entre 2,5 et 6 actuellement)

Coûts estimatifs :

Descriptif	Investissement [€HT]	Détails
Remplacement des fenêtres du site par des modèle double vitrage haute performance	726 640 €	/

Avantages / inconvénients :

- ✓ Baisse importante de la consommation liée au chauffage
- ✓ Amélioration du confort lié aux températures de parois
- ✓ Amélioration du confort acoustique (meilleure atténuation du bruit par les huisseries)
- ✗ Travaux importants impactant les utilisateurs du site. Une organisation de travaux en site occupé sera à mettre en place.

5.2. RECAPITULATIF DES RESULTATS

Situation initiale	Consommation	Détail			TOTAL
		Electricité (chauffage)	Electricité (autre)	Gaz	
Chauffage [kWh/an]	577 732			577 732	
Autres consommations [kWh/an]	34 000		34 000		
TOTAL kWh	611 732	-	34 000	577 732	611 732
TOTAL Eq CO2		-	2 176	131 145	133 321
TOTAL €HT		- €	5 780,00 €	57 773,20 €	63 553,20 €

Après travaux	Consommation	Détail			TOTAL	% d'économies
		Electricité (chauffage)	Electricité (autre)	Gaz		
Chauffage [kWh/an]	483 043			483 043		16,4%
Autres consommations [kWh/an]	34 000		34 000			0,0%
TOTAL kWh	517 043	-	34 000	483 043	517 043	15,5%
TOTAL Eq CO2		-	2 176	109 651	111 827	16,1%
TOTAL €HT		- €	5 780,00 €	48 304,30 €	54 084,30 €	14,9%

Gain énergétique [%]	-15,5%
Gain énergétique [kWh/an]	94 689
Ratio [kWh/m².an]	202,9
Gain financier [€HT/an]	9 468,90 €
Investissement [€HT]	726 640,00 €
Temps de retour sur investissement [an]	76,74
Estimations des CEE [€HT]	20 981,73 €
TRI avec CEE [an]	74,52

Consommations énergie "référence" en kWhEF/an	611 732
Consommations énergie "cible" en kWhEF/an	517 043
Gain énergétique attendu à la livraison en kWhEF/an	94 689
Gain énergétique attendu à la livraison en %	-15,5%
Emission de gaz à effet de serre initiale en kg eqCO2/an	133 321
Emission de gaz à effet de serre à la livraison en kg eqCO2/an	111 827
Economie de gaz à effet de serre en kg eqCO2/an	21 494
Economie de gaz à effet de serre en %	-16,1%

6. SCENARIO 1B : ISOLATION EXTERIEURE ET MENUISERIES

6.1. GENERALITES

Ce scénario comprend les actions du scénario 1A, mais avec l'ajout d'une isolation par l'extérieur

Hypothèses :

- Le remplacement des menuiseries extérieures :
 - Les menuiseries MEE01 sont remplacées par des menuiseries avec $U_w = 1,55 \text{ W/m}^2.\text{K}$
 - Les menuiseries MEE04 sont remplacées par des menuiseries avec $U_w = 1,51 \text{ W/m}^2.\text{K}$
 - Les menuiseries MEE05 sont remplacées par des menuiseries avec $U_w = 1,51 \text{ W/m}^2.\text{K}$.
- L'isolation des murs par une isolation extérieure avec une isolation extérieure de 10 cm :
 - Les parois M01 ont une nouvelle résistance de : $2,74 \text{ m}^2.\text{K/W}$
 - Les murs M02 ont une nouvelle résistance de : $2,67 \text{ m}^2.\text{K/W}$
 - Les ponts thermiques des planchers intermédiaires sont réduits à $\Psi = 0,07$.

Coûts estimatifs :

Descriptif	Investissement [€HT]	Détails
Remplacement des fenêtres du site par des modèle double vitrage haute performance	726 640 €	/
Isolation par l'extérieur	460 500 €	/

Avantages / inconvénients :

- ✓ Baisse importante de la consommation liée au chauffage (supérieure au scénario 1A)
- ✓ Amélioration importante du confort lié aux températures de parois
- ✓ Amélioration du confort acoustique (meilleure atténuation du bruit par les huisseries)
- ✗ Nécessite des travaux importants (échafaudage extérieur, protections hors eau temporaire), une évacuation totale du site le temps des travaux sera à prévoir.
- ✗ Selon l'aménagement des bureaux, un besoin complémentaire en éclairage artificiel peut être nécessaire.

6.2. RECAPITULATIF DES RESULTATS

Situation initiale	Consommation	Détail			TOTAL
		Electricité (chauffage)	Electricité (autre)	Gaz	
Chauffage [kWh/an]	577 732			577 732	
Autres consommations [kWh/an]	34 000		34 000		
TOTAL kWh	611 732	-	34 000	577 732	611 732
TOTAL Eq CO2		-	2 176	131 145	133 321
TOTAL €HT		- €	5 780,00 €	57 773,20 €	63 553,20 €

Après travaux	Consommation	Détail			TOTAL	% d'économies
		Electricité (chauffage)	Electricité (autre)	Gaz		
Chauffage [kWh/an]	327 060			327 060		43,4%
Autres consommations [kWh/an]	34 000		34 000			0,0%
TOTAL kWh	361 060	-	34 000	327 060	361 060	41,0%
TOTAL Eq CO2		-	2 176	74 243	76 419	42,7%
TOTAL €HT		- €	5 780,00 €	32 706,03 €	38 486,03 €	39,4%

Gain énergétique [%]	-41,0%
Gain énergétique [kWh/an]	250 672
Ratio [kWh/m².an]	141,7
Gain financier [€HT/an]	25 067,17 €
Investissement [€HT]	1 187 140,00 €
Temps de retour sur investissement [an]	47,36
Estimations des CEE [€HT]	20 981,73 €
TRI avec CEE [an]	46,52

Consommations énergie "référence" en kWEF/an	611 732
Consommations énergie "cible" en kWEF/an	361 060
Gain énergétique attendu à la livraison en kWEF/an	250 672
Gain énergétique attendu à la livraison en %	-41,0%
Emission de gaz à effet de serre initiale en kg eqCO2/an	133 321
Emission de gaz à effet de serre à la livraison en kg eqCO2/an	76 419
Economie de gaz à effet de serre en kg eqCO2/an	56 902
Economie de gaz à effet de serre en %	-42,7%

7. SCENARIO 2A : REMPLACEMENT DU CHAUFFAGE / CENTRALES D'AIR

7.1. GENERALITES

Ce scénario comprend le changement du système de chauffage actuel (chaudière gaz de 300 kW) par un système de chauffage par pompe à chaleur. Ce système a pour avantage de réduire fortement les consommations du site, en bénéficiant du coefficient de performance des pompes à chaleurs (1 kWh d'électricité permet de fournir environ 3 kWh de chauffage).

Ce scénario comprend également la mise en place d'une centrale d'air double flux permettant une économie de chauffage importante sur la ventilation (de l'ordre de 70% / 80%). Cette solution permet de mieux gérer le renouvellement d'air du site, et remplace l'amenée d'air neuf via des ouvertures au niveau des fenêtres.

La distribution de l'air peut être réalisée en réutilisant la colonne montante abritant actuellement la cheminée de la chaudière.

Hypothèses :

- Coefficient de transmission moyen retenu pour les nouvelles fenêtres : 1,5 W/m².K (entre 2,5 et 6 actuellement), légèrement meilleur que pour le scénario 1, car ne disposant pas d'entrées d'air neuf.
- COP retenu en mode chauffage : 2.5
- Centrale d'air 800 m³/h (augmentation du débit actuel) avec récupération par échangeur à plaque (efficacité 75%)

Coûts estimatifs :

Descriptif	Investissement [€HT]	Détails
Remplacement des fenêtres du site par des modèle double vitrage haute performance	726 640 €	/
Travaux d'installation de pompes à chaleur + aérocondenseurs, adaptation des réseaux, et des terminaux.	250 000 €	/
Mise en place d'une centrale d'air 800 m ³ /h + déploiement de gaines aérauliques pour chaque étage	50 000 €	Ce montant remplacerait le montant prévu en GER pour le même poste

Avantages / inconvénients :

- ✓ Baisse importante de la consommation liée au chauffage
- ✓ Baisse importante des émissions de CO₂ (décarbonation du chauffage)
- ✓ Amélioration du confort lié aux températures de parois
- ✗ Travaux très importants impactant les utilisateurs du site. Une organisation de travaux en site occupé sera à mettre en place.

7.2. RECAPITULATIF DES RESULTATS

Situation initiale	Consommation	Détail			TOTAL
Chauffage [kWh/an]	577 732	Electricité (chauffage)	Electricité (autre)	Gaz	
Autres consommations [kWh/an]	34 000		34 000	577 732	
TOTAL kWh	611 732	-	34 000	577 732	611 732
TOTAL Eq CO2		-	2 176	131 145	133 321
TOTAL €HT		- €	5 780,00 €	57 773,20 €	63 553,20 €

Après travaux	Consommation	Détail			TOTAL	% d'économies
Chauffage [kWh/an]	319 620	Electricité (chauffage)	Electricité (autre)	Gaz		77,9%
Autres consommations [kWh/an]	36 700	127 848	34 000			-7,9%
TOTAL kWh	356 320	130 548	34 000	-	164 548	73,1%
TOTAL Eq CO2		10 313	2 176	-	12 489	90,6%
TOTAL €HT		22 193,16 €	5 780,00 €	- €	27 973,16 €	56,0%

Gain énergétique [%]	-73,1%
Gain énergétique [kWh/an]	447 184
Ratio [kWh/m².an]	64,6
Gain financier [€HT/an]	35 580,04 €
Investissement [€HT]	1 026 640,00 €
Temps de retour sur investissement [an]	28,85
Estimations des CEE [€HT]	27 449,73 €
TRI avec CEE [an]	28,08

Consommations énergie "référence" en kWEF/an	611 732
Consommations énergie "cible" en kWEF/an	356 320
Gain énergétique attendu à la livraison en kWEF/an	255 412
Gain énergétique attendu à la livraison en %	-73,1%
Emission de gaz à effet de serre initiale en kg eqCO2/an	133 321
Emission de gaz à effet de serre à la livraison en kg eqCO2/an	12 489
Economie de gaz à effet de serre en kg eqCO2/an	120 832
Economie de gaz à effet de serre en %	-90,6%

8. SCENARIO 2B : VARIANTE ISOLATION

8.1. GENERALITES

Ce scénario reprend le scénario 2A, et y ajoute une isolation par l'extérieure, avec les mêmes propriétés que le scénario 1B. Il s'agit d'un scénario visant à maximiser l'efficacité énergétique du bâtiment, les besoins en chauffage étant fortement diminués, et la production de cette chaleur étant plus efficiente.

Hypothèses :

- Coefficient de transmission moyen retenu pour les nouvelles fenêtres : 1,5 W/m².K (entre 2,5 et 6 actuellement), légèrement meilleur que pour le scénario 1, car ne disposant pas d'entrées d'air neuf.
- Coefficient de transmission retenu pour les parois isolées par l'extérieur :
 - Les parois M01 ont une nouvelle résistance de : 2,74 m².K/W
 - Les murs M02 ont une nouvelle résistance de : 2,67 m².K/W
 - Les ponts thermiques des planchers intermédiaires sont réduits à Psi = 0,07.
- COP retenu en mode chauffage : 2.8 (meilleur COP grâce à l'isolation du bâtiment).
- Centrale d'air 800 m³/h (augmentation du débit actuel) avec récupération par échangeur à plaque (efficacité 75%)

Coûts estimatifs :

Remplacement des fenêtres du site par des modèle double vitrage haute performance	726 640 €	/
Travaux d'installation de pompes à chaleur + aérocondenseurs, adaptation des réseaux, et des terminaux.	200 000 €	Puissance nécessaire inférieure au scénario 2A
Mise en place d'une centrale d'air 800 m ³ /h + déploiement de gaines aérauliques pour chaque étage	50 000 €	Ce montant remplacerait le montant prévu en GER pour le même poste
Isolation par l'extérieur	460 500 €	

Avantages / inconvénients :

- ✓ Baisse importante de la consommation liée au chauffage
 - ✓ Baisse importante des émissions de CO₂ (décarbonation du chauffage)
 - ✓ Amélioration importante du confort lié aux températures de parois
 - ✓ Amélioration du confort acoustique (meilleure atténuation du bruit par les huisseries)
- ✗ Travaux très importants impactant les utilisateurs du site. Une organisation de travaux en site occupé sera à mettre en place.

8.2. RECAPITULATIF DES RESULTATS

Situation initiale	Consommation	Détail			TOTAL
		Electricité (chauffage)	Electricité (autre)	Gaz	
Chauffage [kWh/an]	577 732			577 732	
Autres consommations [kWh/an]	34 000		34 000		
TOTAL kWh	611 732	-	34 000	577 732	611 732
TOTAL Eq CO2		-	2 176	131 145	133 321
TOTAL €HT		- €	5 780,00 €	57 773,20 €	63 553,20 €

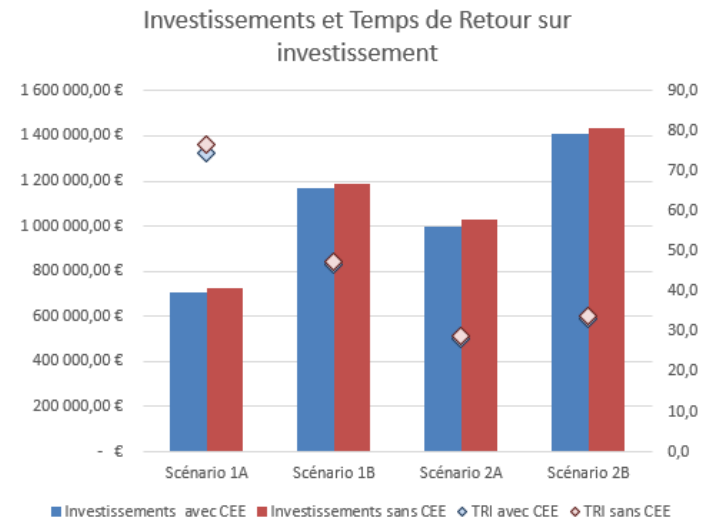
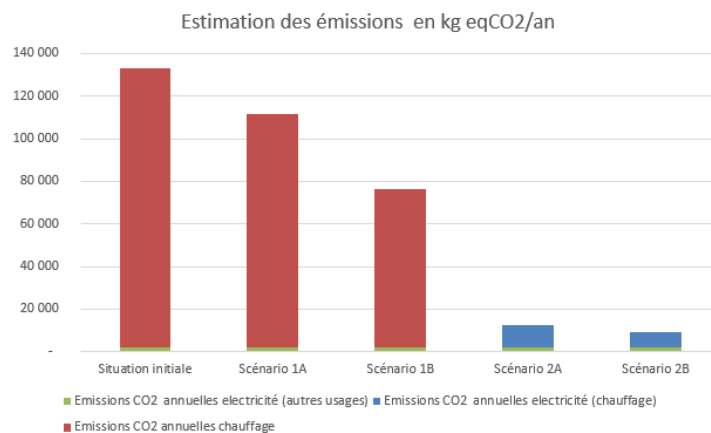
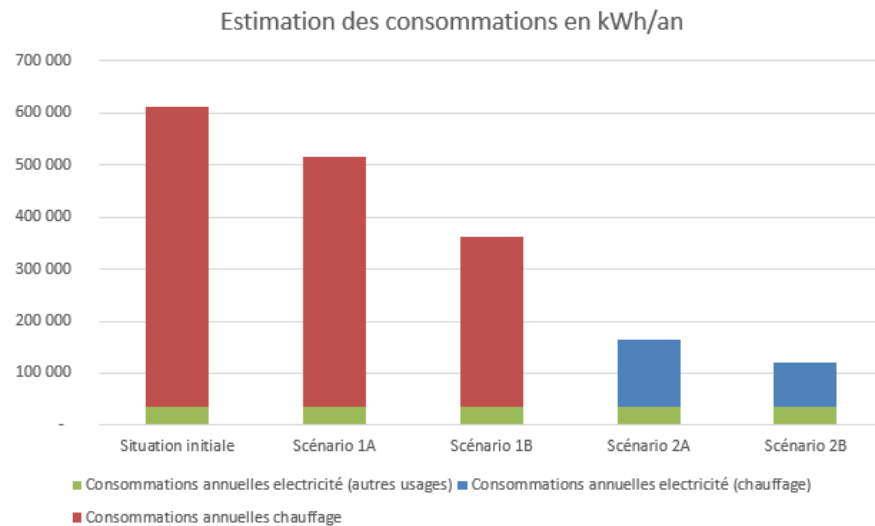
Après travaux	Consommation	Détail			TOTAL	% d'économies
		Electricité (chauffage)	Electricité (autre)	Gaz		
Chauffage [kWh/an]	241 633	86 297				85,1%
Autres consommations [kWh/an]	36 700	2 700	34 000			-7,9%
TOTAL kWh	278 333	88 997	34 000	-	122 997	79,9%
TOTAL Eq CO2		7 031	2 176	-	9 207	93,1%
TOTAL €HT		15 129,56 €	5 780,00 €	- €	20 909,56 €	67,1%

Gain énergétique [%]	-79,9%
Gain énergétique [kWh/an]	488 735
Ratio [kWh/m².an]	48,3
Gain financier [€HT/an]	42 643,64 €
Investissement [€HT]	1 437 140,00 €
Temps de retour sur investissement [an]	33,70
Estimations des CEE [€HT]	27 449,73 €
TRI avec CEE [an]	33,06

Consommations énergie "référence" en kWEF/an	611 732
Consommations énergie "cible" en kWEF/an	278 333
Gain énergétique attendu à la livraison en kWEF/an	333 399
Gain énergétique attendu à la livraison en %	-79,9%
Emission de gaz à effet de serre initiale en kg eqCO2/an	133 321
Emission de gaz à effet de serre à la livraison en kg eqCO2/an	9 207
Economie de gaz à effet de serre en kg eqCO2/an	124 114
Economie de gaz à effet de serre en %	-93,1%

9. SYNTHÈSE DES RESULTATS

Les graphiques suivants récapitulent les investissements et gains prévus pour chaque scénario :



Le seul remplacement des huisseries (scénario 1A) permet un gain en confort important, mais reste limité en termes de gain d'énergie (15%) ou de CO₂ (16%). Le temps de retour (75 ans) seul ne permet pas de rendre le projet viable. Toutefois, cette amélioration de l'isolation permet la baisse importante de la puissance nécessaire pour le chauffage, ce qui permet la mise en place d'une pompe à chaleur. Cette solution (scénario 2A) permet une décarbonation forte du chauffage du bâtiment, et une réduction importante des consommations du site. Les gains énergétique (73%) et CO₂ (91%) sont conséquents. L'ajout d'une isolation thermique par l'extérieure (scénarios 1B et 2B) améliorent d'avantage les économies réalisées et les temps de retours sur investissement, ces surfaces étant réduites comparées aux surfaces vitrées.

Ces gains doivent cependant être nuancés, les consommations électriques actuelles du site sont très basses, et ne représentent pas les consommations standard d'un site de bureau de cette surface.