



**MINISTÈRE
CHARGÉ
DES TRANSPORTS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



direction
générale
de l'Aviation
civile

PLATE-FORME AÉROPORTUAIRE DE NANTES ATLANTIQUE

**Diagnostic énergétique des bâtiments de la bulle Etat
pour la réduction de la consommation énergétique
COMPLEMENTS DU DIAGNOSTIC de 2018**



Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	Mai 2018	Version pour relecture interne
2	Juin 2018	Version transmise au pôle de Nantes
3	Juin 2018	Version plan d'actions avec échéances
4	Mars 2019	Version remise à jour
5	Avril 2019	Version remise à jour avec isolation toiture terrasse DGAC
6	Juin 2024	Version remise à jour suite à l'inflation et les travaux du bloc technique en cours

Version du modèle

1.0

Affaire suivie par**MOLLARD Adeline** - SNIA / BAT

Tél. : 06 24 56 41 10

Courriel : adeline.mollard@aviation-civile.gouv.fr**Rédacteur****MOLLARD Adeline** - SNIA / BAT (Ingénieure CVC)**Vérificateur****BAKHTAOUI Abdebrhane** - SNIA / BAT (Ingénieur CVC)**Valdateur****JOURDAIN Stéphane** - SNIA / BAT (Chef de département bâtiment)**Lien réseau**

U:\Super_U\5-BAT\01_PROJETS_BAT\NTE(NantesAtl)\NTE_Energie\2024_COMPLEMENTS DIAG

RESUME

Ce diagnostic de l'enveloppe thermique et des équipements de génie climatique s'intéresse à la bulle Etat de l'aéroport de Nantes-Atlantique. La bulle Etat inclut la tour de contrôle de Nantes-Atlantique et son bloc technique (1992), le bâtiment DGAC (1998), le bâtiment ST-SE (2002), les extensions du bloc technique (2008-2022) et le bâtiment Direction SNA-O (2009).

La réalisation d'une simulation thermique dynamique a pallié l'absence de comptages en donnant une estimation des principaux postes de consommation. L'étude a conduit à l'identification de propositions d'actions. Le plan d'action comporte de nombreuses opérations à faible coût pour améliorer le pilotage et l'utilisation des équipements. Il prévoit également des actions avec des investissements plus importants.

Le montant des travaux pour l'ensemble des actions s'élève à **2,9M€HT**. Les travaux ne prennent pas en compte les installations de chantier, les assistances diverses, les études, les sondages...

Les calculs d'économie financières sont calculés à partir des factures énergétiques du bâtiment 1 de 2023. En 2023, les fluides coûtaient 217€TTC/MWh électrique et 86€TTC/MWh gaz.

Actions bâtiment 1 – DGAC 1998	Coût (k€HT)	Economie / an	
		MWh	k€TTC
Optimisation des réglages de la chaufferie Modification de la loi d'eau, des consignes de température, des plages horaires et l'ajout d'un hors gel.	0	13 gaz	1,1
Optimisation des températures de consigne Réhausse des locaux informatiques à 23°C.	0	7 élec	1,5
Remplacement des menuiseries Remplacement des menuiseries tunnels par des menuiseries en applique.	400	8 gaz	0,7
Remplacement de l'isolant extérieur et du bardage. Fourniture et pose d'un nouveau bardage.	350	5 gaz	0,4
Isolation des parois verticales Isolation des murs en contact avec des volumes non chauffé (chaufferie par exemple).	10	0.5 gaz	0,0
Création d'une ventilation mécanique double-flux Remplacer la ventilation simple flux par une ventilation double flux et réévaluer les débits pour répondre au besoin du bâtiment actuel.	240	2 élec	0,4
Remplacement de la chaudière Remplacement de la chaudière par un autre type de production (chaudière à condensation gaz ou pompe à chaleur); mise en œuvre d'une régulation permettant une loi d'eau et des plages horaires pour le réduit.	300	15 gaz*	1,3
	1 300		

Les calculs d'économie financières pour les bâtiments 2 à 5 sont calculés à partir de l'hypothèse de 0.367€HT/kWh.

Actions bâtiment 2 – SNAO 2009	Coût (k€HT)	Economie / an	
		MWh	k€HT
Pilotage des équipements de chauffage/climatisation Mise en place de planning horaire pour des coupures automatiques.	15	6,5 élec	2,4
Remplacement des menuiseries des coursives Remplacement des fenêtres simple vitrage alu des couloirs entre la salle de réunion et l'espace bureau et entre la salle de réunion et le bâtiment 2002, par des menuiseries répondant à la RT par élément.	40	2 élec	0,7
Création d'une ventilation mécanique double-flux Une ventilation double-flux permettra de récupérer la chaleur produite dans le bâtiment tout en assurant un bon renouvellement de l'air.	90	0	0
	145		

Actions bâtiment 3 – ST/SE 2002	Coût (k€HT)	Economie / an	
		MWh	k€HT
Création d'une ventilation mécanique double-flux et remplacement des émetteurs de chaleur Le bâtiment étant déjà ventilé dans sa totalité par de simple caisson d'extraction, la création d'une ventilation double flux semble toute justifiée. En effet, celle-ci permettra de récupérer la chaleur produite dans le bâtiment tout en assurant un bon renouvellement de l'air. A cette occasion, les débits de ventilation devront être réévalués pour répondre au besoin du bâtiment actuel. Remplacement des convecteurs électrique par des systèmes utilisant la future production (2024-2025) d'eau chaude. Ces deux items sont regroupés ensemble pour mutualiser les déposes / repose de faux plafond.	500	15 élec	9,9
Remplacement des menuiseries Est (en lieu et place) Remplacement des fenêtres doubles vitrage alu par des menuiseries répondant à la RT par élément et pour palier le problème de déformation de la menuiserie dû au poids des ouvrants.	100	5 élec	2,4
Remplacement des autres menuiseries Remplacement des fenêtres doubles vitrage alu par des menuiseries répondant à la RT par élément et pour palier le problème de déformation de la menuiserie dû au poids des ouvrants. Remplacement des portes métalliques non isolées par des ouvrants de performances supérieures.	100	4 élec	2,0
Remplacement des luminaires et contrôle des luminaires Remplacement des luminaires par du LED. Des détecteurs de présence dans les circulations et des variateurs de lumière en fonction de l'éclairage naturel doivent être mis en place pour les bureaux.	80	1 élec	0,4
Isolation des toitures Les 6cm de Styrodur doivent être remplacés par 6cm de mousse de polyuréthane (ou équivalent atteignant la RT par éléments). A cette occasion, la réfection de l'étanchéité pourra être réalisée.	240	4 élec	1,8
	1 020		

Actions bâtiment 4 – Tour de contrôle et bloc technique	Coût (k€HT)	Economie / an	
		MWh	k€HT
Remplacement des menuiseries inclinées de l'ensemble du RDC et traitement des ponts thermiques par l'intérieur. Remplacement des fenêtres doubles vitrage alu (4/12/4) sans rupteur de pont thermique. Lors du remplacement des menuiseries inclinées au RDC, il est nécessaire de traiter le pont thermique en périphérie de celles-ci et des poteaux béton. Ce traitement peut être réalisé par une reprise de l'isolation par l'intérieure.	280	12 élec	4,4
Isolation des planchers Reprise de l'isolation des planchers de la salle technique sous vigie et de la sous vigie insuffisante (nécessite une étude plus poussée à cause du travail en hauteur).	160	8 élec	2,9
	440		

Actions bâtiment 5 – extensions bloc technique (2008-2022)	Coût (k€HT)	Economie / an	
		MWh	k€HT
Remplacement de la porte métallique Remplacement de la porte métallique non isolée par des ouvrants de performances supérieures répondant à la RT par élément. Nota : nécessite la modification du contrôle d'accès	20	1 élec	0,4
	20		

Les gains énergétiques liés aux installations ne seront effectifs que s'ils s'accompagnent d'une prise en compte rigoureuse de l'efficacité énergétique dans l'exploitation et l'utilisation du bâtiment. Dans ce but le plan d'action prévoit l'instauration d'un système de management basé sur la désignation d'un responsable énergie et sur la mise en place d'un système de sous-comptage.

SOMMAIRE

1	Présentation de l'opération	9
1.1	La commande et le projet immobilier du site	9
1.2	Acteurs du projet et leurs rôles	9
1.3	Mission du département SNIA/BAT	9
1.1	Données disponibles	10
1.4	Contenu du rapport	10
2	Présentation du site	11
2.1	Identification des bâtiments	11
2.2	Services occupants	12
2.3	Consommations et dépenses en énergie	12
1.2	Décret Eco Energie Tertiaire du 23 Juillet 2019	14
1.3	Décret BACS	15
3	Bâtiment 1 - DGAC 1998	16
3.1	Enveloppe du bâtiment	16
3.2	Equipements de génie climatique	21
3.3	Exploitation du site	25
3.4	Bilan énergétique	26
3.5	Estimation du coût et impact énergétique des travaux	28
4	Bâtiment 2 - SNA-O 2009	29
4.1	Enveloppe du bâtiment	29
4.2	Equipements de génie climatique	32
4.3	Exploitation du site	33
4.4	Bilan énergétique	34
4.5	Estimation du coût et impact énergétique des travaux	35
5	Bâtiment 3 - ST-SE 2002	36
5.1	Enveloppe du bâtiment	36

5.2 Equipements de génie climatique	39
5.3 Exploitation du site	41
5.4 Bilan énergétique	44
5.5 Estimation du coût et impact énergétique des travaux	45
6 Bâtiment 4 - Tour de contrôle et bloc technique	46
6.1 Enveloppe du bâtiment	46
6.2 Equipements de génie climatique	51
6.3 Exploitation du site	54
6.4 Bilan énergétique	55
6.5 Estimation du coût et impact énergétique des travaux	57
7 Bâtiment 5 - Extensions bloc technique (2008-2022)	58
7.1 Enveloppe du bâtiment	58
7.2 Equipements de génie climatique	61
7.3 Exploitation du site	63
7.4 Bilan énergétique	64
7.5 Estimation du coût et impact énergétique des travaux	64

Figure 1 - Vue globale des bâtiments sur la plateforme aéroportuaire	11
Figure 2 - Identification des bâtiments	12
Figure 3 - Simulation thermique dynamique sur Pléiades	13
Figure 4 - Consommation électrique de la bulle Etat par bâtiment et par poste de consommation.....	13
Figure 5 - Consommation électrique de la bulle Etat par bâtiment et par poste de consommation.....	14
Figure 6 - Bâtiment DGAC 1998.....	16
Figure 7 - Façade Sud Est du bâtiment DGAC	16
Figure 8 - Simulation thermique dynamique du bâtiment DGAC.....	17
Figure 9 - Calcul des déperditions à travers l'enveloppe.....	17
Figure 10 - Thermographie de la fixation du bardage	17
Figure 11 - Pont thermique autour des menuiseries en tunnels	19
Figure 12 - Thermographie ponts thermiques entraînant de la condensation sur les murs	20
Figure 13 - Joints entre l'ouvrant et le vitrage dégradés	20
Figure 14 - Menuiseries en appliques.....	21
Figure 15 - Chaudière et cheminée de tirage naturel.....	22
Figure 16 – Courbe de consommation gaz au pas de temps journalier	22
Figure 17 - Ballon tampon eau glacée	23
Figure 18 - Ventilateur convecteur alimenté en eau glacée	24
Figure 19 - Soufflage dans un bureau / reprise dans le bureau voisin	24
Figure 20 -Unités extérieures de détente directe climatisant le PC crise.....	25
Figure 21 - Consommation fluide BAT1	26
Figure 22 - Courbe de charge électrique	26
Figure 23 - Répartition des consommations électriques par poste.....	27
Figure 24 - Bâtiment 2009	29
Figure 25 - Bâtiment 2009 vue de la tour de contrôle	29
Figure 26 - Simulation thermique dynamique du bâtiment 2009	30
Figure 27 - Calcul des déperditions à travers l'enveloppe.....	30
Figure 28 - Couloir vitré reliant le bâtiment 2002	31
Figure 29 - Consigne de température à 20°C	32
Figure 30 - Répartition des consommations électriques par poste.....	34
Figure 31 - Bâtiment 2002	36
Figure 32 - Simulation thermique dynamique du bâtiment 2002	36
Figure 33 - Calcul des déperditions à travers l'enveloppe.....	37
Figure 34 - Stores extérieurs de la façade Sud-Est	38
Figure 35 - Stores extérieurs sortant de son rail	38
Figure 36 - Odeurs provenant de la ventilation des sanitaires	40
Figure 37 - Bureau Nord-Est rénové avec système réversibles	41
Figure 38 - Climatisation Airwell	41
Figure 39 - Diffusion d'air climatisé gênée	41

Figure 40 - Eclairage énergivore et non performant du couloir	42
Figure 41 - Répartition des consommations électriques par poste.....	44
Figure 42 - Tour de contrôle et bloc technique.....	46
Figure 43 - Simulation thermique dynamique de la tour de contrôle et du bloc technique.....	46
Figure 44 - Calcul des déperditions à travers l'enveloppe de la tour de contrôle et du bloc technique	47
Figure 45 – Thermographie infrarouge de double vitrage d'étage intermédiaire de la tour de contrôle ...	49
Figure 46 – Thermographie infrarouge de double vitrage du RDC.....	49
Figure 47 - Thermographie infrarouge de pont thermique au RDC	50
Figure 48 - Thermographie infrarouge de skydôme	50
Figure 49 - Ventilo-convecteur.....	52
Figure 50 – Unités intérieures de secours	53
Figure 51 - Unité extérieure et une boîte de répartition calorifugée pour alimenter 3 unités intérieures ..	53
Figure 52 - Goulotte de protection pour les réseaux de fluide et pénétration pour alimenter une unité intérieure	53
Figure 52 - Répartition des consommations électriques par poste.....	56
Figure 54 - Extension BT à côté du bloc technique avant l'extension de 2022.....	58
Figure 55 - Extension du bloc technique avant l'extension de 2022.....	58
Figure 56 - Simulation thermique dynamique de l'extension de la salle technique (2008).....	59
Figure 57 - Calcul des déperditions à travers l'enveloppe.....	59
Figure 58 - Thermographie d'un pont thermique entre le mur et le sol de la salle supervision	60
Figure 59 - Thermographie des menuiseries aluminium de la salle supervision.....	61
Figure 59 - Ventilo-convecteur relié à l'eau glacée	62
Figure 60 - Ventilo-convecteurs cassettes reliés à l'eau glacée	63
Figure 61 - Répartition des consommations électriques par poste.....	64

1 PRESENTATION DE L'OPERATION

1.1 La commande et le projet immobilier du site

Le SNA (Service de la Navigation Aérienne) Ouest a sollicité le SNIA (Service National d'Ingénierie Aéroportuaire), en début d'année 2018, afin d'établir un diagnostic thermique et proposer une stratégie pour améliorer de façon durable la performance énergétique des bâtiments de la bulle Etat de l'aéroport de Nantes-Atlantique. Le diagnostic a fait l'objet d'un rendu et de plusieurs mises à jour en 2018/2019.

Suite au non-financement par la DSNA du programme 2021 pour la création de nouvelles infrastructures du SNA-O et à la mise en place du SIR Ouest au 1er janvier 2022, le SNIA a été mandaté pour réaliser une note programmatique permettant de déterminer le meilleur compromis d'aménagement au sein du bâti existant de la DGAC sur la « parcelle Etat ». La note programmatique a été livrée au SNA en juillet 2023.

L'opération a été évaluée à **3 254 k€TDC** pour l'intégralité des travaux de réaménagement et de modernisation (valeur juin 2023).

Les travaux mentionnés dans le diagnostic énergétique de 2018 ont pour la plupart été repris dans la note programmatique de 2023. L'objet de cette mise à jour du diagnostic est de réactualiser les prix travaux et les temps de retour sur investissement en fonction de l'inflation.

Le diagnostic avec des préconisations quasi identiques et la note programmatique sont deux documents complémentaires consacrés à l'amélioration durable des performances énergétiques des bâtiments existants et ne sont en aucun cas contradictoires.

1.2 Acteurs du projet et leurs rôles

Acteur	Dénomination
Maître d'ouvrage – MOA	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, Direction Générale de l'Aviation Civile Direction du Service de la Navigation Aérienne
Conducteur d'opération — COP	Service National d'Ingénierie Aéroportuaire, représenté par le Pôle de Nantes
Utilisateurs	SNA-O, SNIA, SIR, SG et DSAC
Maîtrise d'œuvre — MOE	Service National d'Ingénierie Aéroportuaire, département bâtiment

1.3 Mission du département SNIA/BAT

La mission DIAG « génie civil » du bâtiment est réalisée par le SNIA, représenté par le département ingénierie bâtiment (BAT). Il réalise les pièces techniques constituant ce diagnostic.

L'analyse des diverses données recueillies (documents, dialogues avec les services techniques, visites, caméra thermique...) a conduit à l'établissement d'un diagnostic et à l'identification de pistes d'actions. Ces résultats ont été enrichis par une simulation thermique dynamique (STD) qui a permis d'affiner le diagnostic et de quantifier des gains énergétiques.

1.1 Données disponibles

Les documents disponibles pour la réalisation du diagnostic technique sont :

Documents	Analyse
Plan masse du site, plans des niveaux de chaque bâtiment	Sans objet
DOE partiel des bâtiments	Partiel
Consommations énergétiques	Relevé du compteur général de la bulle Etat de 2017 à 2023
Bilan de puissance relevé par le SNA	Sans objet
Diagnostic toiture terrasse bâtiment DGAC	Caduc : des travaux d'isolation et d'étanchéité ont été réalisés depuis la réalisation du diagnostic
Pré-audit de la tour de contrôle et du bloc technique, du bâtiment ST-SE 2002 et du bâtiment DGAC	Sans objet
Rapport de mission & plan d'actions AGILE 2023	Sans objet
Note programmatique : Recoupement des services et amélioration du cadre de vie des bâtiments à vocation tertiaire sur la parcelle Etat nantaise.	Sans objet

Les informations n'ayant pas fait l'objet de transmission ou d'une transmission partielle ont impliqué un relevé sur site dans la limite d'accessibilité des éléments audités, ou une prise d'hypothèses sur la performance des éléments, pour la modélisation énergétique du bâtiment.

Le département Ingénierie Bâtiment du SNIA s'est rendu sur place à plusieurs reprises. Il est à noter que certains éléments n'ont pu être observés pour ce diagnostic, notamment la toiture de la vigie.

1.4 Contenu du rapport

Le rapport contient une présentation de l'ensemble immobilier audité, suivie d'une analyse pour chaque bâtiment selon les axes suivants :

- l'enveloppe des bâtiments ;
- le bilan énergétique ;
- les équipements de génie climatique ;
- les propositions d'actions ;

Les propositions d'actions sont décrites, évaluées sur les gains énergétiques et chiffrées dans une dernière partie.

2 PRESENTATION DU SITE

2.1 Identification des bâtiments

Les bâtiments objets de l'étude appartiennent à un site sécurisé de la plate-forme aéroportuaire de Nantes-Atlantique, auparavant dénommé aéroport de Nantes-Château Bougon. L'aéroport se situe sur les communes de Bouguenais et de Saint-Aignan-Grandlieu au sud-ouest de Nantes. L'aéroport est en zone climatique H2b. La bulle Etat de l'aéroport de Nantes-Atlantique est localisée sur la photo aérienne suivante de la plateforme aéroportuaire :

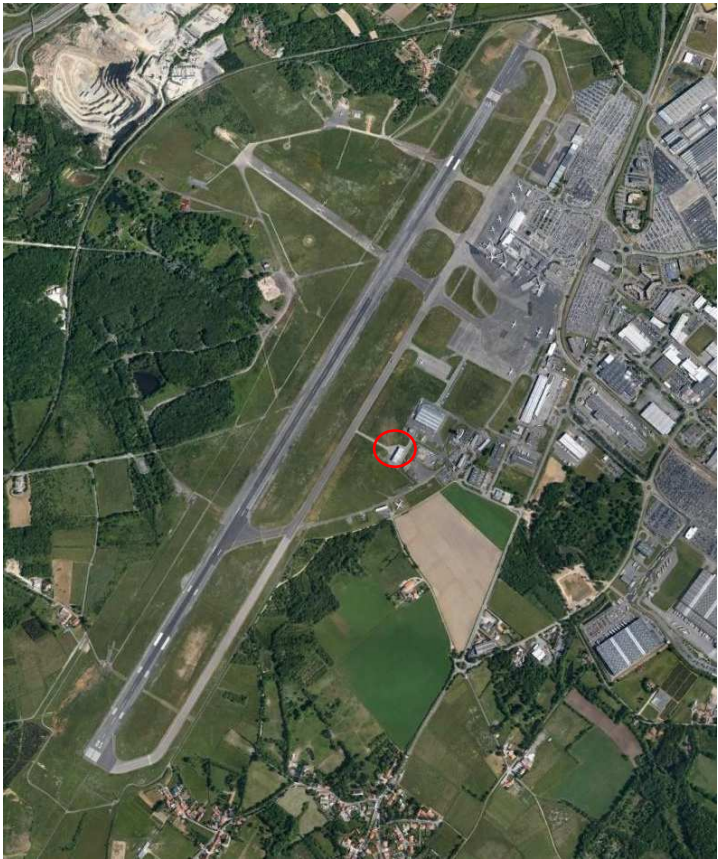


Figure 1 - Vue globale des bâtiments sur la plateforme aéroportuaire

Le site en question, la bulle Etat, est entièrement affecté à la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC). La bulle Etat constitue un ensemble architectural hétérogène conçu à différentes époques entre 1992 et 2009. Le tableau suivant regroupe les surfaces et périodes de construction de ces bâtiments ainsi que les appellations données pour l'établissement du diagnostic thermique.

Bâtiment		Niveaux	SHON (m²)	Date de construction
BAT 1	DGAC	RDC / R+1	1394	1998
BAT 2	SNA-O 2009	RDC	548	2009
BAT 3	ST-SE 2002	RDC	935	2002
BAT 4	TWR + BT	RDC / ST sous vigie / Sous vigie / Vigie	593	1992
BAT 5	Ext BT	RDC	196	2008
	Ext ext BT	RDC	147	2022
	Salles énergie	RDC	≈90	2023
X	Algeco commun	RDC		1997

L'algeco commun n'est pas dans le périmètre de la présente étude. Il s'agit en effet d'une construction provisoire non pérenne.

La photo aérienne suivante facilite le repérage dans la bulle Etat :

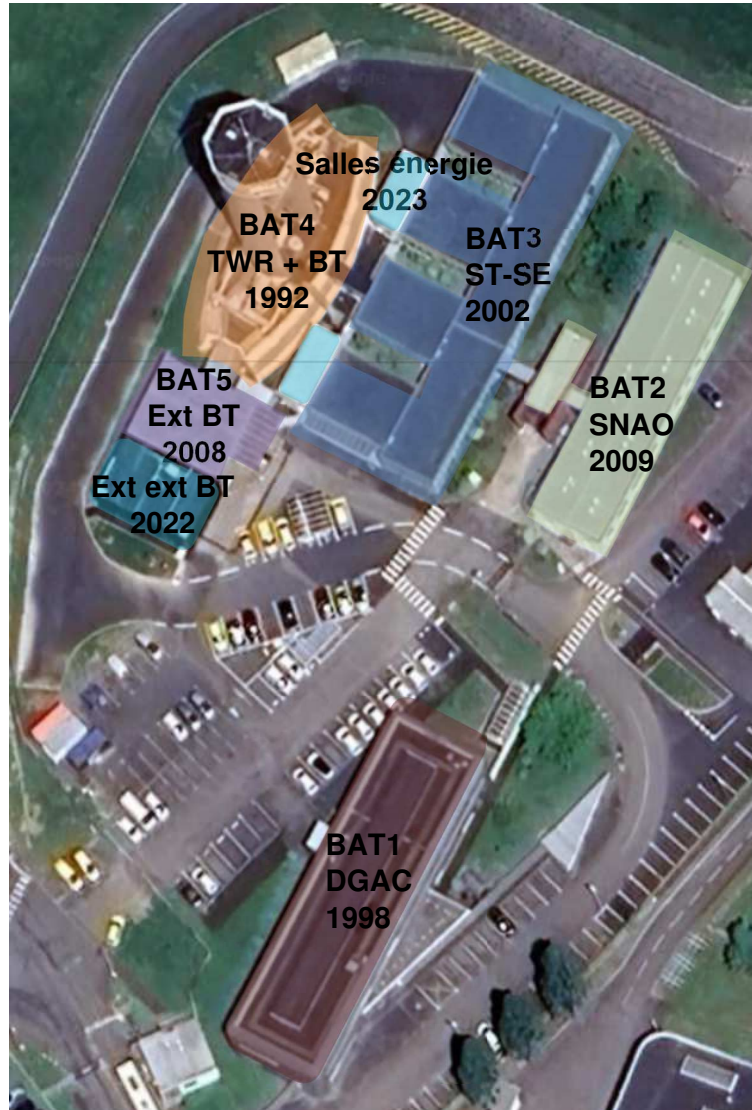


Figure 2 - Identification des bâtiments

2.2 Services occupants

Les effectifs et les services occupants sont décrits dans la note programmatique de juillet 2023.

2.3 Consommations et dépenses en énergie

Le site consomme trois fluides :

- le gaz, qui est utilisé pour le chauffage du bâtiment DGAC ;
- l'eau, pour la fonction sanitaire ;
- l'électricité, qui sert à tous les autres usages énergétiques (chauffage, production de froid nécessaire à la climatisation, fonctionnement des équipements spécifiques, éclairage, production de l'eau chaude sanitaire...).

La connaissance du bilan énergétique, c'est-à-dire la connaissance des consommations par bâtiment et par usage, est une aide à la réalisation du diagnostic énergétique et à l'évaluation des solutions d'amélioration.

Il existe un sous-comptage électrique et gaz pour le bâtiment 1 (DGAC). Les sous compteurs ont été installés en janvier 2024 pour les bâtiments 2 et 3. L'exploitation des données est encore peu fiable (2 mois de relevés).

Pour pallier ce manque d'accès direct et précis aux différents postes de consommation, une simulation thermique dynamique a été réalisée sous le logiciel Pléiades. Les hypothèses de simulation sont précisées dans les chapitres suivants.



Figure 3 - Simulation thermique dynamique sur Pléiades

La simulation thermique pour l'ensemble de la bulle Etat (hors algéco commun), calibrée grâce aux données des sous compteurs, donne une consommation électrique répartie de la manière suivante entre les bâtiments et les différents postes de consommation :

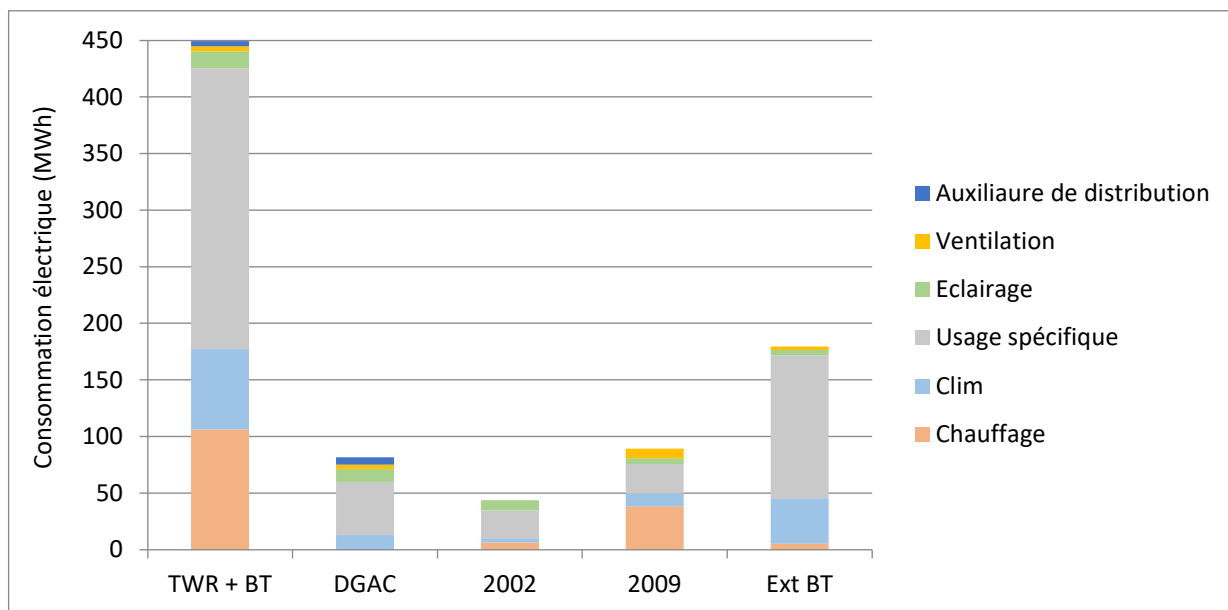


Figure 4 - Consommation électrique de la bulle Etat par bâtiment et par poste de consommation

Pour analyse ces données de consommation, les consommations hors usage spécifique sont ramenées à la surface et en énergie primaire :

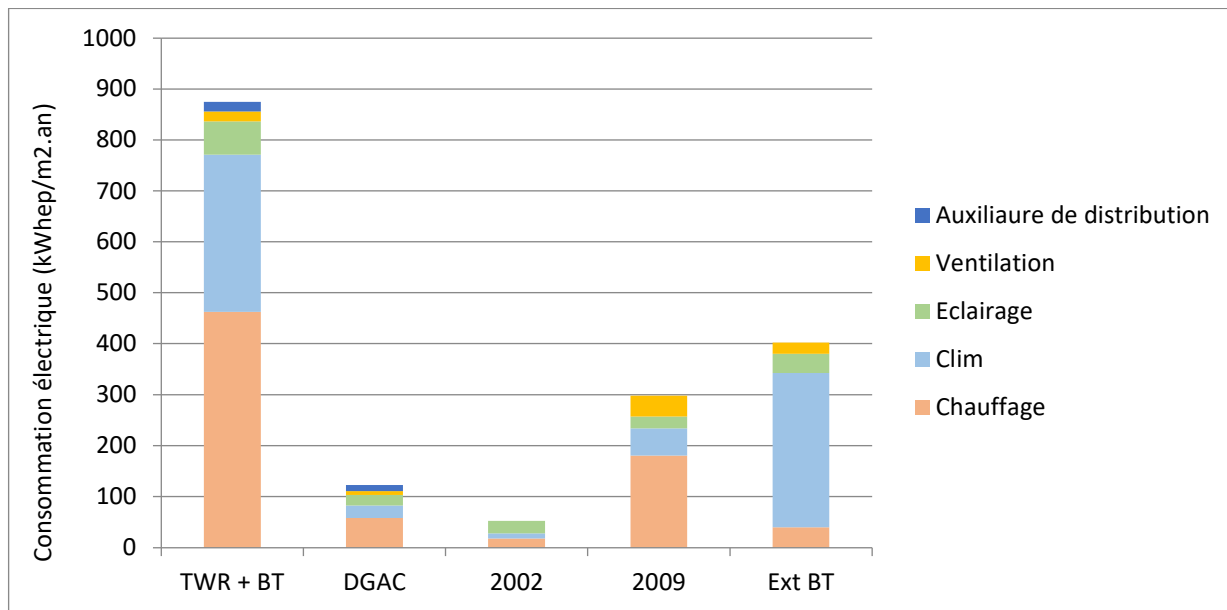


Figure 5 - Consommation électrique de la bulle Etat par bâtiment et par poste de consommation

A titre de comparaison, la réglementation thermique (RT) 2005 limite la consommation énergétique conventionnelle (hors usage spécifique) à 50kWh/m².an. Le seul bâtiment proche de ce seuil est le bâtiment 2002.

1.2 Décret Eco Energie Tertiaire du 23 Juillet 2019

Le décret « Tertiaire » impose la réduction des consommations d'énergie finale de l'ensemble du parc tertiaire d'au moins -40 % en 2030, -50% en 2040 et -60% en 2050.

Cette réglementation concerne toutes les branches du secteur tertiaire, toutes les constructions neuves ou existantes ayant une surface d'activité de plancher supérieure ou égale à 1000 m² avec comme leviers d'actions :

- Amélioration de la performance énergétique du bâtiment via des travaux sur son enveloppe : isolation, menuiserie, protection solaire, etc...,
- Installation d'équipements performants (chauffage, eau chaude, éclairage, etc.) et de dispositifs de contrôle et de gestion active de ces équipements,
- Optimisation de l'exploitation des équipements : contrat d'exploitation avec objectif de résultat, suivi de la gestion active des équipements, etc...,
- Adaptation des locaux à un usage économe en énergie : adaptation de l'éclairage au poste de travail, extinction automatique de l'éclairage et des postes après fermeture, etc...,
- Incitation des occupants à adopter un comportement écoresponsable : réduction du stockage de données informatiques, extinction des équipements, etc...

L'ensemble du site de la bulle état a une surface tertiaire supérieure à 1000 m², il devrait donc répondre aux objectifs de réduction des consommations finales fixés par le décret. **La rénovation des systèmes dans le cadre de la programmation pluriannuelle de travaux doit s'accompagner d'un travail avec les usagers pour amorcer sensiblement la réduction des consommations d'énergie.**

La répartition des bâtiments et/ou zones non assujettis doit faire l'objet d'une étude plus fine.

1.3 Décret BACS

Le décret BACS (20 juillet 2020) pour « Building Automation & Control Systems » détermine les moyens permettant d'atteindre les objectifs de réduction de consommation fixées par le décret tertiaire. Cette norme impose de mettre en place un système d'automatisation, de contrôle des bâtiments et de régulation automatique de la chaleur.

Les bâtiments soumis à cette imposition sont les bâtiments tertiaires non résidentiels, neufs ou existants, si les équipements ont une puissance nominale supérieure à 290 kW (à partir de Janvier 2025) et 70 kW (à partir de Janvier 2027).

Dans le cas d'un bâtiment existant, il est obligatoire de mettre en place une régulation à chaque changement ou installation d'un système technique. L'exemption d'obligation est si ROI > 10 ans.

Dans le cas de la bulle état, aucun système de Gestion Technique du Bâtiment (GTB) n'est en place actuellement pour centraliser la gestion des équipements. Le projet de rénovation CVC en cours (2024-2025) prévoit la mise en place d'une GTC pour le bâtiment 4.

Le site étant assujetti au décret BACS pour le 1er janvier 2027 ; il faudra à terme les raccorder dessus.

3 BATIMENT 1 - DGAC 1998

Le bâtiment a été construit en 1998 et est un ERP de 5^{ème} catégorie.

Surface SHON (m²)	1 394
Surface SHON chauffée (m²)	1 394
Nombre d'étages au-dessus du RDC	1
Nombre de niveaux en sous-sol	0
Volume chauffé (m³)	3 070



Figure 6 - Bâtiment DGAC 1998



Figure 7 - Façade Sud Est du bâtiment DGAC

3.1 Enveloppe du bâtiment

A. Description de l'enveloppe

	Enveloppe du bâtiment
Parois verticales	Parpaing/béton + isolation / bardage métallique
Menuiseries extérieures	Aluminium simple vitrage Aluminium double vitrages
Plancher bas	Plancher béton
Toiture	Toitures terrasses isolées
Infiltration	0.22 vol/h

La RT globale s'applique aux bâtiments construits après 1948 dont le coût des travaux de rénovation « thermique » décidés par le maître d'ouvrage est supérieur à 25% de la valeur hors foncier du bâtiment. **Pour le bâtiment DGAC (1394m²SHON), le seuil d'application de la RT existant globale est fixé à 455k€HT de travaux d'énergie.** En dessous de ce seuil s'applique les exigences de la RT existant par élément. Pour préconiser un plan d'action pour le bâtiment DGAC, nous utiliserons la réglementation thermique existant globale.

Grâce à la simulation thermique dynamique, les déperditions par type de paroi sont calculées.



Figure 8 - Simulation thermique dynamique du bâtiment DGAC

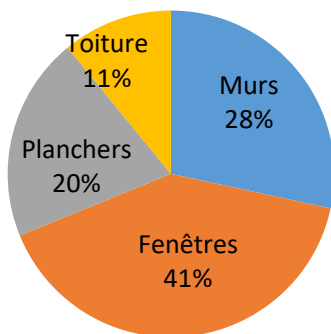


Figure 9 - Calcul des déperditions à travers l'enveloppe

B. Murs

Etat des lieux :

Les murs sont constitués d'un bardage zinc ventilé. Le bardage n'est pas placé directement sur la façade mais posé sur une ossature, ce qui permet à l'air de circuler entre ce parement et le mur extérieur. La lame d'air est de 75mm.

Sur la photo à la caméra thermique ci-dessous, l'ossature du bardage crée des ponts thermiques à l'enveloppe.

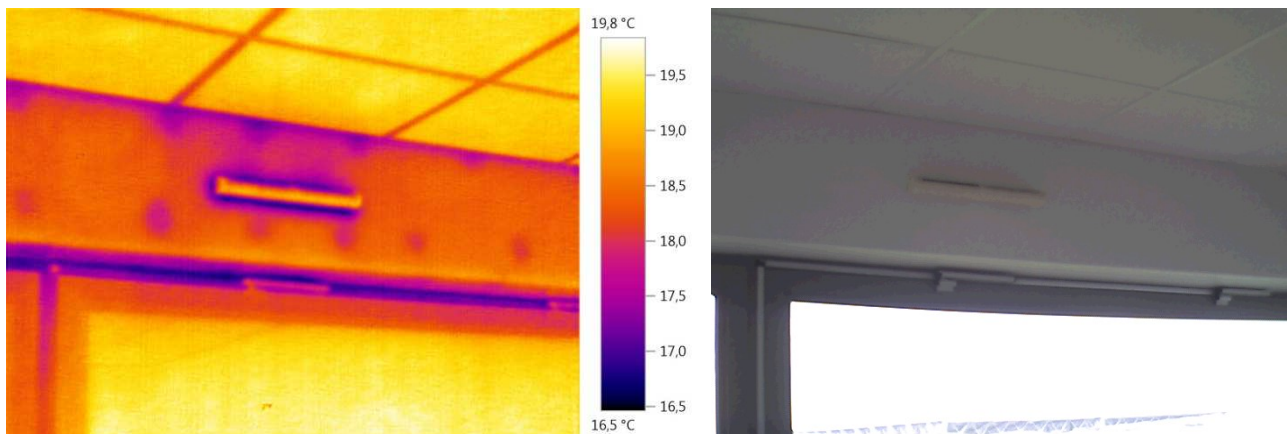


Figure 10 - Thermographie de la fixation du bardage

Le bardage est dégradé ; il a été riveté ponctuellement pour le maintenir en place.

Le mur extérieur a la composition suivante :

Murs	1/he	Parpaing creux	Laine de verre	Placo	1/hi
λ (W/m.K)	/	1.05	0.04	0.35	/
e (cm)	/	20	7.5	1	/
Résistance thermique ($m^2.K/W$)	0.06	0.19	1.83	0.03	0.11
				U (W/m ² /K)	0.45

Certaines parois en contact avec des locaux non chauffés (chaufferie par exemple) ne sont pas isolées.

Analyse :

Le coefficient U de la RT Globale est de 0.36 W/m²/K. Les coefficients de transmission surfacique des murs extérieurs actuels ne respectent pas les maxima demandés par la RT Globale. Les 7.5cm de laine de verre doivent être remplacés par exemple par 7.5cm de mousse polyuréthane rigide ($\lambda=0.025W/m.K$) pour atteindre au minimum la réglementation (si on reste à épaisseur constante).

Dans une moindre mesure, une amélioration de l'isolation des parois opaques peut influencer positivement sur les déperditions thermiques.

Il sera alors nécessaire de déposer le bardage existant et de mettre un nouveau bardage avec un nouvel isolant.

Il est aussi nécessaire d'isoler les parois des locaux en contact avec des volumes non chauffés.

C. Toitures

Etat des lieux :

La toiture est réalisée en deux parties. La toiture centrale est en béton avec une membrane plastique. La terrasse périphérique est en béton avec isolation. Les versions 1 à 4 de ce diagnostic préconisaient en priorité 1 d'isoler la toiture de ce bâtiment. Les relevés d'étanchéité étaient dégradés sur **la toiture périphérique**, la membrane d'étanchéité était abîmée aux endroits où les gravillons sont absents. Le diagnostic toiture terrasse établi en mars 2018 suggérait la réfection complète de l'étanchéité actuelle à un horizon 5 ans. La toiture représentait 43% des déperditions. Par ailleurs, la majeure partie des déperditions était réalisée par la toiture centrale. Selon le DCE, il n'existait pas d'isolation en partie centrale.

L'isolation et l'étanchéité ont été réalisées en septembre 2018 en accord avec les préconisations. L'isolation des acrotères a été réalisée en plus des préconisations. Il a été mis en place une isolation par mousse de polyisocyanurate en toiture périphérique et une isolation en polystyrène expansé entre 9cm et 16.5cm en toiture centrale. Les acrotères ont été isolés avec de la laine de roche.

Toiture terrasse périphérique	1/he	Mousse de polyisocyanurate	Béton armé	1/hi
λ (W/m.K)	/	0.022	1.75	/
e (cm)	/	10	18	/
Résistance thermique ($m^2.K/W$)	0.05	4.50	0.10	0.1
			U (W/m ² /K)	0.21

Toiture terrasse centrale	1/he	Polystyrène expansé	Béton armé	1/hi
λ (W/m.K)	/	0.036	1.75	/
e (cm)	/	13	18	/

Résistance thermique ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$)	0.05	3.6	0.10	0.1
			U ($\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)	0.26

Analyse :

Le coefficient U de la RT Globale est de $0.27 \text{ W}/\text{m}^2/\text{K}$. Avec la nouvelle isolation, les coefficients de transmission surfacique U des toitures actuels sont en dessous des maxima imposés par la RT Globale.

D. Planchers bas**Etat des lieux :**

Le plancher bas sur terre-plein est une dalle de 18cm.

<i>Plancher bas</i>	1/he	Béton armé	1/hi
λ (W/m.K)	/	1.75	/
e (cm)	/	18	/
Résistance thermique (m².K/W)	0.05	0.10	0.17
		U (W/m²/K)	3.13

Analyse :

Le plancher bas sur terre-plein ne peut être amélioré.

E. Menuiseries**Etat des lieux :**

Les menuiseries sont en aluminium avec double vitrage 9/6/8 dans les bureaux et 4/16/4 à la cafétéria. Les menuiseries actuelles ont un facteur solaire de 0.80.

Le défaut majeur du bâtiment est la présence de pont thermique autour des menuiseries tel que représenté sur le schéma ci-dessous :

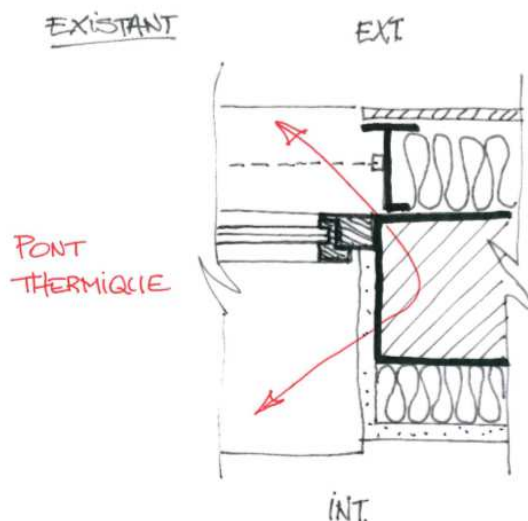


Figure 11 - Pont thermique autour des menuiseries en tunnels

Les autres défauts constatés sont : manque d'étanchéité du montant, dégradation des joints entre l'appui de fenêtre et les menuiseries, dégradation des joints entre l'ouvrant et le vitrage, pente insuffisante pour les bavettes.

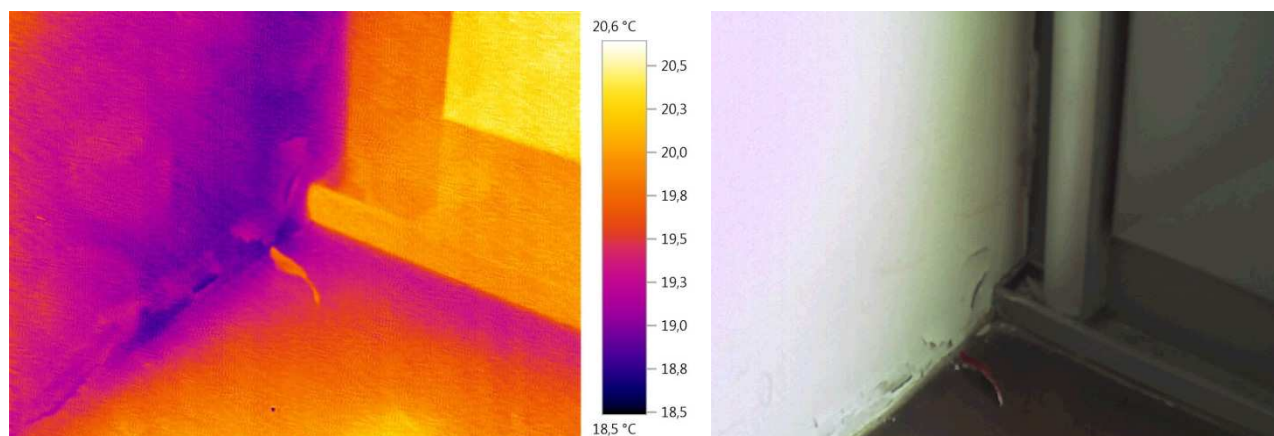


Figure 13 - Joints entre l'ouvrant et le vitrage dégradés

Les menuiseries sont équipées de stores vénitiens extérieur en aluminium motorisés. La commande est manuelle. Ils sont généralement relevés car ils font du bruit avec le vent.

Pour la simulation thermique dynamique les valeurs suivantes sont prises :

	U_w (W/m ² .K)
Fenêtre double vitrage alu (9/6/8)	3.4
Fenêtre double vitrage alu (4/16/4)	3.9
SAS simple vitrage	5

Analyse :

Les menuiseries représentent 27% de la surface des façades déperditives mais permettent 41% des déperditions. Les menuiseries extérieures doivent être remplacées par des menuiseries avec des caractéristiques supérieures (vitrage argon 4/16/4).

Il est nécessaire de ne plus poser les menuiseries en tunnel (création de pont thermique). Les menuiseries doivent être positionnées en applique du mur tel que représenté sur le schéma ci-dessous :

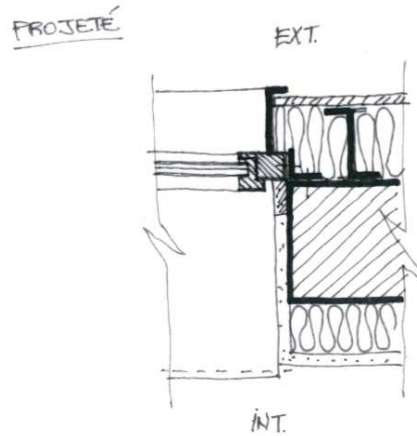


Figure 14 - Menuiseries en appliques

Les menuiseries doivent être à rupture de pont thermique avec un $U_w \leq 1,4 \text{ W/m}^2\text{.K}$. Les vitrages doivent être solaires et thermiques au Sud, Ouest et Est. Les vitrages doivent être thermiques au Nord.

Les performances des vitrages envisagés sont les suivantes :

- Au Sud, Ouest et Est : doubles vitrages solaires 6/16/6 avec lame d'Argon de 90% avec : $S_g \leq 33$ et $TL \geq 61$
- Au Nord : doubles vitrages 6/16/6 avec lame d'Argon de 90% avec : $S_g \leq 37$ et $TL \geq 69$.

Les vitrages devront être équipés de stores intérieurs manuel. La toile des stores intérieurs aura les caractéristiques techniques suivantes : 74 % de réflexion solaire et une émissivité $\leq 10\%$.

Si cela n'est pas réalisable, les joints des menuiseries doivent être à minima changer.

3.2 Equipements de génie climatique

	Equipements
Production de chaleur	Chaufferie gaz
Régulation et distribution	1 circuit régulé avec une vanne 3 voies
Emetteurs de chaleur	Radiateurs aciers avec têtes thermostatiques
Renouvellement d'air	Ventilation mécanique
Production ECS	Ballons électriques
Production de froid	Groupe eau glacée Détente directe
Emetteurs de froid	Ventilo-convecteurs pour les serveurs informatiques, PC crise et des bureaux

A. Chauffage

Etat des lieux :

La production de chaleur du bâtiment est assurée par une chaudière alimentée au gaz naturel. La chaudière est une REMEHA type P200. La puissance nominale de la chaudière est de 250kW. Le brûleur est un CUENOD type C10. Il est de type air soufflé à 2 allures. Le tirage est naturel.



Figure 15 - Chaudière et cheminée de tirage naturel

La chaudière alimente un seul circuit régulé. La régulation se fait par une vanne 3 voies qui est pilotée par une loi d'eau. La loi d'eau est actuellement sur 30°C pour 20°C extérieur et 70°C pour -5°C extérieur.

La chaudière dispose d'un réduct à 18°C et une température de consigne à 21°C. Les plages sont 3h30-19h le lundi et 6h-19h du mardi au vendredi.

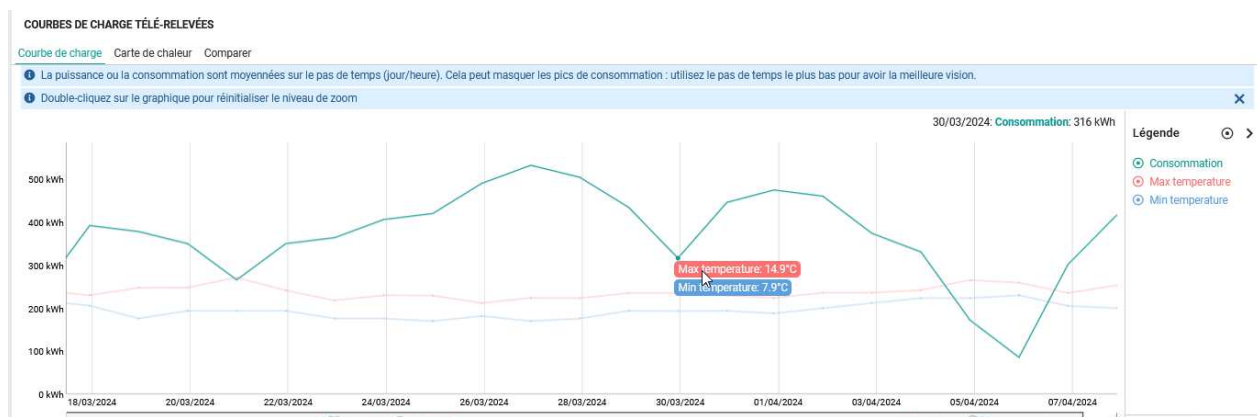


Figure 16 – Courbe de consommation gaz au pas de temps journalier

Le calorifugeage du réseau est globalement en bon état. Il existe quelques points singuliers (vannes, filtres...) qu'on peut isoler par des matelas.

Les radiateurs sont des Finimetal type Reggane et Chorus ; ils sont équipés de robinets thermostatiques. Dans la cafétéria, il y a des convecteurs électriques Atlantic F18.

Analyse :

Par rapport aux besoins de chauffage simulé, la chaudière est bien dimensionnée.

A moindre coût, il est possible d'optimiser la régulation en ajoutant un hors gel le weekend, modifiant les températures de consigne et diminuant les plages de fonctionnement. Selon le plan de sobriété énergétique, la température de consigne est de 19°C occupé et 16°C en réduct. Les plages de fonctionnement à envisager peuvent être 5h30-17h le lundi et 6h-17h.

La chaudière étant de l'époque de la construction ; il faut envisager le remplacement du moyen de production à moyen terme.

Deux options peuvent s'étudier :

- un remplacement par une chaudière à condensation
- un remplacement par une pompe à chaleur.

B. Ventilation

Etat des lieux :

L'apport d'air neuf est réalisé par des entrées d'air dans les bureaux et des grilles d'extraction aldes type BIM 40 relié à un extracteur Aldes VEC. La ventilation mécanique contrôlée fonctionne avec des programmes horaires.

Analyse :

Le bâtiment étant déjà ventilé dans sa totalité par de simple caisson d'extraction, la création d'une ventilation double flux semble toute justifiée. En effet, celle-ci permettra de récupérer la chaleur produite dans le bâtiment tout en assurant un bon renouvellement de l'air. A cette occasion, les débits de ventilation devront être réévalués pour répondre au besoin du bâtiment actuel.

C. Climatisation

Etat des lieux :

La production d'eau glacée est réalisée par un groupe d'eau glacée Ciat RTB-95 de 2009. Le fluide réfrigérant est R-407C. La puissance frigorifique est de 18.5kW.

Le réseau d'eau glacé est composé d'un ballon tampon de 300l. Il date de 1999.



Figure 17 - Ballon tampon eau glacée

Dans les anciennes versions (1 à 4), il était indiqué que le calorifuge du réseau d'eau glacée était en mauvais état. Le calorifugeage du réseau a été rénové ; il est en bon état.

Le réseau d'eau glacée alimente 4 ventilos convecteur MAJOR 333 CH CIAT.



Figure 18 - Ventilo convecteur alimenté en eau glacée

Cependant, un local climatisé a été cloisonné en 4 bureaux. Deux des bureaux ont la reprise et les autres bureaux ont le soufflage. Les grilles de soufflage et reprise n'ont pas été réparties lors du cloisonnement. En pratique les portes sont toujours ouvertes entre locaux ; aucun travaux n'est nécessaire dans ces conditions.



Figure 19 - Soufflage dans un bureau / reprise dans le bureau voisin

Le local PC crise du 1^{er} étage est climatisé à l'aide de deux ventilo convecteurs à détente directe. Ils ont une puissance électrique de 3.5 kW (soit 7kW).



Figure 20 -Unités extérieures de détente directe climatisant le PC crise

Le local serveur est climatisé par une cassette à détente direct DAIKIN. Le fluide réfrigérant est R410A. La puissance frigorifique est 7.1kW.

La consigne de température de la climatisation du local serveur est réglé à 10°C. Le système n'étant pas dimensionné pour atteindre cette température, la température du local est de l'ordre de 18°C.

Analyse :

Les températures de consigne des locaux de process sont trop basses ; elles ne respectent pas les SPEC DGAC. Les locaux informatiques doivent être climatisé à 24°C. Les locaux tertiaires (sauf exception des 4 au RDC) ne sont pas climatisés.

3.3 Exploitation du site

Pour la simulation thermique dynamique, l'effectif du bâtiment DGAC est de 55 personnes aux horaires d'occupation de 8h-18h.

A. Apports internes

État des lieux :

Les apports internes simulés sont :

- les apports conventionnels de la RT pour les bureaux, les circulations et les salles de réunions.
- 25W/m² pour les locaux informatiques.

Analyse :

Une économie d'énergie substantielle peut découler d'une formation des usagers sur des gestes simples comme éteindre les appareils de bureautique, en dehors des heures de travail. Par ailleurs, une horloge peut être raccordée à l'alimentation des photocopieuses.

B. Eclairage

État des lieux :

L'éclairage simulé est réalisé par de la technologie LED avec de la détection de présence et de la gradation.

Analyse :

Sans objet

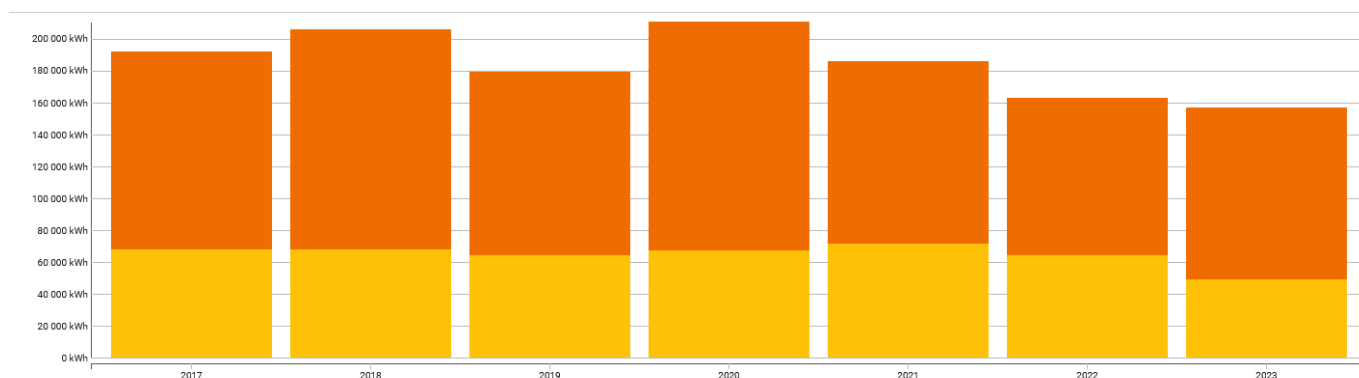
3.4 Bilan énergétique**État des lieux :**

Figure 21 - Consommation fluide BAT1

Les consommations électriques (en jaune) sont globalement constantes depuis 2017 ; elles sont d'environ **67MWh/an**. Les consommations de gaz (en orange) ont été diminuées en 2019 suite à l'isolation de la toiture ; les consommations de gaz en 2020 ont été anormalement hautes. Depuis 2021, la consommation de gaz est stable ; elle est en moyenne de **81MWh/an**.

En étudiant de plus près la courbe de charge électrique, on constate que la courbe de charge n'a pas le profil d'un bâtiment tertiaire. Le talon de consommation est élevé pour un bâtiment tertiaire. Une étude plus fine doit être réalisée.

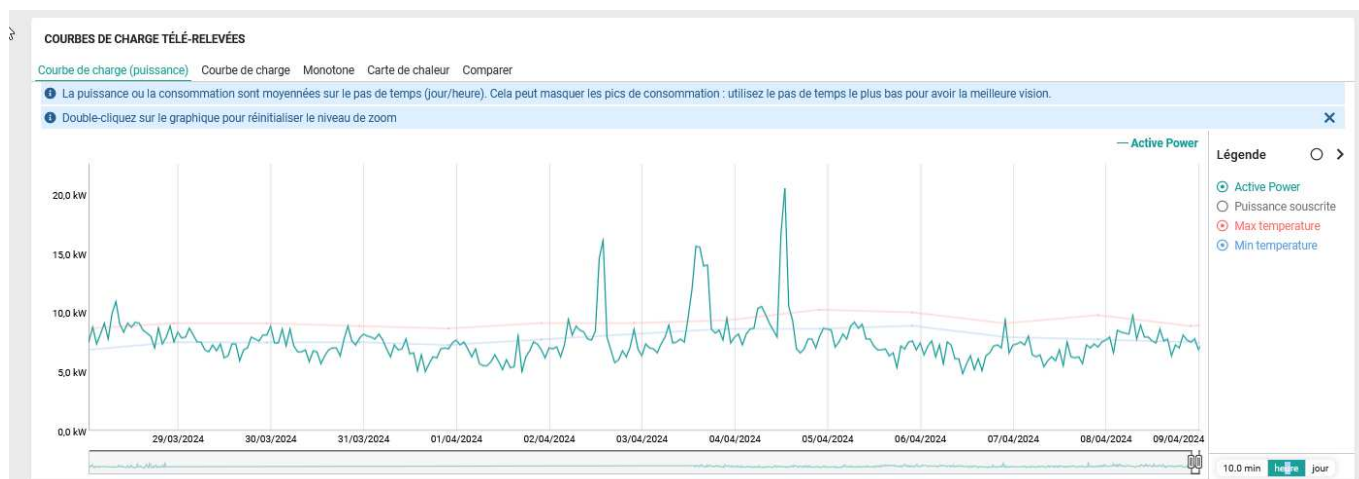


Figure 22 - Courbe de charge électrique

Les consommations annuelles d'électricité et de gaz simulées par STD sont de 68MWh et 84MWh. L'écart par rapport aux relevés est inférieur de 5% ; cela valide les hypothèses prises en compte dans la modélisation du bâtiment existant.

La simulation thermique dynamique du bâtiment DGAC (1998) donne une répartition de la consommation électrique par poste. Cette estimation pourrait être affinée si des sous-compteurs étaient installés.

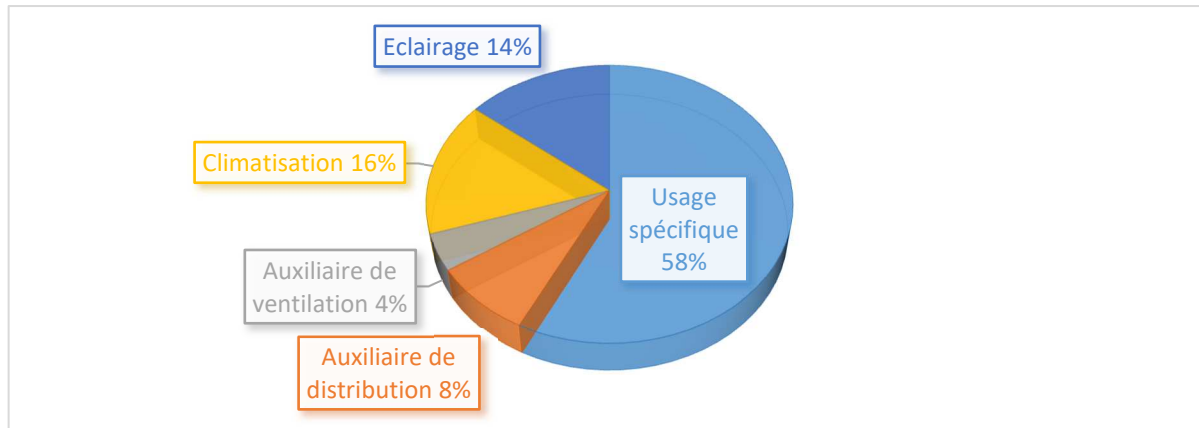


Figure 23 - Répartition des consommations électriques par poste

Analyse :

La majorité des consommations électriques proviennent d'équipements bureautiques du bâtiment DGAC et ne rentrent pas dans les propositions d'améliorations. Cependant, une économie d'énergie peut découler d'une formation des usagers sur des gestes simples comme éteindre les appareils de bureautique, en dehors des heures de travail. Par ailleurs, une horloge peut être raccordée à l'alimentation des photocopieuses.

3.5 Estimation du coût et impact énergétique des travaux

Les calculs d'économie financières sont calculés à partir des factures énergétiques du bâtiment 1 de 2023. En 2023, les fluides coûtaient 217€TTC/MWh électrique et 86€TTC/MWh gaz.

Actions	Coût (k€HT)	Economie / an	
		MWh	k€TTC
Optimisation des réglages de la chaufferie Modification de la loi d'eau, des consignes de température, des plages horaires et l'ajout d'un hors gel.	0	13 gaz	1,1
Optimisation des températures de consigne Réhausse des locaux informatiques à 23°C.	0	7 élec	1,5
Remplacement des menuiseries Remplacement des menuiseries tunnels par des menuiseries en applique.	400	8 gaz	0,7
Remplacement de l'isolant extérieur et du bardage. Fourniture et pose d'un nouveau bardage.	350	5 gaz	0,4
Isolation des parois verticales Isolation des murs en contact avec des volumes non chauffé (chaufferie par exemple).	10	0.5 gaz	0,0
Création d'une ventilation mécanique double-flux Remplacer la ventilation simple flux par une ventilation double flux et réévaluer les débits pour répondre au besoin du bâtiment actuel.	240	2 élec	0,4
Remplacement de la chaudière Remplacement de la chaudière par un autre type de production (chaudière à condensation gaz ou pompe à chaleur); mise en œuvre d'une régulation permettant une loi d'eau et des plages horaires pour le réduit.	300	15 gaz*	1,3
	1 300		

* : les économies sont calculées dans le cas d'un remplacement par une chaudière à condensation gaz

4 BATIMENT 2 - SNA-O 2009

Le bâtiment a été construit en 2009 et est soumis au code du travail.

Surface SHON (m ²)	548
Surface SHON chauffée (m ²)	548
Nombre d'étages au-dessus du RDC	0
Nombre de niveaux en sous-sol	0
Volume chauffé (m ³)	1 425



Figure 24 - Bâtiment 2009

Le bâtiment est un assemblage de préfabriqués.

Le bâtiment est décomposé en deux blocs : un bloc bureaux et circulation et un bloc salle de réunion :



Figure 25 - Bâtiment 2009 vue de la tour de contrôle

4.1 Enveloppe du bâtiment

A. Description de l'enveloppe

	Enveloppe du bâtiment
Parois verticales	Panneaux de façade / laine de roche
Menuiseries extérieures	Aluminium double vitrages 4/16/4 + 85% d'Argon Simple vitrage pour les coursives
Plancher bas	Dalle portée / Isolation en périphérie
Toiture	Panneau Trimoterm / Laine de roche / Lamé d'air / Isolant sur faux plafonds laine de roche / Faux plafond

La surface hors d'œuvre nette étant inférieure à 1000m², les performances de l'enveloppe sont comparées aux valeurs définies par la RT par élément.

Grâce à la simulation thermique dynamique, les déperditions par type de paroi sont calculées.



Figure 26 - Simulation thermique dynamique du bâtiment 2009

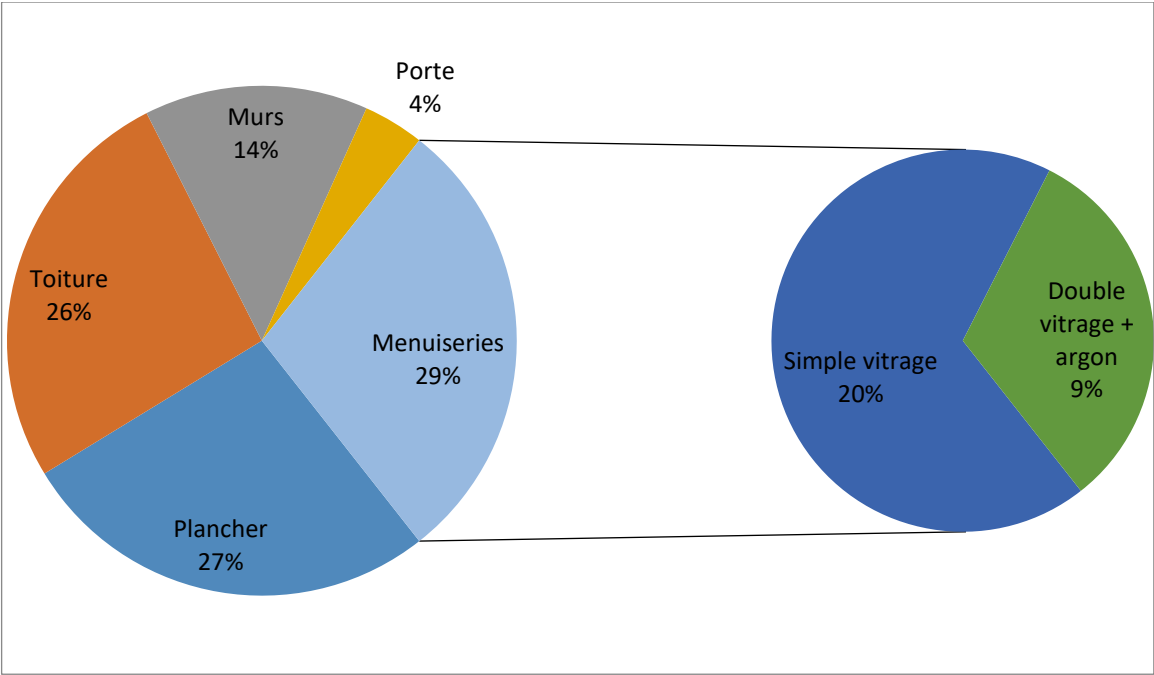


Figure 27 - Calcul des déperditions à travers l'enveloppe

B. Murs
Etat des lieux :

Mur	1/he	Laine de roche	Laine de roche	Laine de roche	1/hi
λ (W/m.K)	/	0.041	0.041	0.041	/
e (cm)	/	9.3	12	6	/
Résistance thermique (m ² .K/W)	0.06	2.27	2.93	1.46	0.11
				U (W/m ² /K)	0.15

Analyse :

La résistance minimale de la RT par élément est de $2.3 \text{ m}^2.\text{K/W}$. La résistance thermique de l'enveloppe est au-delà de l'exigence réglementaire.

C. Toitures**Etat des lieux :**

Le plafond est en laine de verre sur ossature métallique.

Toiture	1/he	Laine de verre	Lame d'air	Feutre I.B.R Rollisol	1/hi
$\lambda \text{ (W/m.K)}$	/	0.045	/	/	/
e (cm)	/	12	30	6	/
Résistance thermique ($\text{m}^2.\text{K/W}$)	0.05	2.67	0.18	1.5	0.1
U ($\text{W/m}^2/\text{K}$)					0.22

Analyse :

La résistance minimale de la RT par élément est de $2.5 \text{ m}^2.\text{K/W}$. La résistance thermique de l'enveloppe est au-delà de l'exigence réglementaire.

Une déperdition linéique de $\psi=0.06 \text{ W/m.K}$.

D. Menuiseries**Etat des lieux :**

Les châssis sont en aluminium MRPT avec des stores intérieurs. L'hypothèse suivante est prise $U_f=3.3 \text{ W/m}^2/\text{K}$. Les vitrages des préfabriqués sont des doubles vitrages 4+16+4 avec 85% d'argon. L'hypothèse est $U_g=1.1 \text{ W/m}^2/\text{K}$.

Pour les fenêtres battantes, les hypothèses sont $U_w=1.85 \text{ W/m}^2/\text{K}$; $U_j=1.85 \text{ W/m}^2/\text{K}$. Le facteur solaire été est de 0.40.

Les vitrages des coursives allant des bureaux à la salle de réunion et de la salle de réunion au bâtiment 2002 sont en simple vitrage.



Figure 28 - Couloir vitré reliant le bâtiment 2002

Analyse :

29% des déperditions sont à travers les vitrages. Par ailleurs, la majeure partie des déperditions est réalisée par le simple vitrage dans les couloirs entre la salle de réunion et l'espace bureau et entre la salle de réunion et le bâtiment 2002. Il est important de noter que le simple vitrage correspond à 34m² de surface contre 54m² pour le double vitrage.

Les menuiseries simple vitrage doivent être remplacées par des menuiseries avec des caractéristiques supérieures (vitrage argon 4/16/4).

4.2 Equipements de génie climatique

	Equipements
Chauffage circulation et sanitaires	Convecteurs électriques thermostat électronique
Chauffage/climatisation	PAC réversible détente directe
Ventilation	Ventilation par ouverture des fenêtres VMC caisson à 0.35W/m ³ dans les sanitaires
Production ECS	Ballons électriques – arrêté (plan de sobriété énergétique)

A. Chauffage/ climatisation

Etat des lieux :

L'ensemble du bâtiment est chauffé / refroidi par des systèmes réversibles. En toiture, il y a 22 unités extérieures.

Il y a 20 unités intérieures murales de puissance froid 2.65kW et 3.6kW de chaud dans les bureaux.

Il y a une unité murale de 3.5kW de puissance froid et 4.2kW de chaud dans le bureau d'étude procédures.

Enfin, il y a une unité murale de 5.15kW de puissance froid et 6.0kW de puissance chaud dans la salle de réunion. Dans la salle de réunion, la consigne est à 20°C en permanence. La climatisation n'étant pas dimensionnée pour cette température ; en été la température de consigne n'est pas atteinte.



Figure 29 - Consigne de température à 20°C

Les unités sont pilotables localement dans chaque bureau par commande manuelle.

Pour finir, les circulations et les sanitaires sont chauffés par des convecteurs électriques. Il y a 3 convecteurs électriques de 2kW dans les circulations et deux de 1kW dans les sanitaires.

Analyse :

Les systèmes sont en état de fonctionnement ; ils sont performants énergétiquement. La seule amélioration envisageable est d'un point de vue des usages. Il faut bien penser à éteindre les systèmes en partant et/ou d'envisager un pilotage en dehors des heures ouvrées.

Avec un pilotage, il serait possible de prévoir une remise en fonctionnement anticipée des installations pour atteindre les températures de confort à l'arrivée des occupants.

B. Ventilation

Etat des lieux :

Des extracteurs sont présents dans les sanitaires.

Il n'y a pas d'extraction ni d'entrées d'air dans les bureaux. Le renouvellement d'air se fait par ouverture des fenêtres.

Analyse :

Dans le cadre de la réglementation, la ventilation des bureaux doit être assurée. La ventilation par ouverture de fenêtre est réglementaire et suffisante.

Si les occupants constatent une gêne et n'ont pas le réflexe d'aérer, une ventilation double flux peut être installée. L'espace en faux plafond n'est pas suffisant ; il faudra envisager des réseaux apparents.

4.3 Exploitation du site

Pour la simulation thermique dynamique, l'effectif du bâtiment 2 est de 28 personnes aux horaires d'occupation de 8h-18h.

A. Apports internes

État des lieux :

Les apports internes simulés sont les apports conventionnels de la RT pour les bureaux, les circulations et les salles de réunions.

Analyse :

Une économie d'énergie substantielle peut découler d'une formation des usagers sur des gestes simples comme éteindre les appareils de bureautique, en dehors des heures de travail. Par ailleurs, une horloge peut être raccordée à l'alimentation des photocopieuses.

B. Eclairage

État des lieux :

L'éclairage de la STD est réalisé par des tubes fluorescents dans les bureaux. Les luminaires 60 x 60 sont des sylvania sylwing R BESS 4 composé de 4 tubes de 14 watts. Il y a 72 luminaires de ce type.

La puissance d'éclairage rapportée au m² de surface éclairée est de 7.5W/m².

Analyse :

La consommation électrique pour l'éclairage calculée par STD pour le site est d'environ **4.6MWh d'électricité par an**. Cette consommation pourrait être affinée si des compteurs étaient installés.

4.4 Bilan énergétique

État des lieux :

L'analyse des sous compteurs d'énergie (janvier et février 2024) montre une consommation mensuelle de 3,4MWh pour tout le bâtiment dont 0,7MWh pour le chauffage/climatisation.

En extrapolant, on peut estimer la consommation à 40MWh annuel dont 8MWh pour le chauffage/climatisation.

La simulation thermique dynamique du bâtiment 2009 donne une répartition de la consommation électrique par poste.

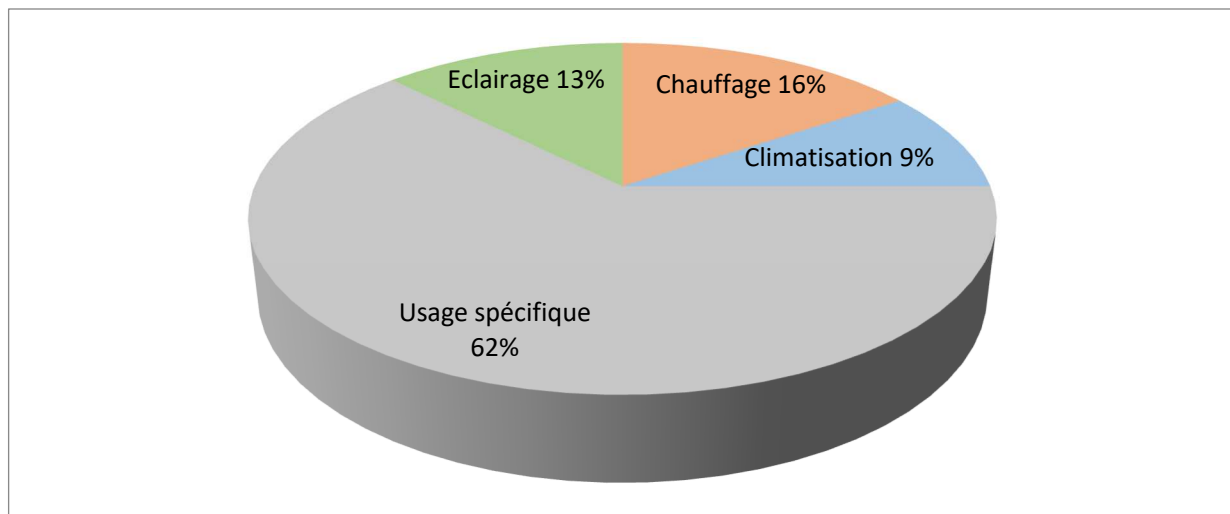


Figure 30 - Répartition des consommations électriques par poste

La consommation annuelle d'électricité simulée par STD est de 42MWh. L'écart par rapport aux relevés est inférieur de 5% ; cela valide les hypothèses prises en compte dans la modélisation du bâtiment existant.

Analyse :

La majorité des consommations électriques proviennent des usages spécifiques ; qui ne rentrent pas dans les propositions d'améliorations. Cependant, une économie d'énergie peut découler d'une formation des usagers sur des gestes simples comme éteindre les appareils de bureautique, en dehors des heures de travail. Par ailleurs, une horloge peut être raccordée à l'alimentation des photocopieuses.

4.5 Estimation du coût et impact énergétique des travaux

Les calculs d'économie financières sont calculés à partir de l'hypothèse de 0.367€HT/kWh.

Actions	Coût (k€HT)	Economie / an	
		MWh	k€HT
Pilotage des équipements de chauffage/climatisation Mise en place de planning horaire pour des coupures automatiques.	15	6,5 élec	2,4
Remplacement des menuiseries des coursives Remplacement des fenêtres simple vitrage alu des couloirs entre la salle de réunion et l'espace bureau et entre la salle de réunion et le bâtiment 2002, par des menuiseries répondant à la RT par élément.	40	2 élec	0,7
Création d'une ventilation mécanique double-flux Une ventilation double-flux permettra de récupérer la chaleur produite dans le bâtiment tout en assurant un bon renouvellement de l'air.	90	0	0
	145		

Avec la proposition d'action énoncée précédemment, aucun impact énergétique n'est notable. Cependant, le confort des occupants est amélioré.

5 BATIMENT 3 - ST-SE 2002

Le bâtiment a été construit en 2001/2002 et est soumis au code du travail.

Surface SHON (m²)	935
Surface SHON chauffée (m²)	935
Nombre d'étages au-dessus du RDC	0
Nombre de niveaux en sous-sol	0
Volume chauffé (m³)	2 992



Figure 31 - Bâtiment 2002

Le bâtiment est « en peigne » avec une galerie (56.10m x 8.70m) dans lequel viennent s'encastrer quatre blocs (13.20m x 10.60m) espacé par des patios. Le bâtiment est relié au hall d'entrée de la tour par un passage couvert.

5.1 Enveloppe du bâtiment

A. Description de l'enveloppe

	Enveloppe du bâtiment
Parois verticales	Parpaing + isolation
Menuiseries extérieures	Aluminium double vitrages
Plancher bas	Plancher béton 20cm / plancher collaborant
Toiture	Toitures terrasses
Infiltration	0.22vol/h

La surface hors d'œuvre nette étant inférieure à 1000m², les performances de l'enveloppe sont comparées aux valeurs définies par la RT par élément.

Grâce à la simulation thermique dynamique, les déperditions par type de paroi sont calculées.

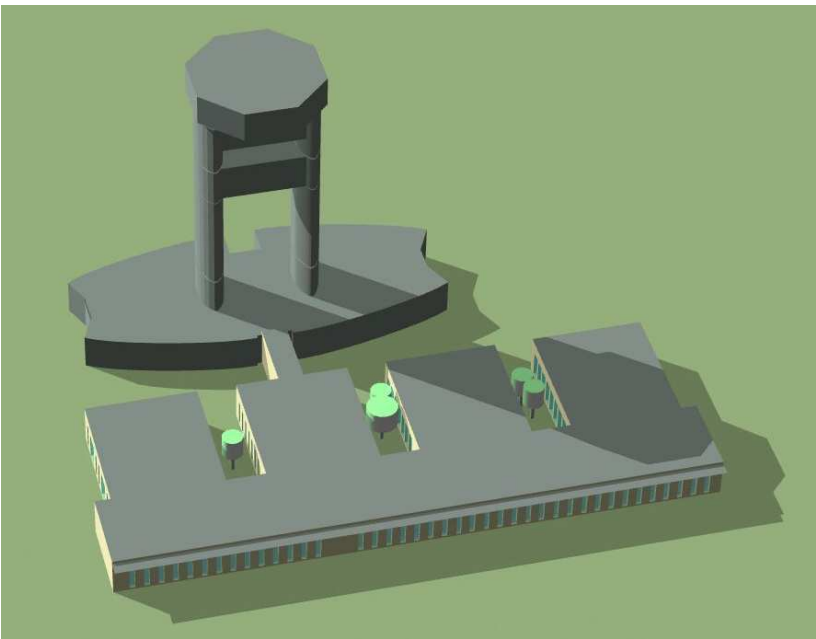


Figure 32 - Simulation thermique dynamique du bâtiment 2002

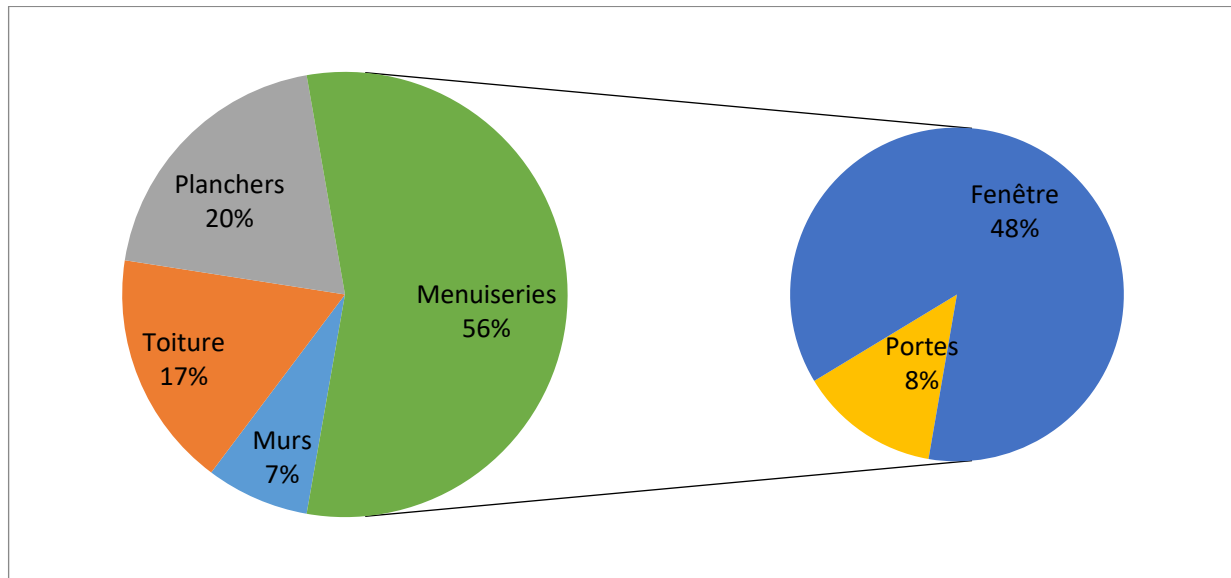


Figure 33 - Calcul des déperditions à travers l'enveloppe

B. Murs

Etat des lieux :

Mur RDC	1/he	Parpaing creux	Laine roche/verre ancien	1/hi
λ (W/m.K)	/	1.05	0.04	/
e (cm)	/	20	10	/
Résistance thermique ($m^2.K/W$)	0.06	0.19	2.50	0.11
U ($W/m^2/K$)				0.35

Analyse :

La résistance thermique minimale de la RT par élément est de $2.3 m^2.K/W$. La résistance thermique de l'enveloppe est au-delà de l'exigence réglementaire.

C. Toitures

Etat des lieux :

L'isolation est du styrodur recouverte par 1cm d'étanchéité asphalte et 6cm de gravillons.

Toiture terrasse RDC	1/he	Styrodur	Béton armé	1/hi
λ (W/m.K)	/	0.04	1.75	/
e (cm)	/	6	20	/
Résistance thermique ($m^2.K/W$)	0.05	1.62	0.11	0.1
U ($W/m^2/K$)				0.53

Analyse :

La résistance thermique minimale de la RT par élément est de $2.5 m^2.K/W$. La résistance thermique de la toiture n'est pas assez élevée. Le styrodur de la toiture terrasse doit être remplacé par 6cm de mousse de polyuréthane rigide ($\lambda=0.025W/m.K$) pour atteindre au minimum la réglementation (si on réalise à épaisseur constante). Si la hauteur des acrotères et la portance de la structure le permettent une isolation bien plus épaisse et dans l'idéal biosourcé peut être étudiée.

A l'occasion de l'amélioration de l'isolation, la membrane d'étanchéité et la protection gravillonnée pourront être remplacés.

D. Menuiseries

Etat des lieux :

L'importante surface vitrée était un parti architectural pour offrir plusieurs points de vue sur la tour de contrôle.

On constate la présence de jours entre les ouvrants et les dormant de plusieurs menuiseries, ceci est dû au poids des ouvrants. Des courants d'air sont ressentis par les occupants du bâtiment. Les joints entre le support et les menuiseries 4/20/6 sont dégradée. Les joints de vitrage sont dégradés.

Les ouvrants sur la façade Sud-Est sont équipés de stores extérieurs non utilisés. L'ensemble des toiles sont remontées.



Figure 34 - Stores extérieurs de la façade Sud-Est

En effet, les stores extérieurs sont sortis des rails guidant la descente et la remonté des toiles. Sur la photo suivante, ce phénomène est bien visible.



Figure 35 - Stores extérieurs sortant de son rail

A l'inverse, les stores vénitiens intérieurs sont utilisés.

Les vitrages au Sud-Est ont été équipés de films solaires. Les films solaires ont diminué la clarté dans les bureaux. Ainsi, certains films solaires ont été supprimés. Par ailleurs, certains films restant se décollent. Les occupants se plaignent de certains inconforts.

Pour la simulation thermique dynamique les valeurs suivantes sont prises :

	U_w (W/m ² .K)
Fenêtre double vitrage alu (4/20/6)	3.4
Porte métallique non isolée	6.5
Porte SAS simple vitrage	5.3

Le couloir vitré entre le bâtiment 2002 et le bloc technique est neuf.

Analyse :

On constate que 56% des déperditions sont à travers les menuiseries. Les menuiseries pour l'ensemble du bâtiment à l'exception de la nouvelle galerie de liaison avec le bloc technique (bâtiment 4) doivent être remplacées par des menuiseries avec des caractéristiques supérieures (vitrage argon 4/16/4) en gardant la qualité phonique de celles-ci.

Les portes métalliques qui représentent 0.5% de la surface de l'enveloppe mais 8% des déperditions doivent être changées. Si le changement de menuiseries n'est pas possible dans l'immédiat, l'équerrage des ouvrants doit être à minima vérifié.

5.2 Equipements de génie climatique

	Equipements
Emetteurs de chaleur	Convecteurs électriques et monosplits réversibles pour certains bureaux
Renouvellement d'air	4 caissons d'extractions et VMC dans les sanitaires
Production ECS	Ballons électriques
Climatisation	Systèmes de détente directe pour les serveurs informatiques et monosplits réversibles pour locaux simulateurs

A. Ventilation

État des lieux :

La ventilation mécanique contrôlée simple flux est réalisée par quatre caissons enfermés dans des boîtes au-dessus du faux plafond des circulations.

	Puissance électrique kW	Débit d'extraction m³/h
Réseau sanitaire commandé simultanément avec l'éclairage	0.171	390
Réseau de ventilation 1	0.2	870
Réseau de ventilation 2	0.2	835
Réseau de ventilation 3	0.2	390

Réseau de ventilation 4	0.2	690
-------------------------	-----	-----

La prise d'air neuf dans les sanitaires se fait dans les cloisons de gaines techniques. Les gaines techniques ont des problèmes d'évacuation des eaux vannes et pluviales. Des odeurs rentrent dans les locaux occupés.

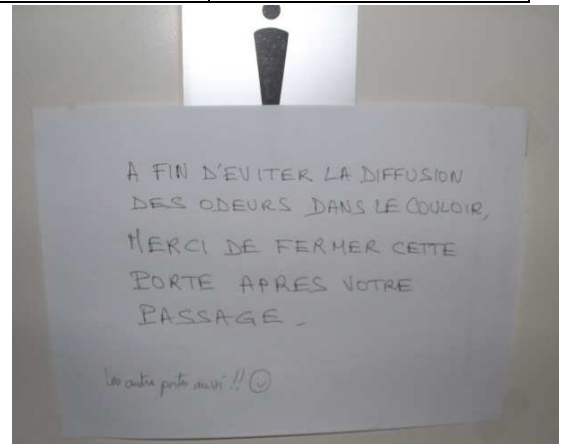


Figure 36 - Odeurs provenant de la ventilation des sanitaires

Analyse :

L'installation d'une ventilation double flux dans la totalité du bâtiment est recommandée. La mise en place de celle-ci sera facilitée du fait de grande hauteur sous plafond.

B. Chauffage / climatisation

État des lieux :

La production de chaleur du bâtiment est majoritairement assurée par des convecteurs électriques. La mauvaise répartition de la chaleur due aux convecteurs peut être source de sensations d'inconfort.

Les convecteurs installés ne possèdent pas de régulation centralisée ou individuelle de façon à permettre une régulation en température et horaire.

Le fonctionnement des climatisations desservant les locaux spécifiques (salle simulation et local serveur) est permanent. Les autres climatisations ont un fonctionnement saisonnier.

Le local relecture est climatisé par une unité monobloc Airwell. La puissance frigorifique est de 3.5kW. Le fluide frigorigène est R410A.

Les bureaux au nord Est ont été rénovés et des systèmes réversibles ont été installés. Les unités intérieures sont des plafonniers ou des cassettes.

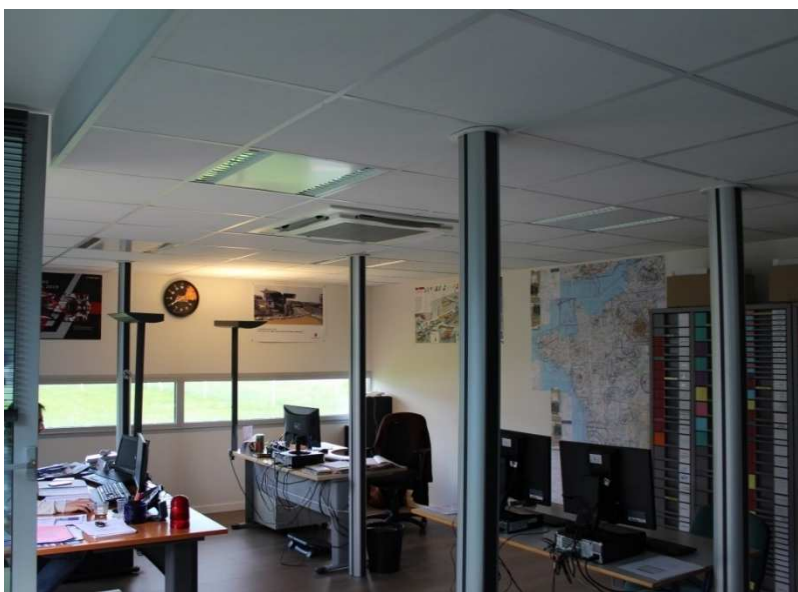


Figure 37 - Bureau Nord-Est rénové avec système réversibles

Figure 38 - Climatisation Airwell

La climatisation de la salle simulation est effectuée par des systèmes réversibles Toshiba. La diffusion d'air est gênée par des panneaux acoustiques suspendus. En effet, des panneaux acoustiques sont placés dans l'axe de sortie d'air du plafonnier.



Figure 39 - Diffusion d'air climatisé gênée

Analyse :

Dans le projet de rénovation de la climatisation des locaux opérationnels (travaux 2024/2025), une production centrale d'eau chaude est créée grâce à la récupération de chaleur sur la production d'eau glacée.

Le raccordement du bâtiment à la production d'eau chaude basse température pour supprimer les radiateurs électriques est à réaliser.

Il n'est pas proposé de modification de la diffusion d'air des ventilo-convecteurs de la salle simulation (abaisser les ventilo-convecteurs ou remonter les panneaux acoustiques) sachant que la salle simulation va être déplacée.

5.3 Exploitation du site

Pour la simulation thermique dynamique, l'effectif est de 43 personnes aux horaires d'occupation de 8h-19h.

A. Apports internes

État des lieux :

Les apports internes simulés sont les apports conventionnels de la RT pour les bureaux et les circulations.

Pour la salle de simulation, un apport de 50W/m² est pris pour hypothèse lors des horaires de bureau.

Analyse :

Une économie d'énergie substantielle peut découler d'une formation des usagers sur des gestes simples comme éteindre les appareils de bureautique, en dehors des heures de travail. Par ailleurs, une horloge peut être raccordée à l'alimentation des photocopieuses.

B. Eclairage

État des lieux :

L'éclairage simulé est réalisé par des tubes fluorescents type T8 et des ampoules à incandescence. Selon les données fournies par le gestionnaire de site, le bâtiment est équipé des matériels suivants :

	Tubes fluo avec ballasts FERRO.		lampe avec tube fluo	Lampe incand.	
Puissance des lampes en W	36	58	55	60	Puissance par secteur en W
Nombre de lampes par luminaires	2	2	2	1	
Coef pour ballast	1.2	1.2	1	1	
Puissance du luminaire en W	86.4	139.2	110.0	60.0	
Bureaux		1	60		6739.2
Circulations		26			3619.2
Archives et rangements	12				1036.8
Sanitaires				7	420.0
Nbre de luminaires de chaque type	12	27	60	7	Puissance totale W
Puissance par type de luminaire W	1036.8	3758.4	6600	420	11815

La gestion de l'éclairage est réalisée par des interrupteurs on/off. Les couloirs ne sont pas équipés de minuterie.

La puissance d'éclairage rapportée au m² de surface éclairée est de 12.4 W/m².

Analyse :

La RT par élément définit que lorsque l'installation d'éclairage fait l'objet de travaux de remplacement, la nouvelle installation doit avoir une puissance installée inférieure ou égale à 2.8 watts par mètre carré de surface utile et par tranche de niveaux d'éclairement moyen à maintenir de 100 lux sur la zone de travail. Cela correspond pour un bureau avec un éclairage de 500 lux à 14 W/m². Le niveau d'éclairement moyen est inférieur à 500 lux dans les circulations et les sanitaires. En particulier, la puissance est de 28 W/m² dans les circulations. La puissance d'éclairage est donc trop importante en particulier dans les circulations ; les éclairages doivent être changés pour des équipements moins énergivores. De plus, l'éclairage du couloir doit être repensé. Les luminaires doivent être positionnés au centre du couloir pour avoir un éclairage homogène. La mise en place de détecteurs de présence dans les circulations ainsi que des détecteurs crépusculaires dans les zones de travail permettraient de diminuer les périodes d'allumage des éclairages.



Figure 40 - Eclairage énergivore et non performant du couloir

La consommation électrique pour l'éclairage calculée par STD prend en compte la commande manuelle des interrupteurs en fonction de la lumière naturelle et de l'efficacité des luminaires. Ce modèle de commande des luminaires est purement conventionnel car issu de la Réglementation Thermique 2012. Il prend donc en compte une utilisation « idéale » de l'éclairage artificiel dès lors que les apports de lumière naturelle sont insuffisants pour l'occupant. La consommation électrique pour l'éclairage est estimée à **8.9MWh** d'électricité par an. Cette consommation pourrait être affinée si des compteurs étaient installés. Cette consommation électrique est importante et induit également des apports de chaleur sensible contribuant à l'augmentation de la température des locaux pas rafraîchis. Concernant les locaux climatisés, il faut comprendre qu'un kWh électrique consommé par l'éclairage va engendrer 0.5 kWh de consommation électrique au niveau de la production d'eau glacée pour le rafraîchissement des locaux.

5.4 Bilan énergétique

État des lieux :

L'analyse des sous compteurs d'énergie (janvier et février 2024) montre une consommation mensuelle de 7.7MWh en hiver pour tout le bâtiment dont 4.5MWh pour le chauffage/climatisation.

En extrapolant, on peut estimer la consommation à 87MWh annuel dont 50MWh pour le chauffage/climatisation.

La simulation thermique dynamique du bâtiment 2009 donne une répartition de la consommation électrique par poste.

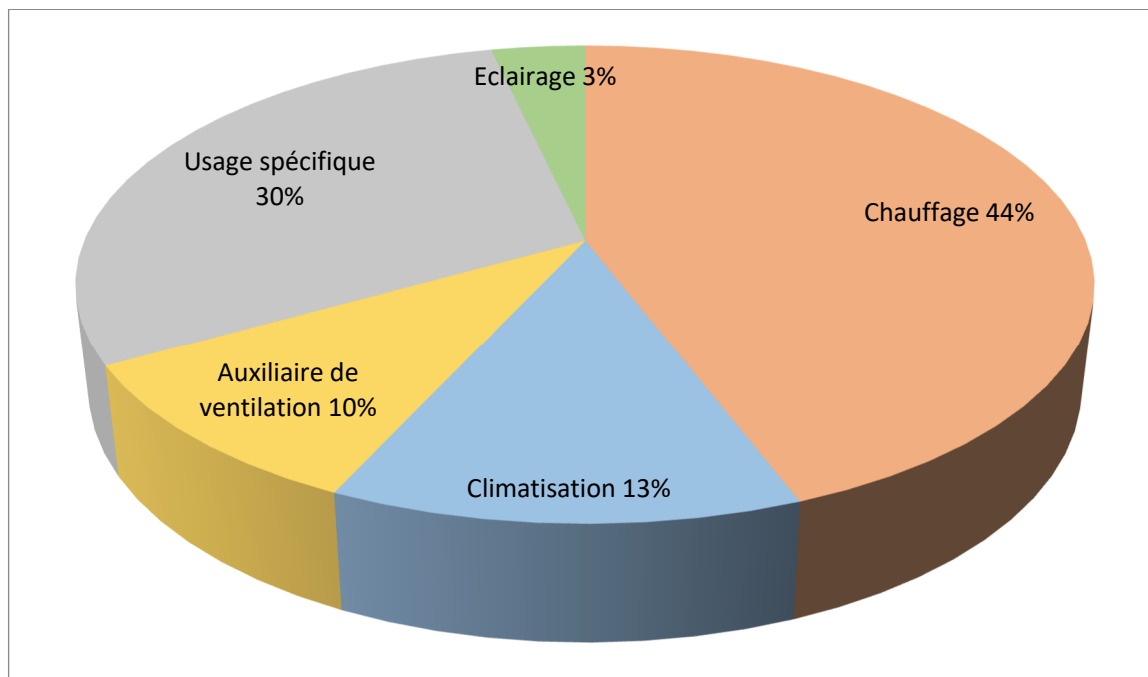


Figure 41 - Répartition des consommations électriques par poste

Analyse :

La consommation annuelle d'électricité simulée par STD est de 75MWh. L'écart par rapport aux relevés est supérieur à 15% ; cela ne valide pas les hypothèses prises en compte dans la modélisation du bâtiment existant ou l'extrapolation des 2 relevés de compteur. D'autres sous compteurs et des relevés sur une période plus importante sont nécessaires pour estimer plus finement la répartition par poste.

La majorité des consommations électriques proviennent des convecteurs électriques. L'ensemble des émetteurs de chaleur doit être remplacé par des équipements moins énergivores et plus performants. Dans le projet de rénovation de la climatisation des locaux opérationnels (travaux 2024/2025), une production centrale d'eau chaude est créée grâce à la récupération de chaleur sur la production d'eau glacée. Les bâtiments doivent être raccordés pour profiter de cette récupération d'énergie.

Ensuite, la consommation électrique provient des équipements de bureautique et ne rentrent pas dans les propositions d'améliorations. Cependant, une économie d'énergie peut découler d'une formation des usagers sur des gestes simples comme éteindre les appareils de bureautique, en dehors des heures de travail. Par ailleurs, une horloge peut être raccordée à l'alimentation des photocopieuses.

Pour les systèmes de climatisation existants, uniquement la diffusion d'air dans la salle simulation doit être revue.

Les autres postes de consommation électriques sont la ventilation. Une ventilation double-flux doit être mise en place dans ce bâtiment.

Le dernier poste de consommation électrique est l'éclairage. Certains luminaires de ce bâtiment doivent être remplacés par des équipements plus performants ; en particulier, les éclairages du couloir sont très énergivores. La mise en place de détecteurs de présence dans les circulations ainsi que des détecteurs crépusculaires dans les zones de travail permettraient de diminuer les périodes d'allumage des éclairages.

5.5 Estimation du coût et impact énergétique des travaux

Les calculs d'économie financières sont calculés à partir de l'hypothèse de 0.367€HT/kWh.

Actions bâtiment 3 – ST/SE 2002	Coût (k€HT)	Economie / an	
		MWh	k€HT
Création d'une ventilation mécanique double-flux et remplacement des émetteurs de chaleur Le bâtiment étant déjà ventilé dans sa totalité par de simple caisson d'extraction, la création d'une ventilation double flux semble toute justifiée. En effet, celle-ci permettra de récupérer la chaleur produite dans le bâtiment tout en assurant un bon renouvellement de l'air. A cette occasion, les débits de ventilation devront être réévalués pour répondre au besoin du bâtiment actuel. Remplacement des convecteurs électrique par des systèmes utilisant la future production (2024-2025) d'eau chaude. Ces deux items sont regroupés ensemble pour mutualiser les déposes / repose de faux plafond.	500	15 élec	9,9
Remplacement des menuiseries Est (en lieu et place) Remplacement des fenêtres doubles vitrage alu par des menuiseries répondant à la RT par élément et pour palier le problème de déformation de la menuiserie dû au poids des ouvrants.	100	5 élec	2,4
Remplacement des autres menuiseries Remplacement des fenêtres doubles vitrage alu par des menuiseries répondant à la RT par élément et pour palier le problème de déformation de la menuiserie dû au poids des ouvrants. Remplacement des portes métalliques non isolées par des ouvrants de performances supérieures.	100	4 élec	2,0
Remplacement des luminaires et contrôle des luminaires Remplacement des luminaires par du LED. Des détecteurs de présence dans les circulations et des variateurs de lumière en fonction de l'éclairage naturel doivent être mis en place pour les bureaux.	80	1 élec	0,4
Isolation des toitures Les 6cm de Styrodur doivent être remplacés par 6cm de mousse de polyuréthane (ou équivalent atteignant la RT par éléments). A cette occasion, la réfection de l'étanchéité pourra être réalisée.	240	4 élec	1,8
	1 020		

Si les menuiseries sont repositionnées au nu de la coursive extérieure (gain de place pour l'occupant), le gain énergétique est de 2MWh élec ; en prenant en compte l'ajout d'un isolant par l'intérieur sur les murs bétons de la coursive.

6 BATIMENT 4 - TOUR DE CONTROLE ET BLOC TECHNIQUE

Le bâtiment a été construit en 1992 et est soumis au code du travail. Il est composé d'un bloc technique au RDC et de la tour de contrôle avec un étage technique (salle technique sous vigie), une sous vigie et une vigie.

Surface SHON (m ²)	593
Surface SHON chauffée (m ²)	453
Nombre d'étages au-dessus du RDC	3
Nombre de niveaux en sous-sol	1
Volume chauffé (m ³)	1 359



Figure 42 - Tour de contrôle et bloc technique

6.1 Enveloppe du bâtiment

A. Description de l'enveloppe

	Enveloppe du bâtiment
Parois verticales	Parpaing/béton + isolation
Menuiseries extérieures	Vigie : Aluminium simple vitrage RDC : Aluminium double vitrages 4/12/4 Etage technique et sous vigie : Aluminium double vitrages 4/4/4
Plancher bas	Plancher béton / plancher collaborant
Toiture	Toitures terrasses
Infiltration	Hypothèse : 0.3 vol/h. Lors d'un test en salle IFR avant travaux, un n ₅₀ de 22 vol/h a été mesuré.

La surface hors d'œuvre nette étant inférieure à 1000m², les performances de l'enveloppe sont comparées aux valeurs définies par la RT par élément.

Grâce à la simulation thermique dynamique, les déperditions par type de paroi sont calculées.



Figure 43 - Simulation thermique dynamique de la tour de contrôle et du bloc technique

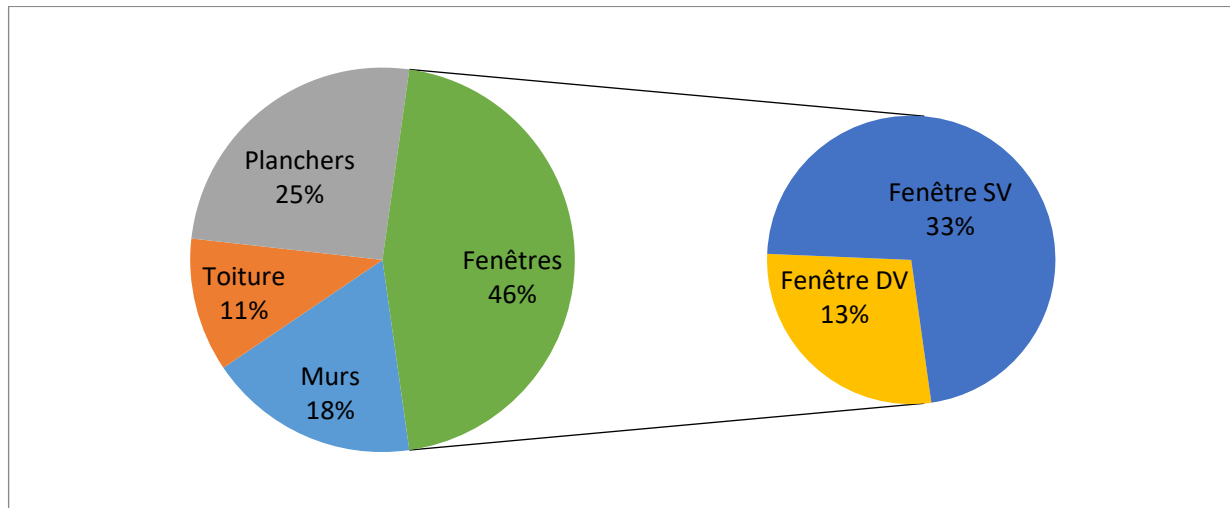


Figure 44 - Calcul des déperditions à travers l'enveloppe de la tour de contrôle et du bloc technique

En plus des déperditions à travers l'enveloppe, les déperditions dues aux infiltrations sont importantes. Il est nécessaire d'étancher l'enveloppe du bloc technique.

B. Murs

État des lieux :

Mur RDC	1/he	Béton armé	Polystyrène	1/hi
λ (W/m.K)	/	1.75	0.04	/
e (cm)	/	13	10	/
Résistance thermique ($m^2.K/W$)	0.06	0.07	2.50	0.11
			U (W/m ² /K)	0.36

Mur étage	1/he	Alucobond	Béton armé	Polystyrène	1/hi
λ (W/m.K)	/	0.39	1.75	0.04	/
e (cm)	/	0.4	13	5	/
Résistance thermique ($m^2.K/W$)	0.06	0.01	0.07	1.25	0.11
				U (W/m ² /K)	0.70

Mur sur pilier tour	1/he	Alucobond	Béton armé	1/hi
λ (W/m.K)	/	0.39	1.75	/
e (cm)	/	0.4	20	/
Résistance thermique ($m^2.K/W$)	0.06	0.01	0.11	0.11
			U (W/m ² /K)	3.45

Pour les parois internes, une déperdition linéique de $\psi=0.41$ W/m.K est prise pour le pont thermique entre les murs et refends.

Analyse :

La résistance thermique minimale de la RT par élément est de 2.3 m².K/W.

La résistance thermique des murs inclinés du RDC est conforme à la RT élément par élément. Cependant, les murs inclinés disposent de poteaux qui crée de nombreux ponts thermiques.

La résistance thermique du mur de la salle technique sous vigie n'est pas assez élevée. Les 5 cm de polystyrène doivent être remplacés par 5,5 cm de mousse de polyuréthane rigide ($\lambda=0.025$ W/m.K) pour atteindre au minimum la réglementation (si on reste à épaisseur quasi constante).

Malgré un coefficient de transmission surfacique élevé des murs des piliers de la tour, aucune amélioration n'est suggérée. Les murs des piliers ne sont pas concernés par la RT par élément, les murs des piliers de la tour ne sont pas des parois de locaux chauffés.

C. Toitures

État des lieux :

<i>Toiture terrasse RDC</i>	1/he	Béton armé	Polyuréthane	1/hi
λ (W/m.K)	/	1.75	0.03	/
e (cm)	/	20	3	/
Résistance thermique (m ² .K/W)	0.05	0.11	1.25	0.1
U (W/m ² /K)				0.66

<i>Toiture terrasse salle technique sous vigie</i>	1/he	Bac acier	Laine minérale	1/hi
λ (W/m.K)	/	7.00	0.04	/
e (cm)	/	2	10	/
Résistance thermique (m ² .K/W)	0.05	0.00	2.50	0.1
U (W/m ² /K)				0.38

<i>Toiture terrasse vigie</i>	1/he	Bac acier	Polystyrène	1/hi
λ (W/m.K)	/	7.00	0.04	/
e (cm)	/	2	8	/
Résistance thermique (m ² .K/W)	0.05	0.00	2.00	0.1
U (W/m ² /K)				0.47

Une déperdition linéique de $\psi=0.71$ W/m.K est prise pour le pont thermique entre les toitures et les murs extérieurs.

Analyse :

La résistance thermique minimale de la RT par élément est de 2.5 m².K/W (2 jusqu'au 30 juin 2008). Les résistances thermiques des toitures terrasses du RDC et de la vigie ne sont pas assez élevées. L'isolation de la toiture terrasse du RDC doit être remplacé par 6cm de mousse de polyuréthane rigide ($\lambda=0.025$ W/m.K) et 7cm pour la toiture terrasse de la vigie pour atteindre au minimum la réglementation.

Le remplacement de l'isolant en toiture est prévu dans les travaux en cours (2024-2025) le nouvel isolant aura une résistance supérieure à 5m²/K/W.

D. Planchers bas

État des lieux :

<i>Plancher bas sur sous-sol</i>	1/he	Béton armé	1/hi
λ (W/m.K)	/	1.75	/
e (cm)	/	13	/
Résistance thermique (m ² .K/W)	0.17	0.07	0.17
U (W/m ² /K)			2.41

<i>Plancher bas étage</i>	1/he	Laine semi-rigide	Béton armé	1/hi
λ (W/m.K)	/	0.1	1.75	/
e (cm)	/	12	13	/
Résistance thermique (m ² .K/W)	0.05	1.2	0.07	0.17
U (W/m ² /K)				0.67

Le plancher bas sur terre-plein est une dalle de 18cm. Une déperdition linéique de $\psi=0.55 \text{ W/m.K}$ est prise pour le pont thermique au niveau des planchers bas.

Analyse :

La résistance thermique minimale de la RT par élément est de $2 \text{ m}^2.\text{K/W}$ pour le plancher bas donnant sur le sous-sol (non chauffé) et 2.3 pour les plancher bas de la vigie et de la salle technique sous vigie. Les résistances thermiques des planchers ne sont pas assez élevées.

Pour le plancher bas de la salle technique sous vigie et de la vigie, les 12cm de laine semi-rigide doivent être remplacé par 12cm de laine de verre ($\lambda=0.03 \text{ W/m.K}$) pour atteindre au minimum la réglementation.

E. Menuiseries

État des lieux :

Les simples vitrages de la vigie et les doubles vitrages des étages intermédiaires de la tour de contrôle ne présentent pas de désordres particuliers. Cependant, l'ensemble des vitrages de la tour de contrôle et du bloc technique sont sans rupture thermique. Les photos suivantes à la caméra thermique montrent des déperditions dues à la menuiserie aluminium pour les doubles vitrages des étages intermédiaires de la tour de contrôle et du RDC. La caméra thermique mesure les rayonnements thermiques émis par les matériaux. Le capteur associe l'intensité reçue à une couleur et chacune correspond à une température (du froid en bleu au chaud en rouge). L'échelle située sur la droite de la thermographie infrarouge donne l'intensité des couleurs en fonction des températures maximale et minimale que la caméra perçoit automatiquement.

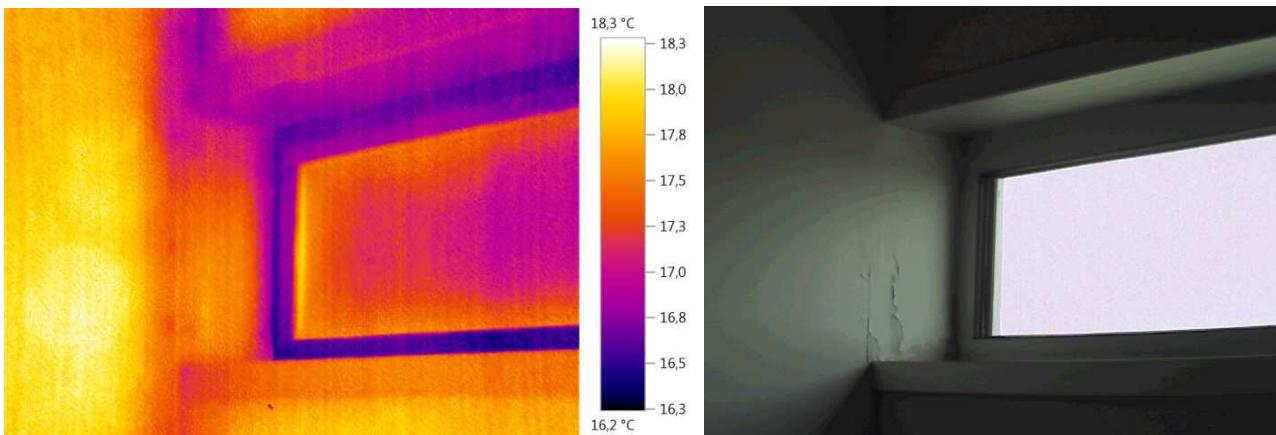


Figure 45 – Thermographie infrarouge de double vitrage d'étage intermédiaire de la tour de contrôle

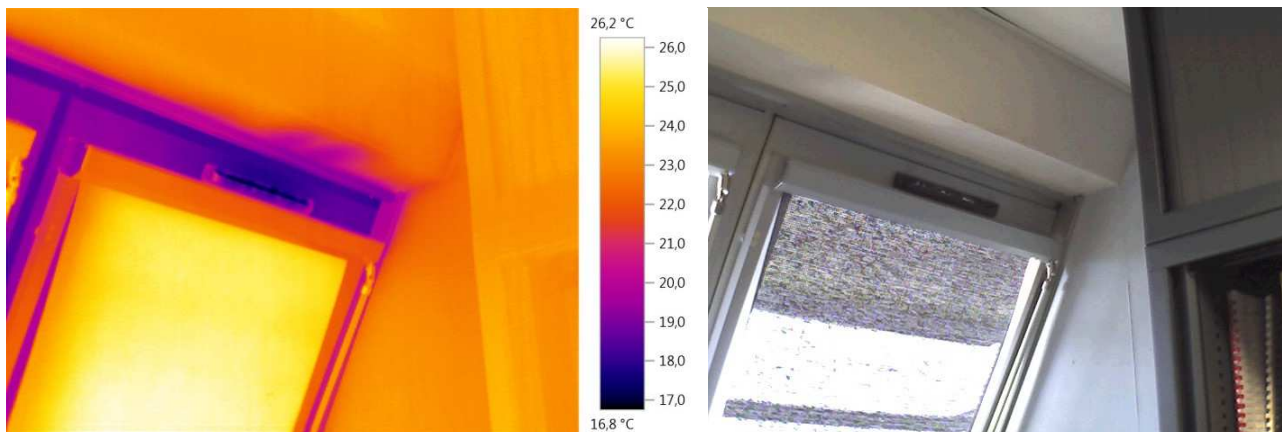


Figure 46 – Thermographie infrarouge de double vitrage du RDC

Au niveau des menuiseries extérieures du RDC de la tour de contrôle, la peinture est écaillée à cause de présence d’humidité. L’humidité est due à des ponts thermiques (abaissement du point de rosé) et du manque d’étanchéité de l’enveloppe. Les joints entre le support et les menuiseries 4/12/4 du RDC du bloc technique sont dégradés. Les joints de vitrage sont dégradés. Les menuiseries du RDC sont équipées de stores et de brise-soleils. Pour finir, les occupants du RDC se plaignent d’inconfort dû au courant d’air au niveau des menuiseries. La photo suivante montre un exemple de trou entre la menuiserie et l’appui de fenêtre responsable de courant d’air.

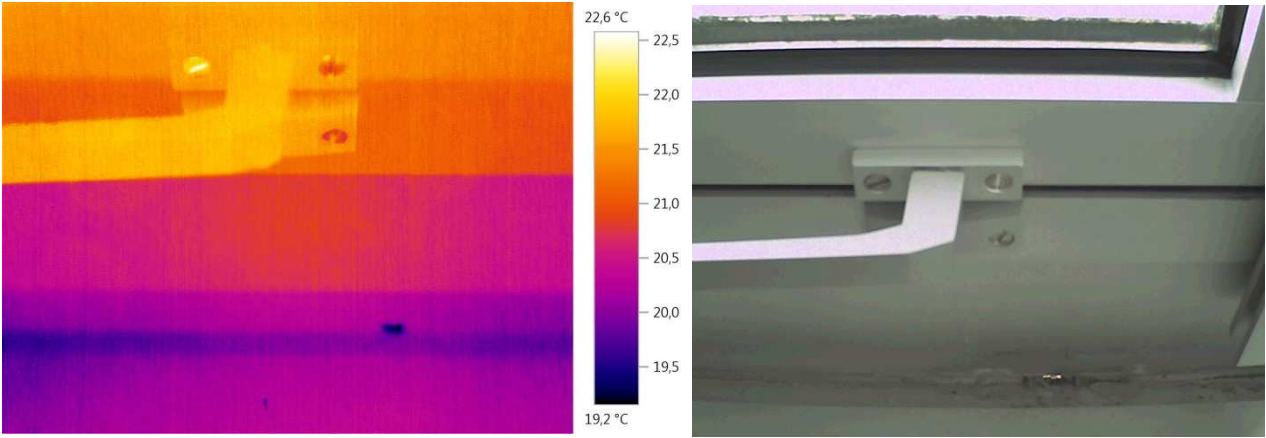


Figure 47 - Thermographie infrarouge de pont thermique au RDC

Selon les photos à la caméra thermique, les skydômes ont une importante déperdition thermique.

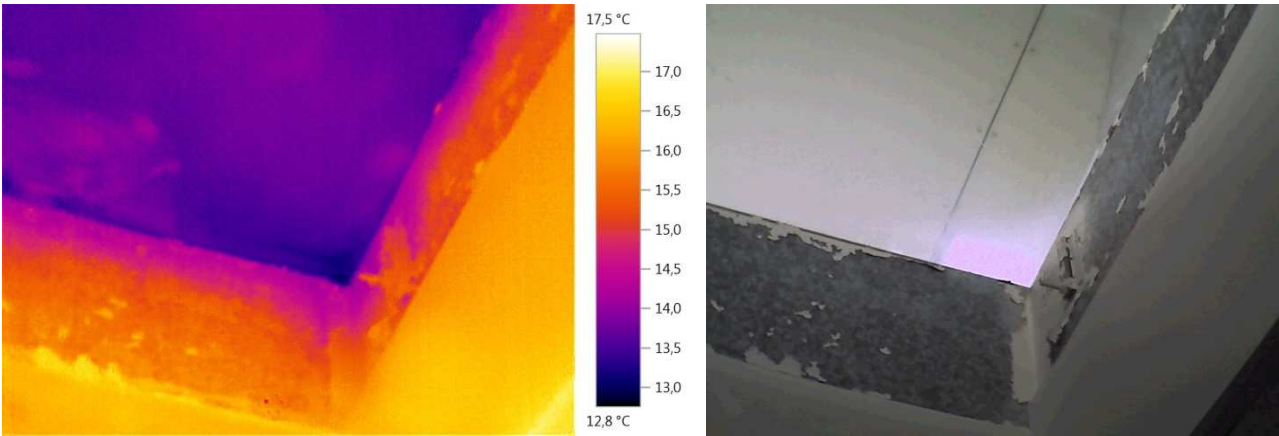


Figure 48 - Thermographie infrarouge de skydôme

Grâce aux observations sur site et aux données du gestionnaire, les valeurs suivantes sont considérées pour la simulation thermique dynamique:

	U _w (W/m ² .K)
Fenêtre double vitrage alu (4/12/4)	3.4
Porte métallique non isolée	6.5
Fenêtre double vitrage alu (4/6/4)	3.9
Fenêtre simple vitrage alu	5.3
Skydôme double peau	4.3

Les coefficients de transmission thermique U_w sont supérieurs à 2.3 W/m².K définis par la RT par élément.

Analyse :

Les menuiseries vitrées représentent 46% des déperditions de l’enveloppe.

La majeure partie des déperditions est représentée par les simples vitrages de la vigie. La réduction importante des déperditions thermiques et l'amélioration du confort hivernal passerait par un remplacement des menuiseries de la vigie par du double vitrage solaire anti-éblouissement avec structure porteuse à rupture de pont thermique. Ce changement nécessite toutefois une étude spécifique notamment du point de vue structurelle et de la résistance au vent. La faisabilité de cette action étant incertaine ; elle n'est pas reprise par la suite.

Il est recommandé de remplacer les menuiseries extérieures de la salle technique sous vigie et de la sous vigie par des menuiseries avec des caractéristiques supérieures (vitrage argon 4/16/4 et traitement solaire adapté) ; contenu des difficultés d'accès (travaux en hauteur) ces travaux auraient un cout exorbitant pour un gain minime (faible surface). La pertinence de cette action étant faible ; elle n'est pas reprise par la suite.

Il est recommandé de remplacer les menuiseries extérieures du RDC, de la salle technique sous vigie et de la sous vigie par des menuiseries avec des caractéristiques supérieures (vitrage argon 4/16/4 et traitement solaire sur les locaux refroidis). Les menuiseries devront être à rupture thermique pour répondre à la RT existant. La présence de rupteurs de ponts thermiques est indispensable pour réduire efficacement la transmission de chaleur ou de froid entre les surfaces extérieures et intérieures d'un bâtiment. Pour éviter le pont thermique en périphérie des menuiseries inclinées, il est nécessaire de reprendre l'isolation par l'intérieur et traiter cette zone.

Le remplacement des skydômes de la toiture terrasse du RDC sont remplacés dans le cadre du chantier en cours (2024-2025).

6.2 Equipements de génie climatique

	Equipements
Ventilation	Extracteurs
Emetteurs de chaleur	Convecteurs électriques Batteries électriques dans les ventilo-convecteurs Batteries électriques dans les CTA
Production de froid	Groupe froid Monosplit à détente directe
Emetteurs de froid	Batteries à eau glacée dans les ventilo-convecteurs Batteries à eau glacée dans les CTA Monosplit à détente directe
Production ECS	Ballons électriques de 30l en sous vigie et 150l au sous-sol

L'ensemble de l'état des lieux des systèmes de la Tour de contrôle (hors vigie, salle technique sous vigie, local chargeur et local onduleur) et leur analyse ont été supprimés entre les versions 5 et 6 du diagnostic car elles font l'objet d'une rénovation en cours de chantier (2024-2025).

A. Traitement de la vigie

État des lieux :

Ventilo-convecteurs fonctionnement normal

Ces ventilo-convecteurs de la marque GEA ont été installés en 1998. Ils sont munis d'une batterie d'eau glacée et d'une batterie électrique. Tous les ventilo-convecteurs fonctionnent simultanément. Le changement point de consigne de la température s'effectue sur le pavé tactile à la position du chef de tour en vigie. Les ventilo-convecteurs ont plusieurs vitesses de ventilation réglable suivant un cycle d'hystérésis par rapport au point de consigne et à sa sonde de température ambiante.



Figure 49 - Ventilo-convecteur

Deux multisplits avec trois unités intérieures fonctionnement de secours

Il est installé un système de secours à détente directe composé de deux unités extérieures alimentant chacune trois unités intérieures réversibles.

Equipement	Marque	Référence des équipements	Puissance installée en froid	Puissance installée en chaud
Condenseurs	Daikin	RMXS112D	11.2 kW	12.5 kW

Les unités extérieures sont des RMXS112D de Daikin. Chaque unité extérieure a une :

- Puissance maxi en froid d'une unité extérieure 11,2 kW
- Puissance maxi en chaud d'une unité extérieure 12,5 kW

Le point de fonctionnement est fixé à +23°C. La mise en fonction de ces climatiseurs se fait par un bouton poussoir situé sur le pupitre du chef de tour.



Figure 50 – Unités intérieures de secours



Figure 51 - Unité extérieure et une boîte de répartition calorifugée pour alimenter 3 unités intérieures



Figure 52 - Goulotte de protection pour les réseaux de fluide et pénétration pour alimenter une unité intérieure

Analyse :

Aucune amélioration n'est proposée dans le cadre de ce diagnostic. Les propositions d'amélioration font l'objet d'un autre projet (hors périmètre SNIA).

B. Traitement de la salle technique sous vigie**État des lieux :**

La salle technique sous vigie est climatisée par une armoire de climatisation se situant dans le local jouxtant la salle technique sous vigie. Le débit est de 1700m³/h.

L'air ambiant de la salle technique sous vigie est repris dans le haut du caisson de l'armoire. L'air est refroidi ou déshumidifié par une batterie à eau glacée. L'air est réchauffé par des résistances électriques et réintroduit en faux plancher. La puissance est de 6kW (sensible).

Le changement de point de consigne de la température s'effectue depuis le superviseur situé en façade de l'armoire de climatisation.

Analyse :

Cette armoire de climatisation est neuve ; aucune amélioration n'est proposée.

C. Traitement du local chargeur 24V**État des lieux :**

La climatisation du local chargeur est réalisée par un split. La puissance frigorifique du compresseur Daikin est 5kW. Le fonctionnement de la climatisation desservant le local chargeur (20°C) est permanent.

Analyse :

La consigne de température pour respecter le SPEC DGAC peut être réhaussé à 24°C.

D. Traitement du local onduleur**État des lieux :**

La climatisation du local onduleur au sous-sol est réalisée par deux mono-split Toshiba en détente directe. Les unités intérieures sont en plafond de la salle onduleur. Les unités extérieures sont sur la toiture terrasse du bloc technique. La puissance frigorifique est de 5.5kW.

Le fonctionnement des climatisations desservant le local onduleur (20°C) est permanent.

Analyse :

La consigne de température pour respecter le SPEC DGAC peut être réhaussé à 24°C.

6.3 Exploitation du site

Les locaux sont occupés pour partie de façon permanente (H24 7j/7) pour assurer l'activité opérationnelle.

L'effectif est simulé en moyenne avec 4 personnes dans la vigie aux horaires d'occupation de 5h-23h toute la semaine et un contrôleur la nuit. L'effectif est simulé avec 3 personnes dans la salle de test aux heures de bureau. L'effectif est assumé de 3 personnes en permanence pour la salle IFR et dans la supervision.

A. Apports internes

État des lieux :

Un bilan de puissance a été établi par le SNA pour évaluer les apports internes importants. Les apports internes pour la simulation thermique dynamique sont donc les suivants :

Type	Puissance dissipée (W)
Baies et ordinateur ST	6100
Meuble IFR	1700
Onduleurs	1500
Chargeur	1800

Analyse :

Sans objet.

B. Eclairage

État des lieux :

L'éclairage simulé est réalisé par de la technologie LED avec de la détection de présence et de la gradation ; sauf dans les locaux vie au RDC avec un faux plafond à lame métalliques.

Analyse :

La salle des baies ne nécessite pas d'être allumée en permanence. Il serait judicieux de faire 2 types d'éclairage :

- un éclairage d'ambiance pour cheminer
- un éclairage pour travailler sur les équipements (comme l'intensité lumineuse actuelle).

6.4 Bilan énergétique

État des lieux :

L'analyse des compteurs du T3 et T3bis montrent une consommation annuelle de l'ordre de 780MWh pour l'ensemble des bâtiments 2 à 5. Grâce aux extrapolations des sous compteurs d'énergie (janvier et février 2024) des bâtiments 2 et 3. On peut estimer que le bâtiment 4 et 5 consomment en moyenne 653MWh.

Selon la simulation, on peut estimer à 443MWh le bâtiment 4 et 175MWh le bâtiment 5.

L'écart de 6% entre la simulation des bâtiments 4+5 et les consommations extrapolées des bâtiments 4+5 montrent que la simulation est calibrée.

La simulation thermique dynamique de la tour de contrôle et du bloc technique (1992) dans l'état actuel (avant rénovation des équipements CVC) donne une répartition de la consommation électrique par poste.

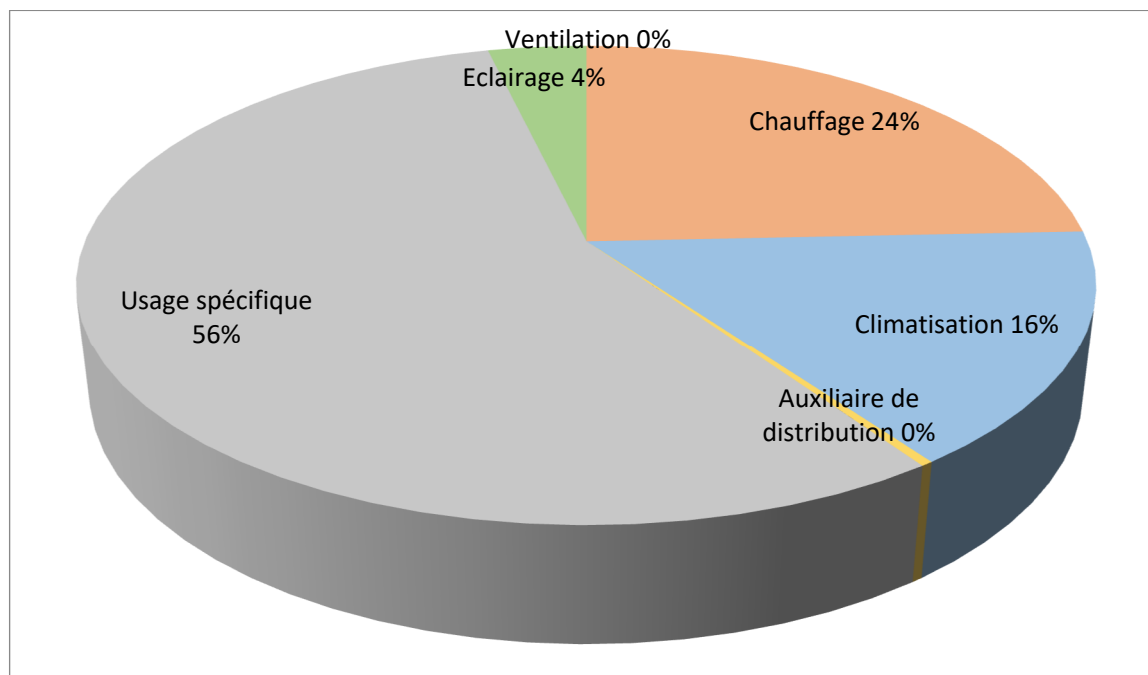


Figure 53 - Répartition des consommations électriques par poste

La majorité des consommations électriques proviennent d'équipements spécifiques de la tour et ne rentrent pas dans les propositions d'améliorations.

Le second poste de consommation est le chauffage. L'ensemble des émetteurs de chaleur seront remplacés dans le cadre des travaux de rénovation CVC (2024-2025).

Le poste de consommation électrique suivant est la climatisation.

6.5 Estimation du coût et impact énergétique des travaux

Les calculs d'économie financières sont calculés à partir de l'hypothèse de 0.367€HT/kWh.

Actions	Coût (k€HT)	Economie / an	
		MWh	k€HT
Remplacement des menuiseries inclinées de l'ensemble du RDC et traitement des ponts thermiques par l'intérieur. Remplacement des fenêtres doubles vitrage alu (4/12/4) sans rupteur de pont thermique. Lors du remplacement des menuiseries inclinées au RDC, il est nécessaire de traiter le pont thermique en périphérie de celles-ci et des poteaux béton. Ce traitement peut être réalisé par une reprise de l'isolation par l'intérieure.	280	12 élec	4,4
Isolation des planchers Reprise de l'isolation des planchers de la salle technique sous vigie et de la sous vigie insuffisante (nécessite une étude plus poussée à cause du travail en hauteur).	160	8 élec	2,9
	440		

Si la remplacement des menuiseries inclinées du RDC et le traitement thermique par l'intérieur s'étend uniquement aux locaux vie (quart Nord Est), le gain est estimé à 4MWh par rapport à la situation actuelle (avant rénovation des systèmes CVC).

7 BATIMENT 5 - EXTENSIONS BLOC TECHNIQUE (2008-2022)

Le bâtiment a été construit en 2008 ; il a subi une extension en 2022 et est soumis au code du travail.

Surface SHON (m²)	196
Surface SHON chauffée (m²)	196
Nombre d'étages au-dessus du RDC	0
Nombre de niveaux en sous-sol	0
Volume chauffé (m³)	728



Figure 54 - Extension BT à côté du bloc technique avant l'extension de 2022



Figure 55 - Extension du bloc technique avant l'extension de 2022

Le bâtiment est un assemblage de préfabriqués.

7.1 Enveloppe du bâtiment

A. Description de l'enveloppe

	Enveloppe du bâtiment
Parois verticales	Panneaux de façade / laine de roche
Menuiseries extérieures	Aluminium double vitrages 4/16/4 + 85% d'Argon
Plancher bas	Dalle portée / Isolation multicouche
Toiture	Panneau Trimoterm / Laine de roche / Lame d'air / Isolant sur faux plafonds laine de roche / Faux plafond
Infiltration	0.22vol/h

La surface hors d'œuvre nette étant inférieure à 1000m², les performances de l'enveloppe sont comparées aux valeurs définies par la RT par élément.

Grâce à la simulation thermique dynamique, les déperditions par type de paroi sont calculées.

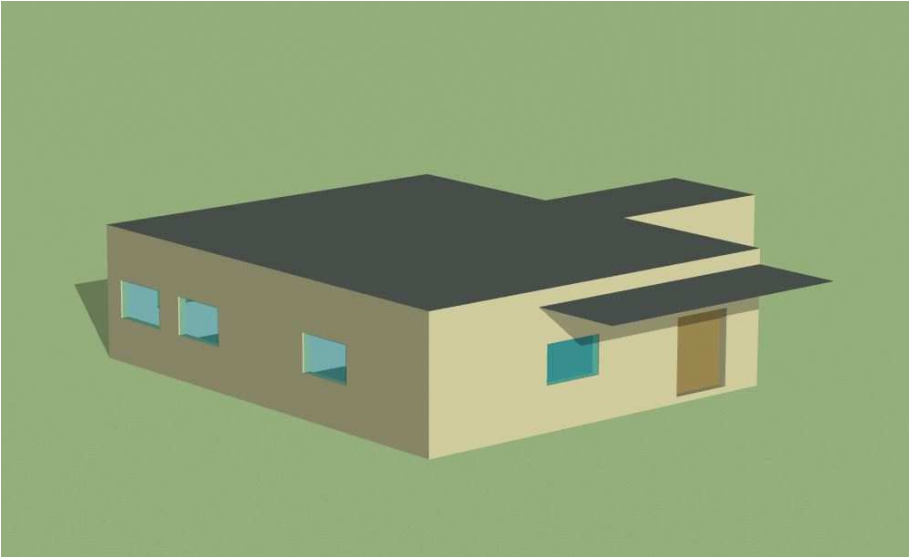


Figure 56 - Simulation thermique dynamique de l’extension de la salle technique (2008)

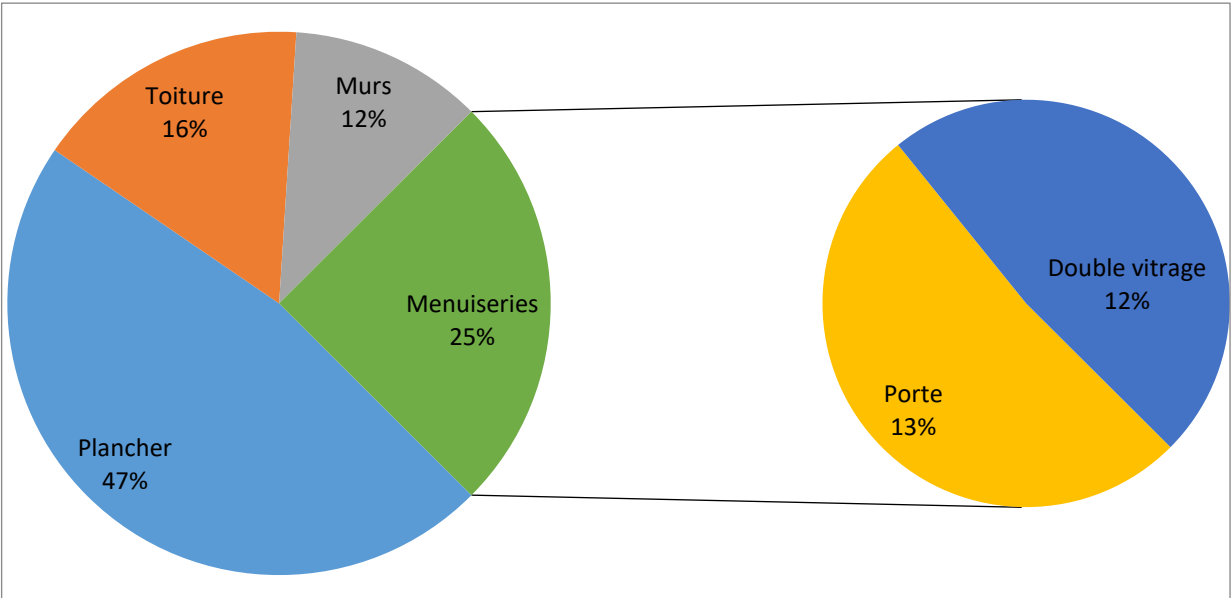


Figure 57 - Calcul des déperditions à travers l'enveloppe

B. Murs
État des lieux :

Mur	1/he	Laine de roche	Laine de roche	Laine de roche	1/hi
λ (W/m.K)	/	0.041	0.041	0.041	/
e (cm)	/	9.3	12	6	/
Résistance thermique (m².K/W)	0.06	2.27	2.93	1.46	0.11
				U (W/m²/K)	0.15

Malgré les bonnes performances des parois, des ponts thermiques entre le sol et les murs sont présents. La photo suivante à la caméra thermique montre un pont thermique dans la salle supervision entre le mur et le sol.

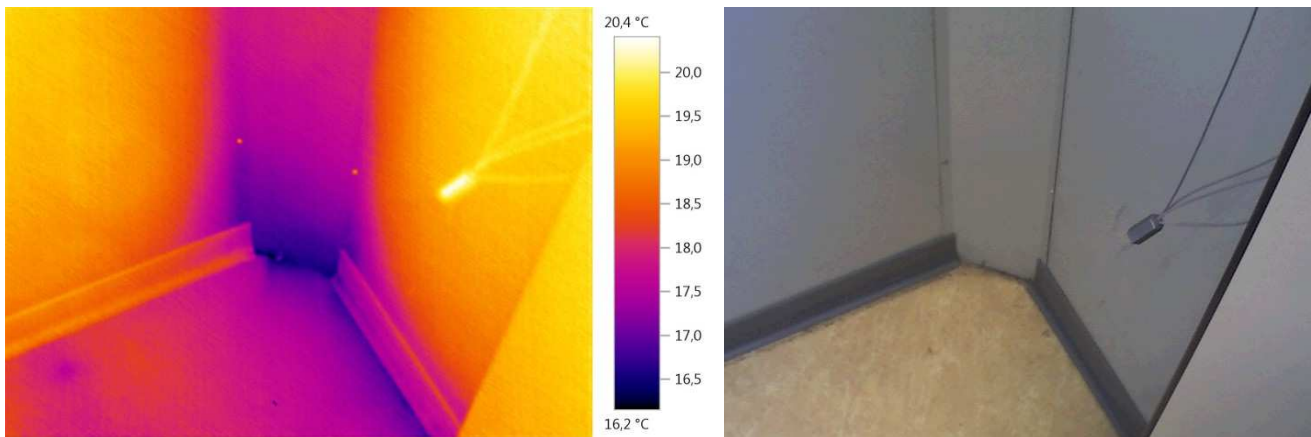


Figure 58 - Thermographie d'un pont thermique entre le mur et le sol de la salle supervision

Analyse :

La résistance minimale de la RT par élément est de 2.3 m².K/W. La résistance thermique de l'enveloppe est au-delà de l'exigence réglementaire.

C. Plancher

État des lieux :

On constate que 47% des déperditions sont à travers le plancher ce qui justifie une sensation de pieds froids ressenti par les occupants.

Analyse :

Sans objet : il est impossible de traiter la sous face d'un préfabriqué à faible coût.

D. Toitures

État des lieux :

Le plafond est en laine de verre sur ossature métallique.

Toiture	1/he	Laine de verre	Lame d'air	Feutre I.B.R Rollisol	1/hi
λ (W/m.K)	/	0.045	/	/	/
e (cm)	/	12	30	6	/
Résistance thermique (m ² .K/W)	0.05	2.67	0.18	1.5	0.1
U (W/m ² /K)					0.22

On notera par ailleurs, que le faux plafond de l'ancienne salle supervision a été abaissé et une isolation par l'intérieure a été rajoutée.

Analyse :

Le coefficient U de la RT Globale est de 0.27 W/m²/K. La résistance thermique de l'enveloppe est au-delà de l'exigence réglementaire. Une déperdition linéique de $\psi=0.06$ W/m.K.

E. Menuiseries

État des lieux :

Les châssis sont en aluminium MRPT avec des stores extérieurs et intérieurs.

Grâce à la photo à la caméra thermique suivante, des ponts thermiques sont constatés au niveau du cadre, l'hypothèse $U_i=3.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ est prise.

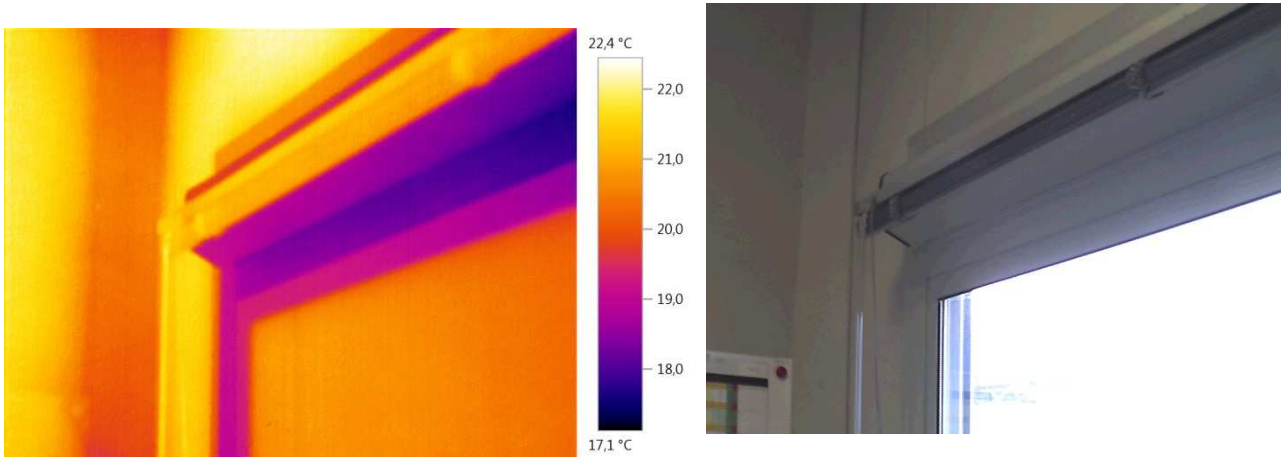


Figure 59 - Thermographie des menuiseries aluminium de la salle supervision

Les vitrages des préfabriqués sont des doubles vitrages 4+16+4 avec 85% d'argon. L'hypothèse pour la simulation thermique dynamique est donc $U_g=1.1\text{W/m}^2\text{°C}$.

Pour les fenêtres battantes, l'hypothèse est $U_w=1.85 \text{ W/m}^2\text{°K}$; $U_j=1.85 \text{ W/m}^2\text{°K}$. Le facteur solaire été est de 0.40.

Il existe une porte métallique donnant sur l'extérieur dans l'extension de 2008.

Analyse :

Il est important de noter que la porte compte pour 13% des déperditions alors que la surface est de 4.7m² (0.8% de la surface de l'enveloppe). La porte donnant sur l'extérieur doit être remplacée.

7.2 Equipements de génie climatique

	Equipements
Emetteurs de chaleur	Convecteurs électriques
Renouvellement d'air	VMC dans le sanitaire
Production ECS	Ballons électriques
Climatisation	Ventilo-convecteurs reliés à la production d'eau glacée de la tour

A. Ventilation

État des lieux :

Un extracteur est présent dans le sanitaire.

Il n'y a pas d'extraction ni d'entrées d'air dans l'ancienne salle supervision et la salle de formation. Le renouvellement d'air se fait par ouverture des fenêtres.

Analyse :

Sans objet

B. Chauffage**État des lieux :**

L'extension du bloc technique est équipée de convecteurs électriques.

Analyse :

Les radiateurs électriques dans la salle technique climatisée ne sont pas pertinents. Il est fortement conseillé de les déposer pour éviter une utilisation involontaire alors que la salle est climatisée.

C. Climatisation**État des lieux :**

La climatisation de ces locaux se fait par piquage sur la production d'eau glacée de la tour de contrôle et du bloc technique.

Les unités intérieures sont des plafonniers.

Nota : les ventilo-convecteurs initiaux (détente directe) étaient muraux comme sur la photo ci-dessous. Ils ont été déposés depuis cette photo.



Figure 60 - Ventilo-convecteur relié à l'eau glacée

Les ventilo-convecteurs de l'ancienne salle supervision sont des cassettes.

Nota : les ventilo-convecteurs initiaux (détente directe) étaient muraux comme sur la photo ci-dessous. Ils ont été déposés depuis cette photo.



Figure 61 - Ventilo-convecteurs cassettes reliés à l'eau glacée

7.3 Exploitation du site

Le bâtiment 5 est occupé pour partie de façon permanente (H24 7j/7) pour assurer l'activité opérationnelle.

L'effectif est simulé en moyenne avec 3 personnes dans la supervision. L'effectif de la salle de formation est 4 personnes aux horaires d'occupation 8h-19h.

A. Apports internes

État des lieux :

Un bilan de puissance a été établi par le SNA pour évaluer les apports internes importants. Les apports internes pour la simulation thermique dynamique sont donc les suivants :

Type	Puissance dissipée (W)
Baies informatiques et ordinateur	10 000

Analyse :

Sans objet.

C. Eclairage

État des lieux :

L'éclairage simulé est réalisé par de la technologie LED.

Analyse :

La salle des baies ne nécessite pas d'être allumée en permanence. Il serait judicieux de faire 2 types d'éclairage :

- un éclairage d'ambiance pour cheminer
- un éclairage pour travailler sur les équipements (comme l'intensité lumineuse actuelle).

7.4 Bilan énergétique

État des lieux :

L’analyse des compteurs du T3 et T3bis montrent une consommation annuelle de l’ordre de 780MWh pour l’ensemble des bâtiments 2 à 5. Grâce aux extrapolations des sous compteurs d’énergie (janvier et février 2024) des bâtiments 2 et 3. On peut estimer que le bâtiment 4 et 5 consomment en moyenne 653MWh.

Selon la simulation, on peut estimer à 443MWh le bâtiment 4 et 175MWh le bâtiment 5.

L’écart de 6% entre la simulation des bâtiments 4+5 et les consommations extrapolées des bâtiments 4+5 montrent que la simulation est calibrée.

La simulation thermique dynamique du bâtiment 5 donne une répartition de la consommation électrique par poste.

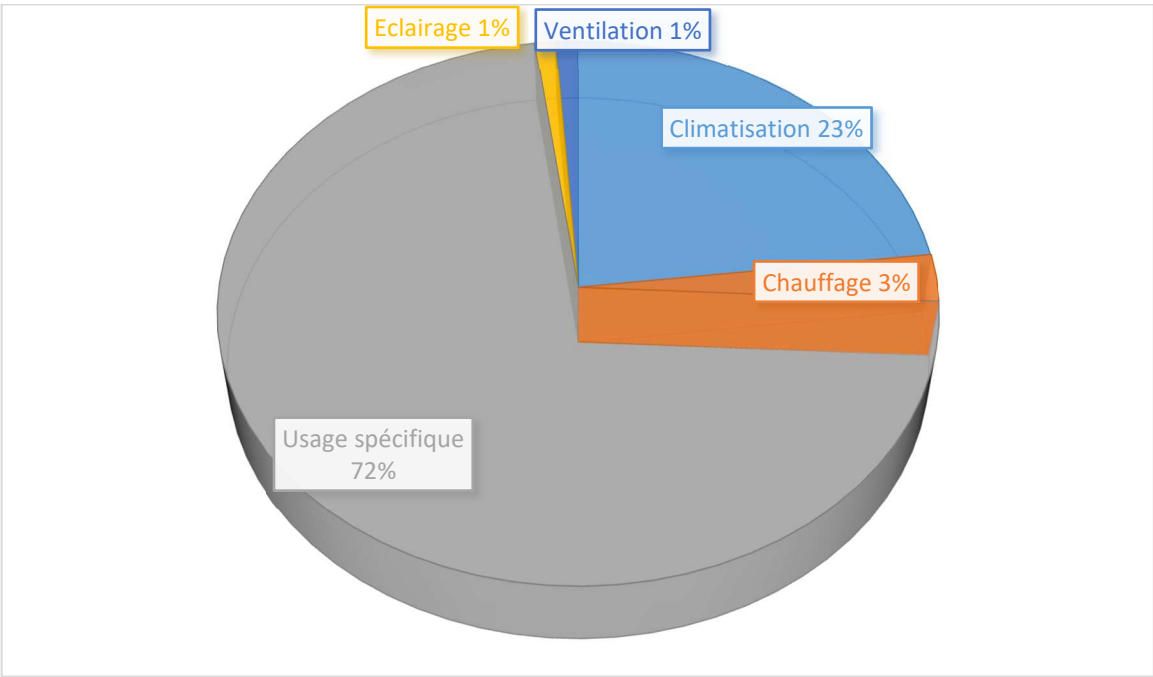


Figure 62 - Répartition des consommations électriques par poste

La majorité des consommations électriques proviennent d’équipements spécifiques de la tour est ne rentrent pas dans les propositions d’améliorations.

Le second poste de consommation est la climatisation aucune piste d’amélioration n’est possible.

7.5 Estimation du coût et impact énergétique des travaux

Les calculs d’économie financières sont calculés à partir de l’hypothèse de 0.367€HT/kWh.

Actions	Coût (k€HT)	Economie / an	
		MWh	k€HT
Remplacement de la porte métallique Remplacement de la porte métallique non isolée par des ouvrants de performances supérieures répondant à la RT par élément. Nota : nécessite la modification du contrôle d’accès	20	1 élec	0,4
	20		

Avec la proposition d’action énoncée précédemment, aucun impact énergétique n’est notable.