

Opération :

Le Haut Bois – Grenoble ZAC Flaubert



Rapport final

Instrumentation & évaluation

Mesure, analyse des performances et présentation des résultats

Contacts

Entité	Personne	email	Téléphone
ARCHITECTES	ASP/Atelier 17C		
BET	TERRANERGIE_Vincent PIERRE	terrenergie@aliceadsl.fr	03 29 57 98 34
MOA	ACTIS_Lise BERTHELON	lise.berthelon@actis.fr	04 76 20 41 48
Exploitant	CCIAG_Philippe GOMES	Philippe.Gomes@cciaq.fr	04 76 33 56 56

Table des matières

1	Présentation du bâtiment et de la campagne de mesures	4
1.1	Objet du document	4
1.2	Fiche synoptique	5
1.3	Implantation du bâtiment	6
1.4	Composition du bâtiment	6
1.5	Qualité de l'enveloppe bâtie	7
1.5.1	Niveau d'isolation	7
1.5.2	Test d'infiltrométrie	9
1.6	Présentation des installations et du suivi réalisés	9
1.6.1	Présentation et suivi de la sous-station	10
1.6.2	Présentation et suivi de l'électricité des services généraux	12
1.6.3	Présentation et suivi de la ventilation	13
1.6.4	Présentation et suivi des logements	14
2	Bilan de consommation générale	16
2.1	Bilan sur les 5 usages réglementaires	16
2.2	Bilan tous usages	18
3	Etude du chauffage	20
3.1	Caractérisation de l'installation	20
3.2	Consommation annuelle	22
3.2.1	Principaux résultats	22
3.2.2	Comparaison avec des bâtiments similaires	23
3.2.3	Puissance appelée	24
3.3	Paramètres influant sur la consommation	25
3.3.1	Qualité de l'enveloppe bâtie	26
3.3.2	Conditions climatiques	26
3.3.3	Températures intérieures	27
3.3.4	Fonctionnement de la régulation principale	28
3.3.5	Fonctionnement de la régulation terminale	32
3.3.6	Impact des apports gratuits	33
3.3.7	Remarque sur le schéma de principe	33
4	Eau chaude sanitaire	35
4.1	Présentation et suivi de l'ECS	35
4.2	Consommation annuelle	36
4.2.1	Principaux résultats	36
4.2.2	Répartition par postes	37
4.2.3	Comparaison avec des bâtiments similaires	38
4.2.4	Evolution des consommations	39
4.2.5	Puissance appelée	39
4.3	Paramètres influant sur la consommation	39
4.3.1	Température de charge ECS	40
4.3.2	Température de départ ECS et retour bouclage	41
4.3.3	Température d'eau froide	42
4.3.4	Niveau des puisages	42
5	Etude de la ventilation	47
5.1	Présentation et suivi de la ventilation	47

5.2	<i>Consommation annuelle</i>	48
5.2.1	Principaux résultats	48
5.2.2	Evolution des débits au niveau des centrales	48
5.2.3	Caractéristiques de fonctionnement des moto ventilateurs	50
5.3	<i>Récupération de chaleur et de froid</i>	51
5.3.1	Récupération de chaleur	51
5.3.2	Récupération de froid	53
5.3.3	Production de froid (Module COOL DX20)	54
5.4	<i>Débit mesuré dans les logements</i>	60
6	Electricité des services généraux	63
6.1	<i>Consommation annuelle tous usages et présentation des différents postes</i>	63
6.1.1	Résultats globaux.....	63
6.1.2	Comparaison avec des bâtiments similaires	64
6.2	<i>Consommation par usage des services généraux</i>	66
6.2.1	Sous-station	66
6.2.2	Eclairage.....	69
6.2.3	Ventilation	71
6.2.4	Rafrâichissement	71
7	Electricité parties privatives	72
8	Qualité des ambiances	74
8.1	<i>Etude du confort d'hiver</i>	74
8.2	<i>Etude du confort d'été</i>	76
8.2.1	Monotones des températures intérieures	76
8.2.2	Méthodes ASHRAE, COSTIC et NF 15 251.....	79
8.3	<i>Qualité d'air intérieur</i>	82
8.3.1	Dioxyde de carbone	82
9	Questionnaires	84
9.1.1	Informations générales sur les occupants	84
9.1.2	Satisfaction générale logement et immeuble	84
9.2	<i>Confort hygrothermique et qualité d'air</i>	85
9.2.1	Hiver.....	85
9.2.2	Eté	86
9.2.1	Qualité d'air intérieur	88
9.3	<i>Equipements</i>	88
9.3.1	Eclairage.....	88
9.3.2	Ventilation	90
9.3.3	Régulation terminale	92
9.3.4	Veilles électriques	93
9.4	<i>Confort acoustique</i>	94
10	Conclusion	96

1 Présentation du bâtiment et de la campagne de mesures

1.1 Objet du document

La ville de Grenoble apparaît, depuis quelques années, comme pionnière en matière d'efficacité énergétique. Après avoir conduit le projet innovant de la ZAC de Bonne qui a préfiguré la Règlementation Thermique 2012, des objectifs encore plus ambitieux ont été fixés dans la ZAC Flaubert. Cette ambition a retenu l'attention de la Caisse des Dépôts qui a sélectionné le projet pour bénéficier du fond « Villes de Demain » de son programme EcoCités. Dans ce cadre, il est demandé à chaque lauréat de réaliser une évaluation par la mesure des performances énergétiques d'un échantillon d'opérations subventionnées.

Le bâtiment neuf *Le Haut bois*, réalisé pour le compte d'Actis, a été sélectionné pour faire l'objet d'une campagne de mesures d'évaluation d'une durée d'un an. L'instrumentation complète de la résidence couvre la période du 16/03/2023 au 16/04/2024.

La période de suivi annuel retenue pour la campagne s'étend du 01/04/2023 au 31/03/2024.

Ce document présente les résultats des analyses menées sur le bâtiment.

1.2 Fiche synoptique

Le Tableau 1 présente le récapitulatif des caractéristiques techniques du bâtiment de logements sociaux *Le Haut Bois*.

Le Haut Bois						
Projet	SHAB	2309 m ²	1570 m ²	SHON (SRT)	3052 m ²	2086 m ²
	Nbre de bâtiments	2				
	Nbre d'étage	R+8	R+5	Nbre de logements	33	23
	Compacité	0,32 (surface déperditives /volume chauffé)				
Enveloppe	Murs extérieurs	Ossature bois-métal - isolation répartie : 200 mm + 45 mm laine de roche		U	0,158	
	Plancher bas	Sur terre-plein : Dalle + 200 mm polyuréthane		U	0,106	
	Toiture	Soufflage en comble perdu de fibres de cellulose 400 mm		U	0,096	
	Menuiseries	Cadre	- Sur balcons et terrasses : cadre bois - Ne donnant pas sur les balcons : cadre aluminium - Portes coursives sur accès logements : cadre bois			
		Type de vitrage	Triple vitrage sauf pour les portes coursives (double-vitrage)			
		Surface en tableau	707 m ²			
		Occultation	Brise Soleil Orientables extérieurs			
Uw	- Sur balcons et terrasses : 0,8-0,9 - Ne donnant pas sur les balcons : 1 - Portes coursives sur accès logements : 1,5					
Systèmes	Chauffage et ECS	Type de production	Réseau de chaleur urbain			
		Puissance max	69 kW			
		Emission	Batterie hydraulique sur air soufflé (débit hygiénique)			
		Régulation terminale	Thermostat d'ambiance			
		Stockage ECS	2 x 1500 L			
		Optimisation de production ECS	Récupérateur sur eau grise			
	Ventilation	Type	2 doubles-flux avec batterie de rafraîchissement			
		Débit	Extraction : 2100 m ³ /h (R+5) et 3060 m ³ /h (R+8) en base Soufflage : 2100 m ³ /h (R+5) et 3060 m ³ /h (R+8) en base			

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques du bâtiment *Le Haut Bois*

1.3 Implantation du bâtiment

Le bâtiment *Le Haut Bois* comprend 56 logements et se situe sur la ZAC Flaubert à GRENOBLE dans le Département de l'ISÈRE.



Figure 1 : Implantation du bâtiment *Le Haut Bois* dans l'îlot.

1.4 Composition du bâtiment

Le Tableau 2 présente la typologie des logements en fonction des différents niveaux.

Bâtiment R+5 23 log. - 1570 m ² Shab	Typologie de logement			
	T2	T3	T4	T5
RDC		2		1
R+1	1	2	1	
R+2	1	2	1	
R+3	1	2	1	
R+4	1	2	1	
R+5	1	2	1	

Bâtiment R+8 33 log. - 2309 m ² Shab	Typologie de logement			
	T2	T3	T4	T5
RDC		2		1
R+1	1	2	1	
R+2	1	2	1	
R+3	1	2	1	
R+4	1	2	1	
R+5	1	2	1	
R+6	1	2	1	
R+7		2	4	
R+8		duplex	duplex	

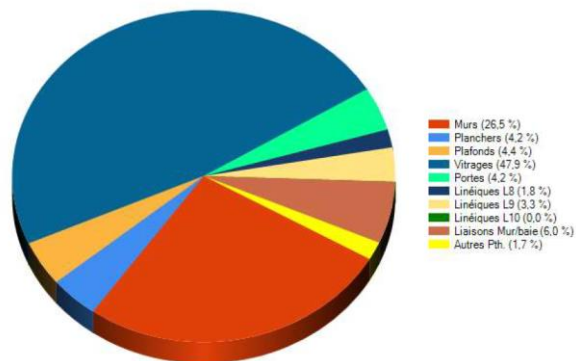
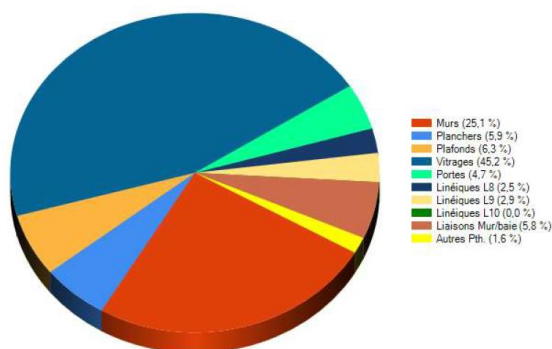
Tableau 2 : Typologie des logements du Haut Bois.

1.5 Qualité de l'enveloppe bâtie

1.5.1 Niveau d'isolation

Les résistances thermiques des différentes parois (identiques pour les 2 bâtiments) sont données dans le Tableau 3 (extrait du calcul thermique).

Les niveaux d'isolation de la toiture ($R=8,5 \text{ m}^2.K/W$), du plancher bas ($R=9 \text{ m}^2.K/W$) et des murs ($R=6 \text{ m}^2.K/W$) sont très performants.



Désignation	Code	Nb	U W/m2.°C	b	Surf.en m² ou Long.en m	Or.	Déperd. W/°C
Mur extérieur	KL.Hisolé		0,166	1,000	865,83	Ext.	143,716
Plafond	Combles		0,119	1,000	304,00	Ext.	36,176
Plancher	Plancher		0,111	1,000	304,00		33,744
Vitrage 1	0,9*2,1A	12	0,991	1,000	22,68	Ext.	25,356
Vitrage 2	0,9*1,10	12	0,954	1,000	11,88	Ext.	13,248
Vitrage 1	088*215 A	48	0,991	1,000	90,84	Ext.	101,616
Vitrage 2	095*215 B	23	0,991	1,000	47,03	Ext.	52,245
Vitrage 3	175*215 B	23	0,832	1,000	86,59	Ext.	79,201
Porte 4	P1.4*2.1	1	2,000	1,000	2,94		6,132
Vitrage 1	175*08A	10	1,175	1,000	14	Ext.	18,49
Porte 1	P1.1*2.1	6	1,500	1,000	13,86	Ext.	22,14
P th. Angle de 2 murs	mursort		0,040	1,000	90,00		3,600
P th. Mur ext./Refend	mur-ref		0,040	1,000	30,00		1,200
P th. Angle de 2 murs	murrent		0,040	1,000	30,00		1,200
P th. Mur ext./Plancher	mur-sol		0,170	1,000	84,00		14,280
P th. Mur ext./Pcher int.	mur-plin		0,040	1,000	420,00		16,800
P th. Mur ext./Plaf. combles	mur-com b		0,040	1,000	84,00		3,360
HT =							572,50

Désignation	Code	Nb	U W/m2.°C	b	Surf.en m² ou Long.en m	Or.	Déperd. W/°C
Mur extérieur	KL.Hisolé		0,166	1,000	1263,54	Ext.	209,745
Plafond	Combles		0,119	1,000	291,00	Ext.	34,629
Plancher	Plancher		0,111	1,000	297,00		32,967
Vitrage 1	175*08A	30	1,175	1,000	42	Ext.	55,47
Porte 1	P1.1*2.1	8	1,500	1,000	18,48	Ext.	29,52
Vitrage 1	088*215 A	44	0,991	1,000	83,3	Ext.	93,148
Vitrage 2	088*215 B	32	0,991	1,000	60,48	Ext.	67,744
Porte 3	P1.4*2.1	1	2,000	1,000	2,94		6,132
Vitrage 1	095*215 B	33	0,991	1,000	67,34	Ext.	74,974
Vitrage 2	175*215 B	33	0,832	1,000	124,1	Ext.	113,65
Vitrage 1	0,9*1,7A	2	0,954	1,000	3,06	Ext.	3,334
Vitrage 1	0,9*1,2a	14	0,954	1,000	15,12	Ext.	16,772
P th. Angle de 2 murs	mursort		0,040	1,000	135,00		5,400
P th. Mur ext./Refend	mur-ref		0,040	1,000	90,00		3,600
P th. Angle de 2 murs	murrent		0,040	1,000	45,00		1,800
P th. Mur ext./Plancher	mur-sol		0,170	1,000	82,00		13,940
P th. Mur ext./Pcher int.	mur-plin		0,040	1,000	656,00		26,240
P th. Mur ext./Plaf. combles	mur-com b		0,040	1,000	76,00		3,040
HT =							792,11

Tableau 3 : Récapitulatif des caractéristiques thermiques moyennes de l'enveloppe du R+5 Nord et du R+8 Sud.

Le Tableau 4 ci-dessous récapitule les niveaux de déperdition de l'enveloppe.

Avec un coefficient de déperdition ramené à la surface « Shon RT » de $0,26 \text{ W/m}^2_{\text{SRT}}.K$ (« Ubat SRT »¹), la qualité énergétique globale de l'enveloppe peut être considérée comme très performante.

A titre de comparaison, les meilleures enveloppes que l'on peut rencontrer aujourd'hui ont valeurs de « Ubat SRT » entre $0,4$ et $0,5 \text{ W/m}^2.K$.

¹ Le « Ubat SRT » est la multiplication du « Ubat » classique du calcul RT (qui quantifie la performance intrinsèque des parois) par la compacité du bâtiment, c'est-à-dire le nombre de m^2 de parois pour 1 m^2 de surface au sol. Le « Ubat SRT » est donc plus proche du besoin de chauffage du bâtiment que le « Ubat » qui ne quantifie que la performance intrinsèque de l'isolation.

A noter que la compacité et le coefficient de forme du bâtiment (Cf. Figure 2 et Figure 3) sont très bonnes, ce qui est favorable à la performance thermique de l’enveloppe.

	R+8 Sud	R+5 Nord
Surface (SRT)	3052 m ²	2086 m ²
Surface déperditives incluant le sol	2268 m ²	1763 m ²
Total déperditions (hors ventilation et infiltrations) W.K	792	572
Déperditions par m ² SRT (W/(m ² .K)	0,26	0,27
Déperditions par m ² paroi (W/(m ² .K)	0,349	0,325
Compacité (Surface déperditives / Surface RT)	0,74	0,65
Coefficient de forme (Surface déperditives / Volume habitable)	0,30	0,34

Tableau 4 : Récapitulatif des déperditions liées à l’isolation.

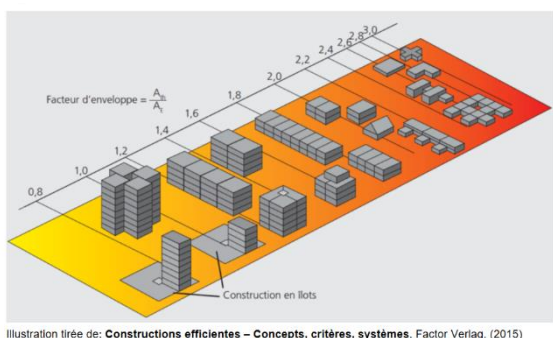


Figure 2 : Illustration de la compacité

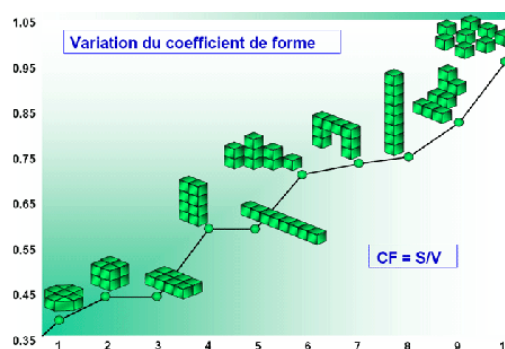


Figure 3 : Illustration du coefficient de forme

Le CEP du projet est 66% plus performant que l’objectif réglementaire RT2012 (Tableau 5). Mais rappelons que le calcul RT est un calcul conventionnel destiné à comparer « sur papier » les projets entre eux au stade de la conception. Il est en général loin d’être représentatif des consommations réelles et n’a pas vocation à constituer un outil de prévisions des consommations physiques effectives du bâtiment.

		Projet	Valeur max réglementaire	Gain par rapport à l'objectif RT2012
R+5	Coefficient Bbio	20,6 sans dimension	72 sans dimension	-71%
	Coefficient Cep	27 kWhep/m ² SRT	74,8 kWhep/m ² SRT	-64%
R+8	Coefficient Bbio	18,2 sans dimension	72 sans dimension	-75%
	Coefficient Cep	25,5 kWhep/m ² SRT	74,8 kWhep/m ² SRT	-67%

Tableau 5 : Récapitulatif des coefficients Bbio et CEP calculés et réglementaires maximaux

1.5.2 Test d'infiltrométrie

Le projet, certifié Passif, a l'obligation d'avoir une étanchéité à l'air répondant au critère d'un $n_{50} \leq 0,6$ Vol/h.

Les résultats obtenus après les tests réalisés par AXURYA (pour le R+8) et QCS Services (pour le R+5) sont :

➤ Bâtiment R+5 :

- $n_{50} = 0,37$ Vol/h
- $Q_4 = 0,2$ m³/(h.m²)

➤ Bâtiment R+8 :

- $n_{50} = 0,18$ Vol/h.
- $Q_4 = 0,18$ m³/(h.m²)

Ces valeurs témoignent d'une excellente étanchéité à l'air.

1.6 Présentation des installations et du suivi réalisés

Nous présentons dans le Tableau 6 les 243 voies de mesures installées sur l'opération (au pas de temps de 10 minutes). Toutes les mesures ont été intégrées à une base de données relationnelles puis traitées avec un outil d'analyse spécifique.

		Nb de voies
Logements	Mesure électrique en tableau	62
	Mesure électrique sur prise	34
	Capteur température / hygrométrie	20
	Capteur température ambiante	10
	Capteur température air soufflé/air extrait	26
	Capteur CO2	10
Ss station	Mesure électrique en tableau	17
	Mesure d'impulsion	12
	Capteur température	16
Services généraux	Mesure électrique en tableau	24
Ventilation	Mesure en tableau électrique	6
	Mesure température	6
Total		243

Tableau 6 : Présentation des postes instrumentés et des différentes voies de mesures de la campagne.

1.6.1 Présentation et suivi de la sous-station

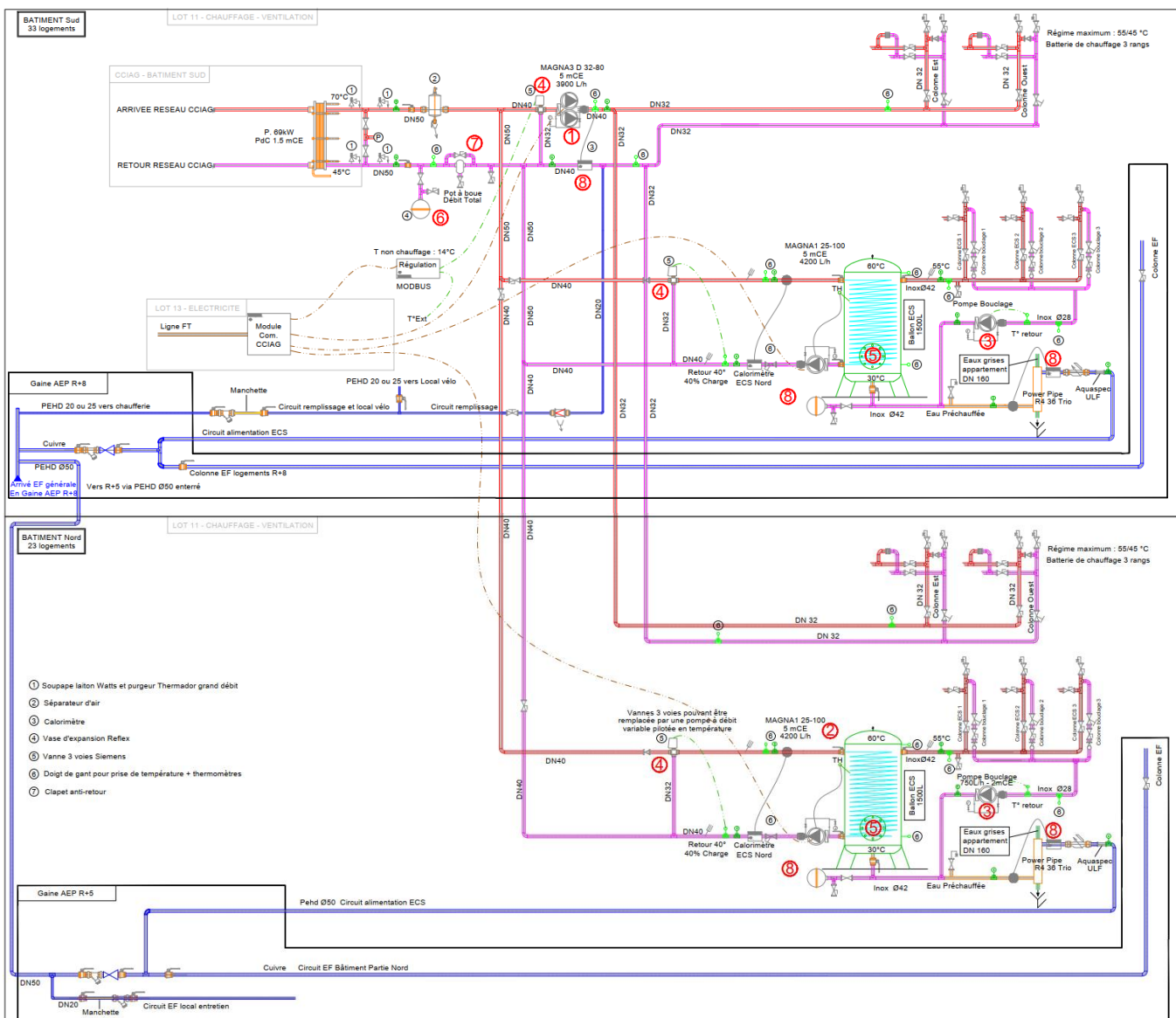


Figure 4 : Schéma de principe des sous-stations

L'installation se compose des éléments suivants :

- Un échangeur à plaques connecté au réseau de chauffage urbain (RCU) de la Compagnie de chauffage intercommunale de l'agglomération grenobloise (CCIAG) ;
- Une double pompe « chauffage » qui assure la circulation entre l'échangeur et le réseau de batteries terminales (1 par log. disposée avant le collecteur de soufflage) ;
- Une pompe de charge du ballon ECS (1 par bât.) au secondaire de l'échangeur ;
- Une pompe de bouclage (1 par bât.) qui assure la circulation de l'ECS dans la boucle ;
- Un récupérateur de chaleur sur eau grise (1 par bât.) qui permet un préchauffage de l'arrivée d'eau froide sur le ballon d'ECS.



Arrivée du RCU

Double pompe
chauffage et pompe de
charge ECSRécupérateur de chaleur
sur eau grise (R+5_Nord)Batteries terminales de chauffage sur
réseau aéraulique

Figure 5 : Photographies des composants de l'installation avant calorifugeage

Les références et caractéristiques du matériel installé sont présentées dans le Tableau 7.

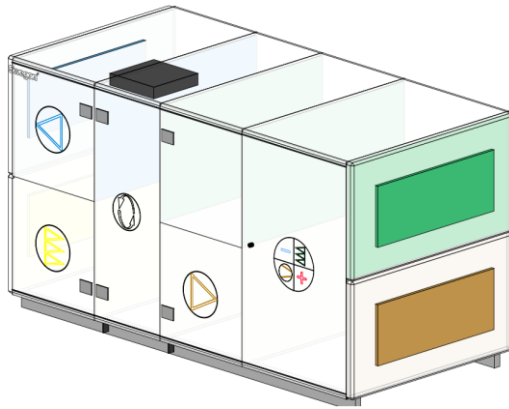
La puissance de chauffage installée est de **17,8 W/m²_{shab}**.

Matériel	Référence	Caractéristiques théorique
Echangeur chauffage urbain	Barriquand BCS*50*750*C*P	Puissance 69 kW thermique Perte de charge 1,5 mCE
Pompe départ chauffage	Grundfos Magna 3 D 32-80	P élec 9-134 W
Batterie terminale	Ouestventil CWA	Logt T2 : 800 W (pour 75 m ³ /h) Logt T3 : 1000 W (pour 90 m ³ /h) Logt T4 : 1200 W (pour 105 m ³ /h)
Pompe charge ECS	Grundfos Magna 1 D 25-100	P élec 9-176 W
Pompe de bouclage ECS	Grundfos Alpha 1 25-40 N 180	P élec 3-18 W
Ballon ECS	Atlantic Corflow	1500 l avec appoint électrique Isolation classe énergétique A
Récupérateur sur eau grise	Powerpipe GA3 (R+5) GA4 (R+8)	GA3 : 3 tubes DN 100 GA4 : 4 tubes DN 100

Tableau 7 : Présentation du matériel utilisé pour la production et la distribution du chauffage.

1.6.3 Présentation et suivi de la ventilation

Chacun des deux bâtiment (R+5_Nord et R+8_Sud) est équipé d'une ventilation double flux à échangeur à roue (SWEGON Gold RX14) avec module *COOL DX* de 6,3kW froid.



Projet: 61739 - ACTIS LE HAUT BOIS
CONSTRUCTION DE 56 LOGEMENTS
PASSIFS ZAC FLAUBERT
Nom de l'unité: R+5 - GOLD RX 14 AVEC
COOL DX
ID de l'unité: AD-10000647921
19 / 1.0.20200129.1184215
Date: 03/02/2020

Air neuf
Air soufflé/tourbillonné
Air repris
Air rejeté

Swegon

1.6.3. REGULATION SUR-VENTILATION ET RAFFRAICHISSEMENT

De base, les CTA ont une consigne de débit fixe :
Bâtiment R+5 : Débit de base = 2100 m³/h
Bâtiment R+8 : Débit de base = 3060 m³/h

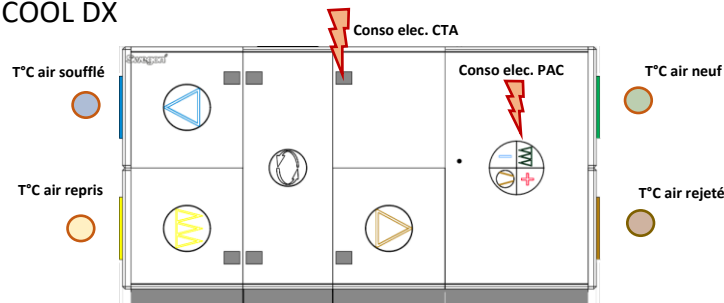
En cas de sur-ventilation et/ou rafraichissement, les débits souhaités sont les suivants :
Bâtiment R+5 : Débit sur ventilation = 3000 m³/h
Bâtiment R+8 : Débit sur ventilation = 4500 m³/h

Les conditions pour que la CTA fonctionne en sur-ventilation sont les suivantes :
- T° reprise DF > 24° et T° extérieur < T° reprise - 2° entre 21h et 8h du matin
- Dès lors que la T° reprise < 22°C, la sur-ventilation s'arrête

Les conditions pour que la CTA fonctionne en rafraichissement (donc activation du module DX) sont les suivantes :
- T° reprise DF > 26° et T° extérieur > 20° entre 21h et 8h du matin
- Dès lors que la T° reprise < 22°C, la sur-ventilation s'arrête

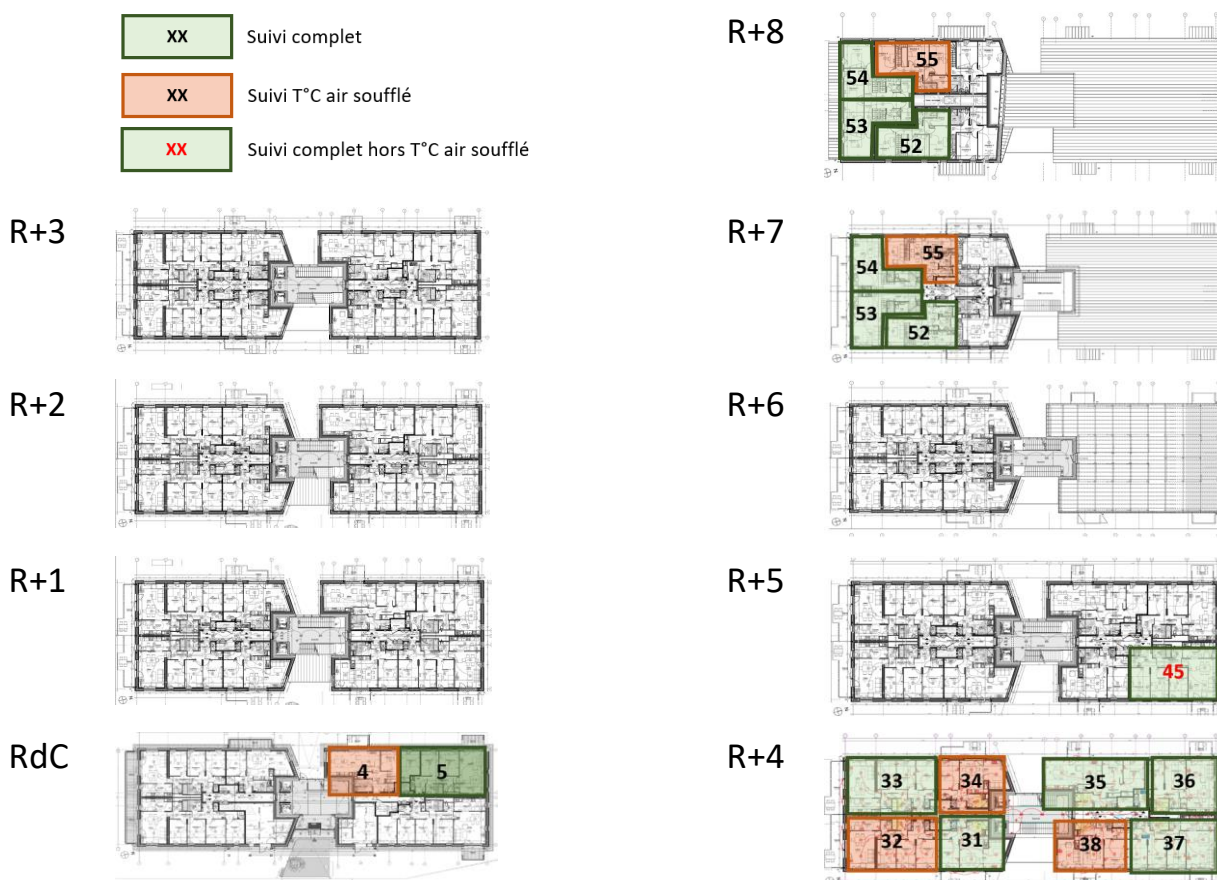
Des mesures de température ont été réalisées sur les flux d'air entrant et sortant des deux CTA.

Des mesures de consommations électriques ont également été faites sur la CTA et sur module de rafraîchissement COOL DX



1.6.4 Présentation et suivi des logements

La localisation des logements instrumentés est présentée ci-dessous



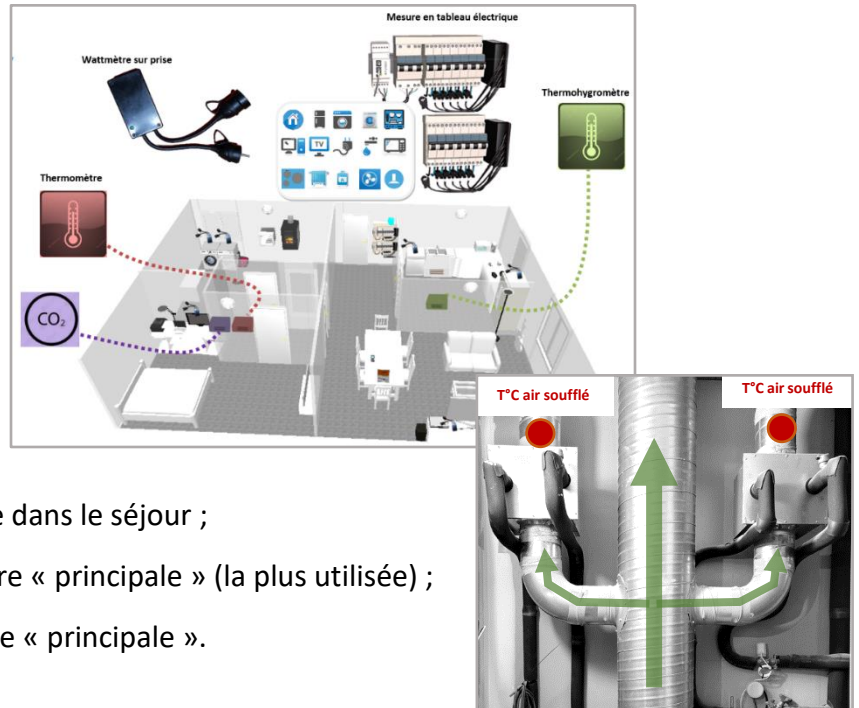
R+8_Sud		
Log. 31	T2	R+4
Log. 33	T4	R+4
Log. 52	T4 Duplex	R+7
Log. 53	T3 Duplex	R+7
Log. 54	T3 Duplex	R+7

R+5_Nord		
Log. 5	T3	RdC
Log. 35	T3	R+4
Log. 36	T3	R+4
Log. 37	T4	R+4
Log. 45	T4	R+5

Tableau 8 : Localisation et typologie des logements instrumentés en « suivi complet ».

Dans le cadre d'un « suivi complet », les usages suivis dans les 10 logements ont été les suivants :

- Suivi électrique :
 - Général logement ;
 - Poste éclairage ;
 - Poste froid ;
 - Poste cuisson électrique ;
 - Poste lavage ;
 - Poste informatique.
- Suivi du confort :
 - Température et hygrométrie dans le séjour ;
 - Température dans la chambre « principale » (la plus utilisée) ;
 - Taux de CO₂ dans la chambre « principale ».
 - Température de l'air soufflé
- Mesures instantanées réalisées :
 - Débits de puisage aux points suivants : cuisine, douche et lavabo SDB ;
 - Débits aux bouches de ventilation.



2 Bilan de consommation générale

2.1 Bilan sur les 5 usages réglementaires

Le Tableau 9 et la Figure 8 présentent le bilan global de consommation des 5 usages réglementaires du bâtiment (chauffage, ECS, ventilation et auxiliaires, climatisation et éclairage parties privatives) ramené à sa surface habitable.

Afin de comparer les consommations au calcul réglementaire, seules les consommations électriques suivantes ont été prises en compte dans le bilan :

- Ventilations ;
- Auxiliaires de distribution de chauffage : pompes de distribution de chauffage, pompe de charge ECS, pompe de bouclage ECS, régulation sous-station ;
- Eclairage des parties privatives (éclairage des services généraux non pris en compte comme dans le calcul RT).

Pour le chauffage et la production d'ECS, nous considérons :

- Un coefficient de conversion entre énergie primaire et énergie finale égale à 1 dans le cas d'une production de chauffage par RCU (hypothèse de base pour un RCU sur les études Ecocité) ;
- Un rapport de 0,88 entre énergie finale et énergie utile lié aux pertes de l'échangeur et de la distribution d'ECS vers la sous station Nord ².

Pour le refroidissement, nous avons déterminé un COP de 1 sur le module R+8_Sud et de 1,6 sur le module R+5_Nord comme rapport entre énergie finale et énergie utile mesurées (Cf.5.3.3)

	Energie utile mesurée	Energie finale mesurée	Energie primaire « conventionnelle »	Calcul RT	Energie primaire « physique »
Chauffage	5,7	6,5	6,5	7,8	6,5
Refroidissement	1,6	1,5	3,9	0,0	4,8
ECS	25,1	28,5	28,5	17,2	28,5
Auxiliaires de distribution	0,8	0,8	2,1	0,0	2,6
Ventilation	5,3	5,3	13,8	3,6	17,1
Eclairage (parties privative)	1,3	1,3	3,3	6,0	4,1

Coeff. Ep Electricité / Gaz / RCU :
« Conventionnelle » : 2,58 / 1 / 1
« Physique » : 3,2 / 1,16 / 1

6,5 : Valeur mesurée
6,5 : Valeur convertie
7,8 : Valeur calculée

Tableau 9 : Consommation surfacique (Shab.) mesurée du bâtiment (5 usages avec comparaison au calcul RT).

² L'énergie associée aux pertes (échangeur + distribution ECS) est la différence entre le compteur de chaleur de facturation du RCU et la somme des sous-compteurs de chaleur du bâtiment.

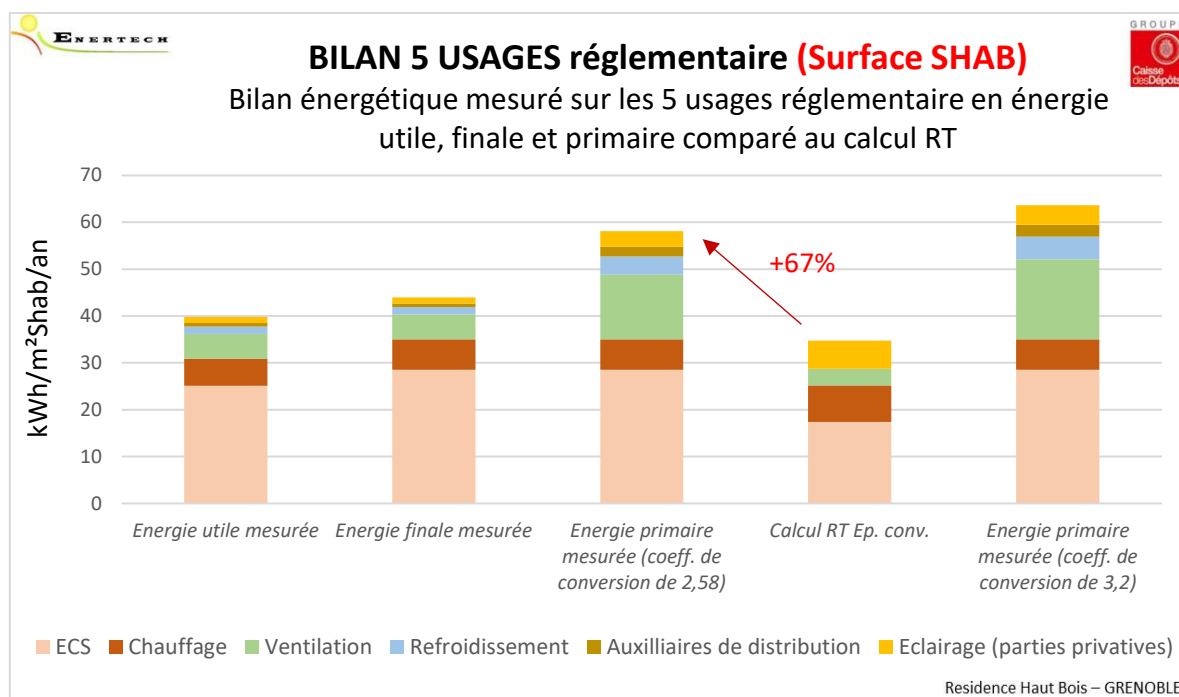


Figure 8 : Bilan énergétique mesuré sur les 5 usages réglementaires en énergie utile, finale et primaire.

Comme on le voit sur ces résultats, les consommations du calcul RT2012 sont loin d'être représentatives des consommations réelles qui dans le cas présent sont de 67% supérieures au calcul (34,8 kWh_{ep}/m²_{shab}/an dans le calcul, 58,1 kWh_{ep}/m²_{shab}/an dans la réalité). L'écart est principalement observé sur la ventilation, avec une consommation d'électricité quatre fois plus élevée que celle du calcul RT (3,6 kWh_{ep}/m²_{shab}/an dans le calcul, 13,8 kWh_{ep}/m²_{shab}/an dans la réalité).

Notons également qu'aucune consommation de refroidissement n'a été prise en compte dans le calcul RT.

Il n'en demeure pas moins que le bilan 5 usages mesuré du bâtiment le Haut Bois, avec 58,1 kWh_{ep}/m²_{shab}/an, est très performant figure parmi les bilans les plus performants que nous ayons mesurés en résidentiel collectif.

Remarques générales sur les consommations 5 usages mesurées

Le bâtiment Le Haut Bois affiche un besoin de chauffage très performant avec 5,7 kWh_{ut}/m²_{shab}/an, reflet de l'excellente performance thermique de son enveloppe. Ce besoin de chauffage est le plus bas que nous ayons jamais mesuré sur un bâtiment résidentiel collectif.

Le besoin utile d'ECS, avec 25,1 kWh_{ut}/m²_{shab}/an est proche de la moyenne observée en énergie utile sur des bâtiments collectifs performants avec production centralisée et réseau de bouclage (moyenne observée autour de 27 kWh_{ut}/m²_{shab}/an).

2.2 Bilan tous usages

La Figure 9 et le Tableau 10 présentent le bilan global de consommation tous usages du bâtiment, c'est-à-dire intégrant l'électricité privative des logements ainsi que l'ensemble des usages services généraux y compris ceux non pris en compte dans le bilan précédent comme l'éclairage, les ascenseurs, portail et portes d'entrée, ...

La consommation en énergie finale (électrique) totale du bâtiment le Haut Bois est de 80,8 kWh_{ef}/an/m²_{Shab}.

L'électricité privative (celle des logements) représente 34,6 kWh_{ef}/an/m²_{Shab} soit quasiment la moitié de la consommation totale du bâtiment ramenée à sa surface habitable. Ce poste - regroupant de nombreux usages - demeure la priorité de demain si l'on souhaite réduire l'empreinte environnementale des bâtiments ainsi que la facture énergétique des ménages.

L'électricité des SG (hors consommation des modules de refroidissement) est de 9,6 kWh_{ef}/m²_{shab}/an ce qui est 38% inférieur à la moyenne des relevés que nous menons depuis plusieurs années sur des bâtiments résidentiels performants. (Cf 6.1.2)

	Energie utile mesurée	Energie finale mesurée	Energie primaire « conventionnelle »	Energie primaire « physique »
Chauffage	5,7	6,5	6,5	6,5
Refroidissement	1,6	1,5	3,9	4,8
ECS	25,1	28,5	28,5	28,5
Electricité SG	9,6	9,6	24,9	30,9
Electricité privative	34,6	34,6	89,3	110,7

Coeff. Ep Electricité / Gaz / RCU :
« Conventionnelle » : 2,58 / 1 / 1
« Physique » : 3,2 / 1,16 / 1

6,5 : Valeur mesurée
6,5 : Valeur convertie

Tableau 10 : Consommations surfacique (Shab.) mesurées du bâtiment (tous usages).

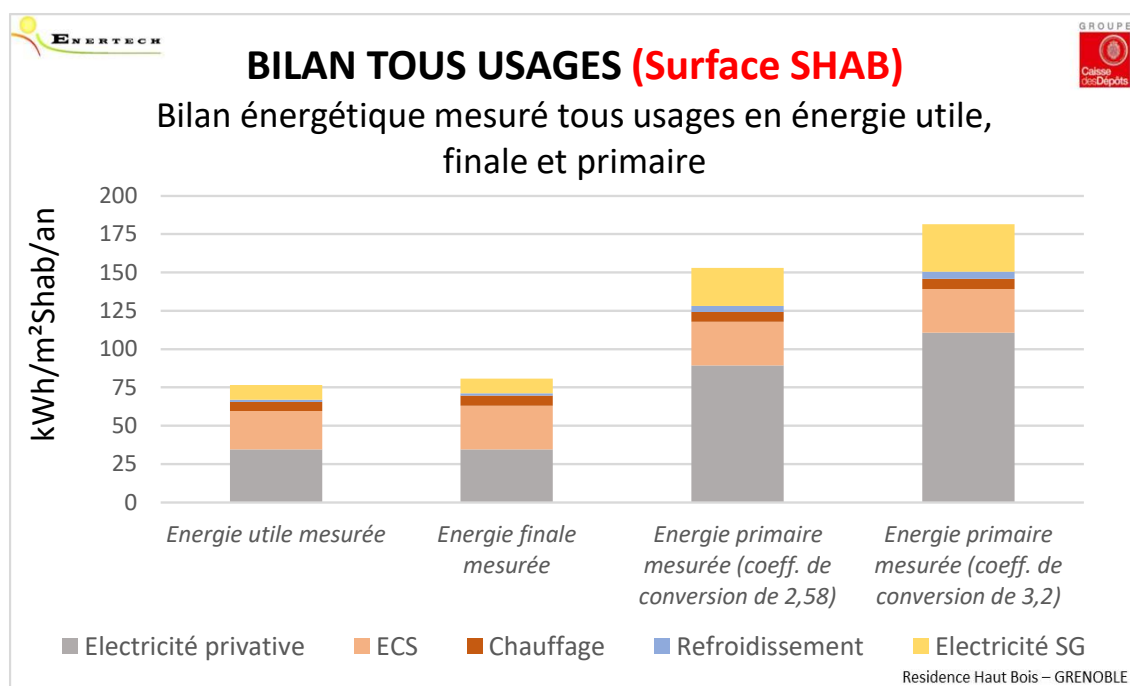


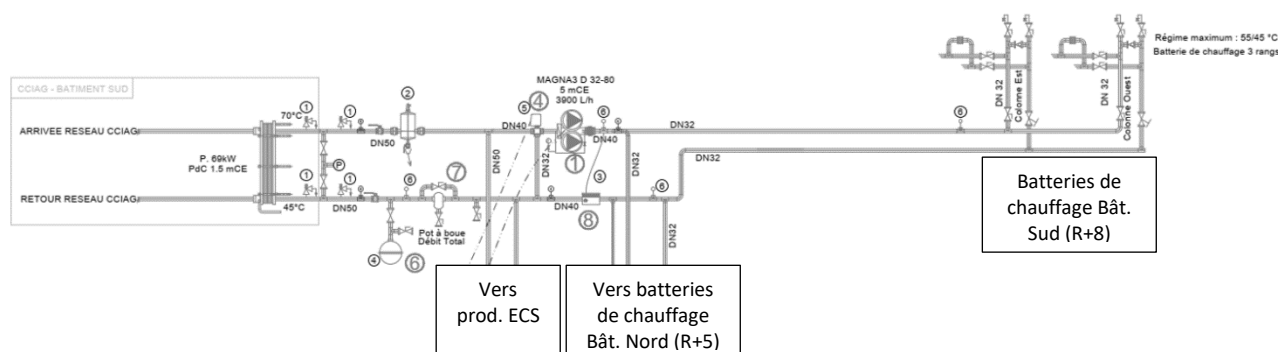
Figure 9 : Bilan énergétique mesuré sur l'ensemble des usages en énergie utile, finale et primaire.

Au niveau du bilan en énergie primaire tous usages, le Haut Bois affiche un total de 153,1 kWh_{ep}/m²_{shab}/an (coefficient 2,58 pour l'électricité) à comparer au seuil de 120 kWh_{ep}/m²_{shab}/an du label passif. Le résultat global est donc très performant mais là encore le poids de l'électricité spécifique privative apparaît comme un sujet incontournable.

3 Etude du chauffage

3.1 Caractérisation de l'installation

La Figure 10 présente des photographies des principaux composants de l'installation de chauffage.



Pour rappel, l'installation de chauffage se compose des éléments suivants :

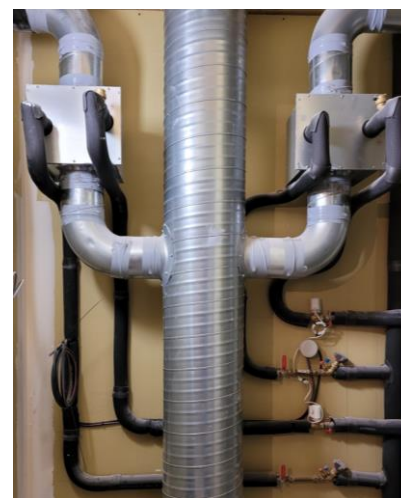
- Un échangeur à plaques connecté au réseau de chauffage urbain (RCU) de la Compagnie de Chauffage Intercommunale de l'Agglomération Grenobloise (CCIAG)
- Une double pompe « chauffage » qui assure la circulation entre l'échangeur et le réseau de batteries terminales (une par log. disposée avant le collecteur de soufflage).
- Une batterie de soufflage par logement pilotée par des V2V asservie au thermostat d'ambiance du logement.



Arrivée du RCU (avant calorifugeage)



Double pompe chauffage et pompe de charge ECS



Batteries terminales de chauffage sur réseau aéraulique

Figure 10 : Photographies des composants de l'installation

Les références et caractéristiques du matériel installé sont présentées dans le Tableau 7.

La puissance de chauffage installée est de **17,8 W/m²_{shab}**. Cette valeur est extrêmement faible et permet de chauffer par l'air hygiénique sans sur-débit.

Matériel	Référence	Caractéristiques théorique
Echangeur chauffage urbain	Barriquand BCS*50*750*C*P	Puissance 69 kW thermique Perte de charge 1.5 mCE
Pompe départ chauffage	Grundfos Magna 3 D 32-80	P élec 9-134 W
Batterie terminale	Ouestventil CWA	Logt T2 : 800 W (pour 75 m3/h) Logt T3 : 1000 W (pour 90 m3/h) Logt T4 : 1200 W (pour 105 m3/h)

Tableau 11 : Présentation du matériel utilisé pour la production et la distribution du chauffage.

Le principe de fonctionnement théorique tel que décrit dans l'analyse fonctionnel est le suivant :

« La température de départ d'eau suit une consigne dépendante de la température extérieure
La régulation consiste à assurer une température de départ d'eau par action PID sur l'ouverture ou la fermeture de la V3V. La consigne de température est déterminée à l'aide d'une loi d'eau suivante :

T°C ext.	T°C départ
-11°C	60°C
15°C	20°C

Une température de non chauffe de 15°C est paramétrée permettant de couper le circuit lorsque la température extérieure est supérieure à 15°C »

3.2 Consommation annuelle

3.2.1 Principaux résultats

La période de mesures étudiée dans ce chapitre se déroule du 01/04/2023 au 31/03/2024

Durant cette période, le chauffage a fonctionné 208 jours. Cette durée correspond aux durées régulièrement observées sur nos campagnes de mesures. Au regard de la courbe ci-dessous, la période de chauffe aurait pu être réduite afin de réduire la consommation électrique.

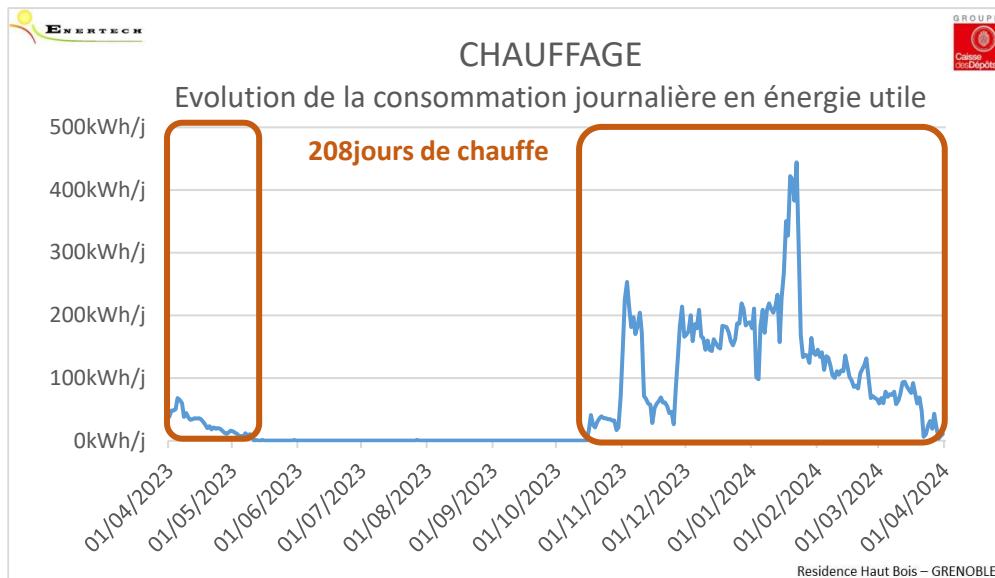


Figure 11 : Evolution de la consommation journalière de chauffage

Nous considérons un coefficient de conversion entre énergie primaire et énergie finale égal à 1 dans le cas d'une production de chauffage par RCU.

Nous avons calculé un rapport de 0,88 entre énergie finale et énergie utile lié aux pertes de l'échangeur et de la distribution d'ECS vers la sous station Nord.³

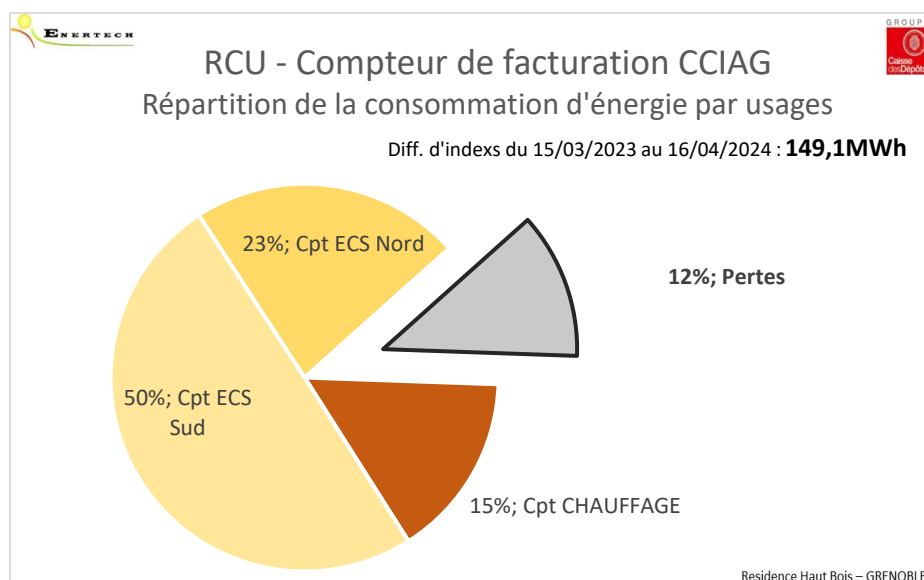


Figure 12 : Répartition des consommations d'énergies par usages

³ L'énergie associée aux pertes (échangeur + distribution ECS) est la différence entre le compteur de chaleur de facturation du RCU et la somme des sous-compteurs de chaleur du bâtiment.

La consommation de chauffage mesurée s'élève à 22,2MWh_{ut}/an, soit **6,5 kWh_{ep}/an/m²_{Shab}**

La valeur prévue par le calcul RT2012 est très proche de la mesure, avec un besoin de chauffage estimé à 7,8 kWh_{ep}/an/m²_{Shab}

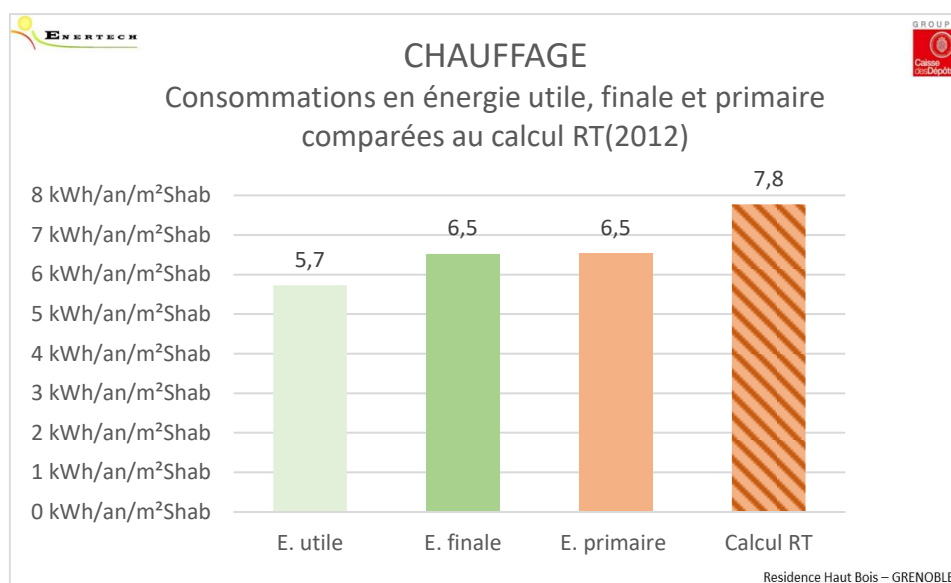


Figure 13 : récapitulatifs des consommations de chauffage en énergie utile, énergie finale et énergie primaire.

3.2.2 Comparaison avec des bâtiments similaires

Sur la Figure 14 sont présentées les opérations neuves performantes que nous avons suivies par la mesure ces dernières années. **La résidence Le Haut Bois est la résidence la plus performante, que ce soit en énergie utile ou en énergie primaire.** La consommation en énergie utile est près de 10 fois en dessous de la valeur moyenne 5,7 kWh_{ut}/an/m²_{Shab}, ce qui est remarquablement faible (moyenne à 50 kWh_{ut}/an/m²_{Shab}).

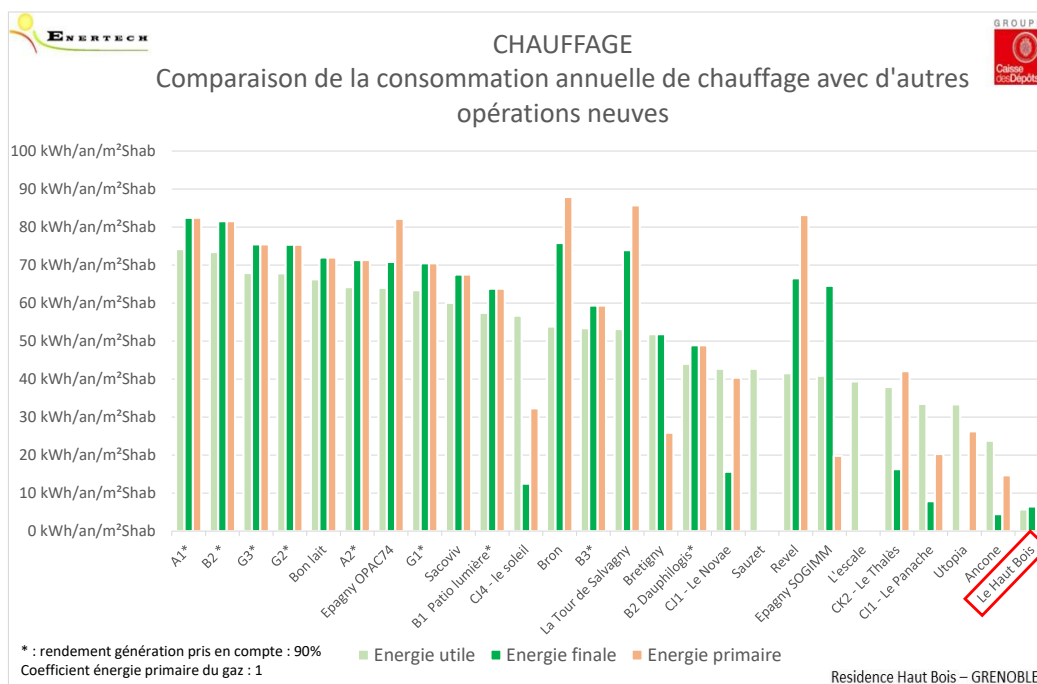


Figure 14 : Comparaison de la consommation surfacique de chauffage avec d'autres opérations neuves performantes.

3.2.3 Puissance appelée

La Figure 15 présente les monotones (horaire et à 10 minutes) de la **puissance utile** totale de chauffage appelée. Nous faisons les commentaires suivants :

- La puissance maximale horaire appelée est de 30 kW_{ut} (7,7 W_{ut}/m²Shab).
- Les déperditions estimées à 0,26W/(m²SRT.K) sont cohérentes avec une puissance maximale horaire appelée de 5,6W_{ut}/m²SRT
- La puissance maximale à 10 minutes est sensiblement égale à la puissance maximale horaire.

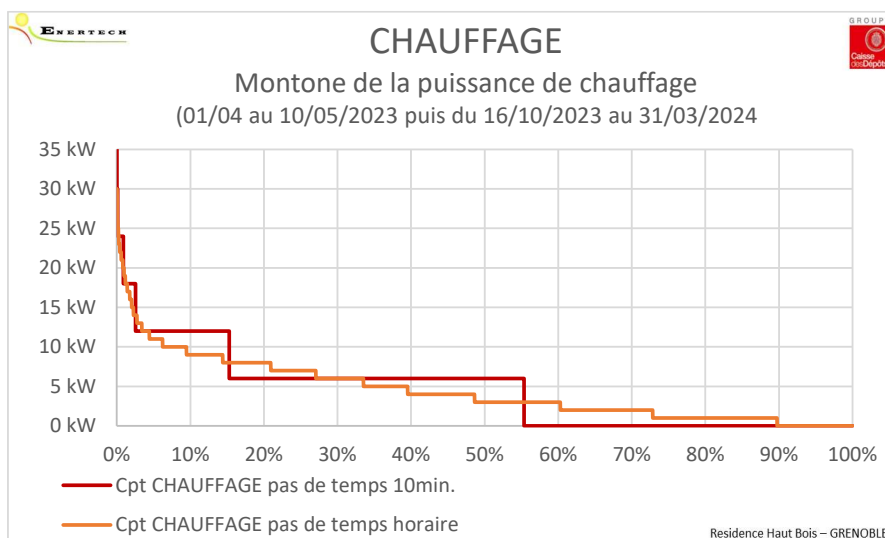


Figure 15 : CHAUFFAGE - Monotone de la puissance de chauffage appelée - (saison de chauffe : du 01/04 au 10/05/2023 et du 16/10/2023 au 31/03/2024)

Si l'on ajoute à la puissance utile de chauffage celle appelée par l'ECS, nous constatons que la puissance maximale soutirée au RCU est inférieure à 50kW_{ut}.

Alors que l'abonnement s'élève à 69kW_{ut}, 95% des occurrences des puissances appelées sont inférieure à 30kW_{ut}.

Moyennant la mise en place d'un dispositif permettant de plafonner la puissance soutirée au RCU, la puissance d'abonnement pourrait être revue à la baisse.

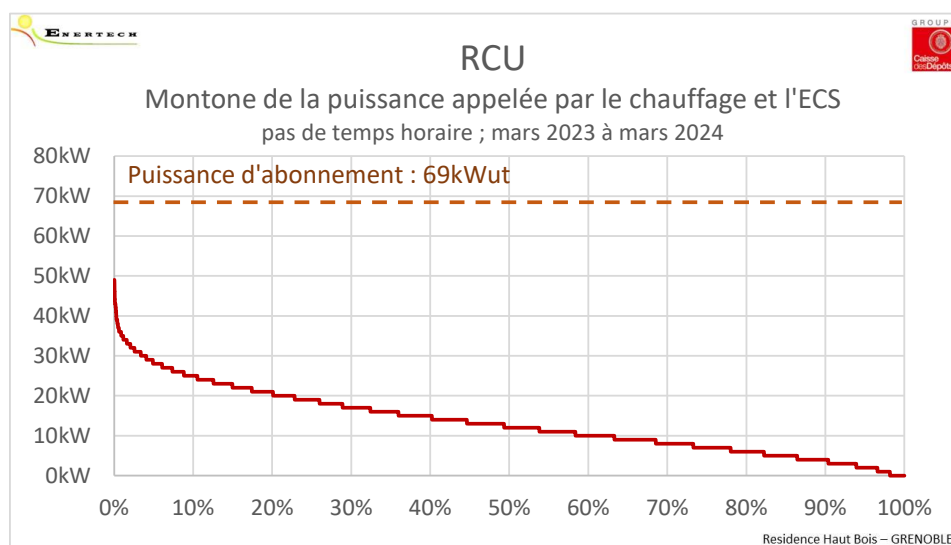


Figure 16 : RCU - Monotone de la puissance appelée de chauffage et d'ECS

3.3 Paramètres influant sur la consommation

Les paramètres influant sur la consommation de chauffage sont nombreux : performance du bâti, fonctionnement des systèmes, température extérieure, ensoleillement, comportement des occupants, etc. Il est ainsi très délicat de les quantifier précisément.

Nous passons en revue ci-dessous quelques paramètres d'influence qui permettent de prendre du recul sur la consommation de chauffage mesurée :

- **Le niveau d'isolation** ainsi que l'étanchéité à l'air du bâtiment sont bien sûr des paramètres déterminants sur la consommation de chauffage (Cf. § 1.5) ;
- **L'influence des conditions climatiques** : l'hiver 2023/2024 est plus clément que les hivers précédents (Cf. § 3.3.2), ce qui constitue un paramètre favorable ;
- **La température de consigne**, facteur déterminant, « coûte » environ 15% de consommation de chauffage supplémentaire par degré supplémentaire à l'intérieur des logements. Avec les températures mesurées sur ce bâtiment (21,4°C en moyenne en saison de chauffe), on peut estimer que la surconsommation a été de quasiment 36% par rapport à une température théorique de 19°C ;
- **Le bon fonctionnement de la génération de chaleur**, qui dans le cas d'un réseau de chauffage urbain ne doit pas être un sujet ;
- **La régulation centrale** : des températures du circuit de chauffage trop élevées favorisent les pertes de distribution, gênent la récupération des apports gratuits et provoquent des surchauffes dans les logements en cas de défaillance de la régulation terminale. Dans le cas du bâtiment le haut bois, l'eau n'est pas envoyée trop chaude mais présente une loi d'eau quasi plate (pied de courbe élevé) jusqu'au 21/03/2024 (cf. § 3.3.4). Le fonctionnement de régulation terminale semble quant à lui présenter quelques dysfonctionnements (§ 3.3.5) ;
- **Le fonctionnement de la ventilation** (Cf. § 5). Sur la CTA Nord, les débits maximums de ventilation (uniquement prévus pour les périodes nocturnes estivales) étaient activés même en période hivernale, générant une surconsommation de chauffage inutile liée aux pertes de l'échangeur à roue ;
- **L'importance des apports internes**, notamment ceux relatifs aux consommations électrodomestiques. Ces dernières sont plutôt élevées sur ce bâtiment ce qui est favorable à la consommation de chauffage (Cf. § 3.3.6) ;
- **Le comportement des usagers concernant l'ouverture des fenêtres en période de chauffe** peut avoir une influence forte dans certains cas. 80% des personnes interrogées déclarent ouvrir leur fenêtre en hiver, principalement pour « évacuer les mauvaises odeurs » (Cf. §9.3.2).

3.3.1 Qualité de l'enveloppe bâtie

Le niveau et la qualité de l'isolation et de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe sont évidemment déterminants sur les consommations de chauffage.

Rappelons que :

- Le niveau d'isolation de l'enveloppe est excellent (Cf. § 1.5.1) ;
- La compacité du bâtiment est plutôt excellente.

Le produit de ces deux paramètres caractérise la déperdition du bâtiment par unité de surface au sol, ici $0,26 \text{ W/m}^2_{\text{SRT.K}}$ ce qui est excellent.

3.3.2 Conditions climatiques

Les conditions météorologiques constituent un paramètre explicatif important des consommations. Les figures ci-dessous représentent l'évolution des degrés jours unifiés (DJU) et de l'ensoleillement sur plusieurs années.

La saison de chauffe de la période étudiée (01/04/2023 au 31/03/2024) est la saison la plus clémente de ces 40 dernières années : 2345 DJU (base 18) contre 2777 DJU pour les normales saisonnières de 1983 à 2023.

On peut également indiquer que l'année étudiée a été moyennement ensoleillée avec 2146 heures d'ensoleillement contre 2189 heures en moyenne sur les années 2003 à 2023.

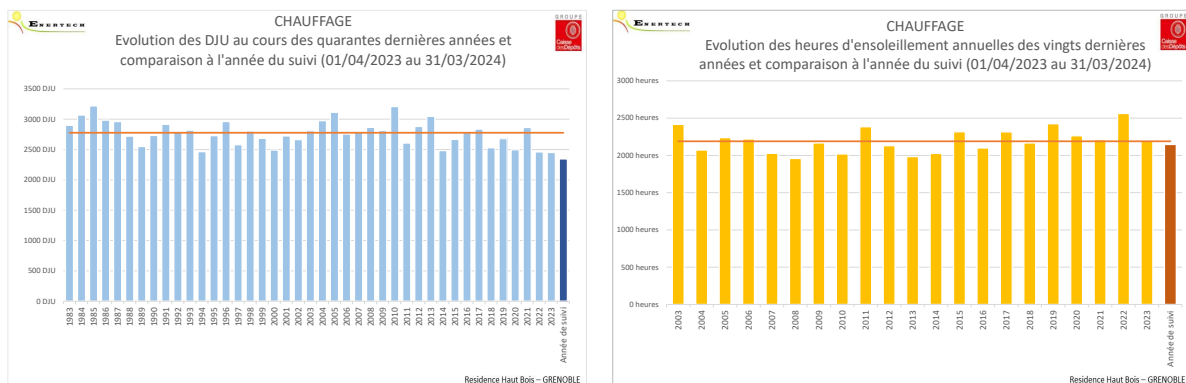


Figure 17 : Evolution des DJU et des heures d'ensoleillement sur plusieurs années et comparaison à l'année du suivi.

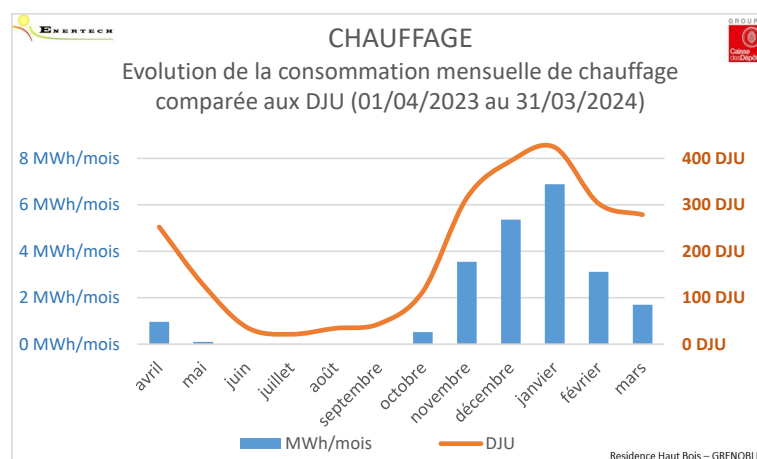


Figure 18 : Consommation mensuelle de chauffage comparées aux DJU

3.3.3 Températures intérieures

Se référer à l'étude détaillée du confort d'hiver (Cf. § 8). Dans le Tableau 12 on observe qu'en moyenne sur l'hiver, la température des logements étudiés s'établit à 21,8°C dans les séjours et 20,8°C dans les chambres (**moyenne de 21,4°C** pour l'ensemble des pièces suivies).

Dans les séjours, toutes les températures moyennes observées sont supérieures à 20°C.

Les logements 45 et 52 montrent des températures de séjours supérieures à 23°C plus de la moitié du temps de la période considérée (respectivement 60 et 66%).

En moyenne sur le bâtiment, la température ambiante mesurée a été en dessous des 19°C réglementaire pendant 1% de la période hivernale. Ces rares épisodes peuvent être liées au système de chauffage mais aussi au comportement des usagers (aération par ouverture des fenêtres).

Le reste du temps, soit 99% de la période de l'hiver, la température moyenne dans le bâtiment a été au-dessus des 19°C réglementaires. Dans les séjours, où se situent les thermostats d'ambiance, la température ambiante a même été au-dessus de 21°C pendant 88% de la période hivernale.

S'il est souhaitable que ces 19°C soient dépassés grâce aux apports internes et/ou solaires en hiver, il est regrettable que le système de chauffage ait fonctionné sans discontinuité : rappelons qu'1°C supplémentaire sur la température ambiante entraîne dans un bâtiment à faible consommation une surconsommation de chauffage de l'ordre de 14

du 01/12/23 au 29/02/24 (2184 h)	Moyenne bâtiment	log 35 - HM salon	log 36 - HM salon	log 37 - HM salon	log 45 - HM salon	log 31 - HM salon	log 33 - HM salon	log 52 - HM salon	log 53 - HM salon	log 54 - HM salon
T°C moyenne	21,8	22,1 °C	20,4 °C	22,2 °C	23,1 °C	20,0 °C	21,8 °C	24,5 °C	20,8 °C	21,2 °C
T°C max	23,8	26,8 °C	25,5 °C	26,3 °C	25,3 °C	23,6 °C	29,9 °C	32,8 °C	25,5 °C	26,1 °C
T°C min	18,4	16,9 °C	17,2 °C	19,7 °C	18,3 °C	16,1 °C	16,0 °C	16,0 °C	16,0 °C	17,7 °C
% < 19°C	1%	7%	6%	0%	0%	13%	1%	0%	5%	1%
% entre 19 et 21°C	12%	27%	71%	14%	3%	73%	22%	0%	21%	33%
% entre 21 et 23°C	83%	26%	20%	61%	37%	14%	64%	33%	64%	65%
% > 23°C	5%	40%	3%	25%	60%	0%	13%	66%	10%	1%

du 01/12/23 au 29/02/24 (2184 h)	Moyenne bâtiment	log 36 - T°C chambre	log 37 - T°C chambre	log 45 - T°C chambre	log 33 - T°C chambre	log 52 - T°C chambre	log 53 - T°C chambre	log 54 - T°C chambre
T°C moyenne	20,8	19,9 °C	20,1 °C	21,3 °C	19,0 °C	22,7 °C	22,3 °C	20,5 °C
T°C max	22,6	23,4 °C	22,8 °C	23,5 °C	21,7 °C	31,4 °C	26,0 °C	22,9 °C
T°C min	18,3	7,5 °C	17,2 °C	19,0 °C	10,9 °C	16,9 °C	20,2 °C	17,5 °C
% < 19°C	1%	29%	3%	0%	40%	0%	0%	5%
% entre 19 et 21°C	61%	31%	82%	33%	59%	9%	3%	56%
% entre 21 et 23°C	38%	37%	15%	66%	2%	50%	77%	39%
% > 23°C	0%	3%	0%	1%	0%	40%	21%	0%

Tableau 12 : Résultats détaillés des températures horaires relevées au cours de la campagne de mesures entre le 1er décembre 2023 et le 28 février 2024 dans 9 logements du Haut Bois

La température moyenne observée sur le bâtiment Le Haut bois est quasiment égale à la température moyenne des bâtiments déjà mesurés par Enertech.

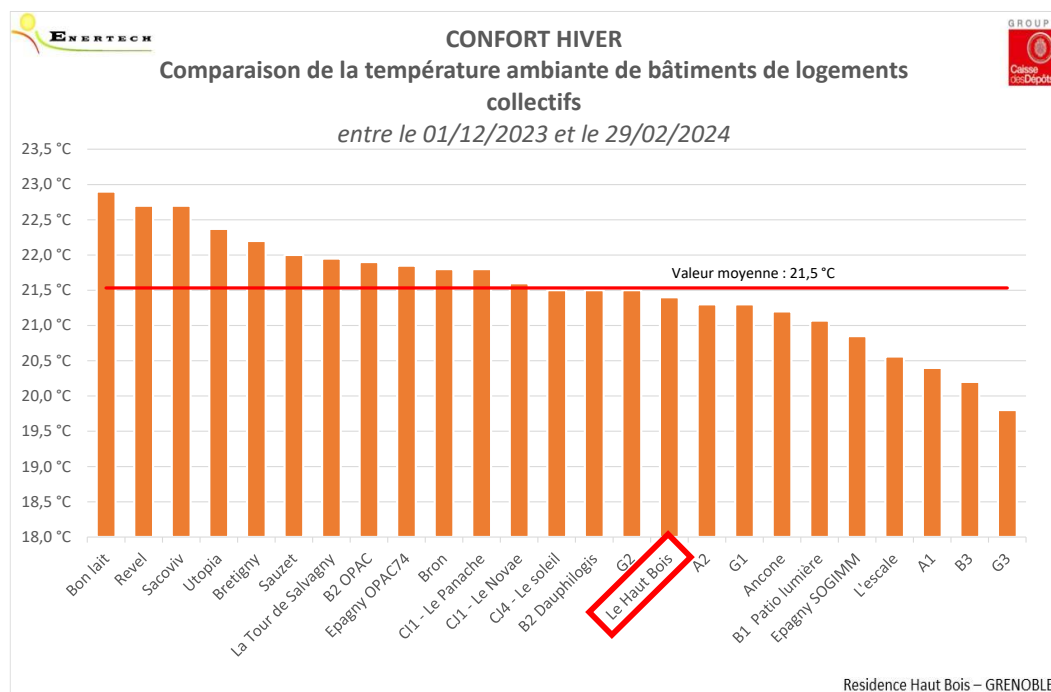


Figure 19 : Comparaison de la température intérieure moyenne hivernale du Cl1 avec celles mesurées sur d'autres bâtiments de logements collectifs.

3.3.4 Fonctionnement de la régulation principale

Le principe de fonctionnement théorique tel que décrit dans l'analyse fonctionnelle est le suivant :

« La température de départ d'eau suit une consigne dépendante de la température extérieure
La régulation consiste à assurer une température de départ d'eau par action PID sur l'ouverture ou la fermeture de la V3V. La consigne de température est déterminée à l'aide de la loi d'eau suivante :

T°C ext.	T°C départ
-11°C	60°C
15°C	20°C

« Une température de non chauffe de 15°C est paramétrée permettant de couper le circuit lorsque la température extérieure est supérieure à 15°C »

Sur la Figure 20 et la Figure 21, nous observons que la loi d'eau théorique, tel que décrite dans l'analyse fonctionnelle, n'a été paramétrée qu'à partir du 21/03/2024. Avant cette période, la loi d'eau était nettement surélevée. Le pied de la courbe ne semble pas avoir été paramétré.

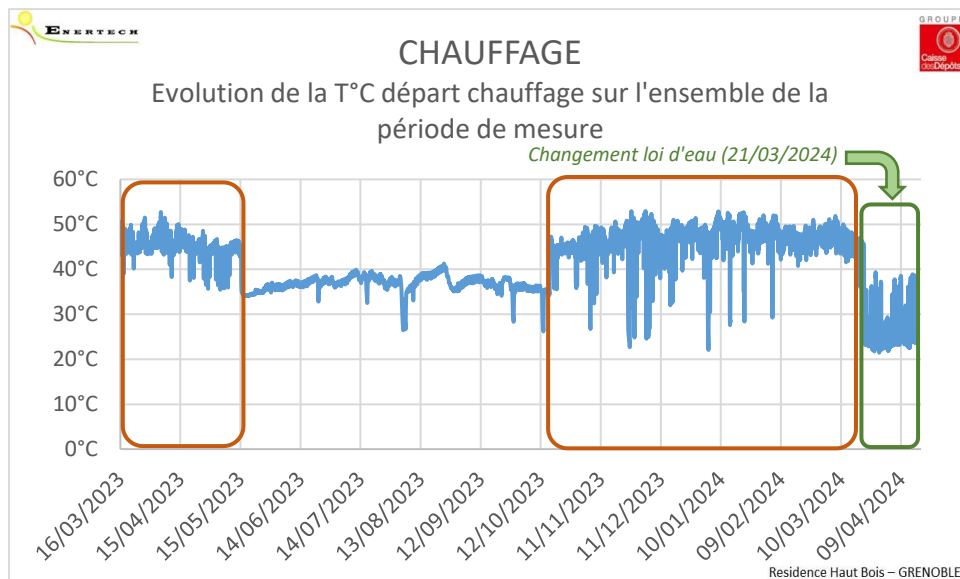


Figure 20 : Evolution de la température de départ chauffage

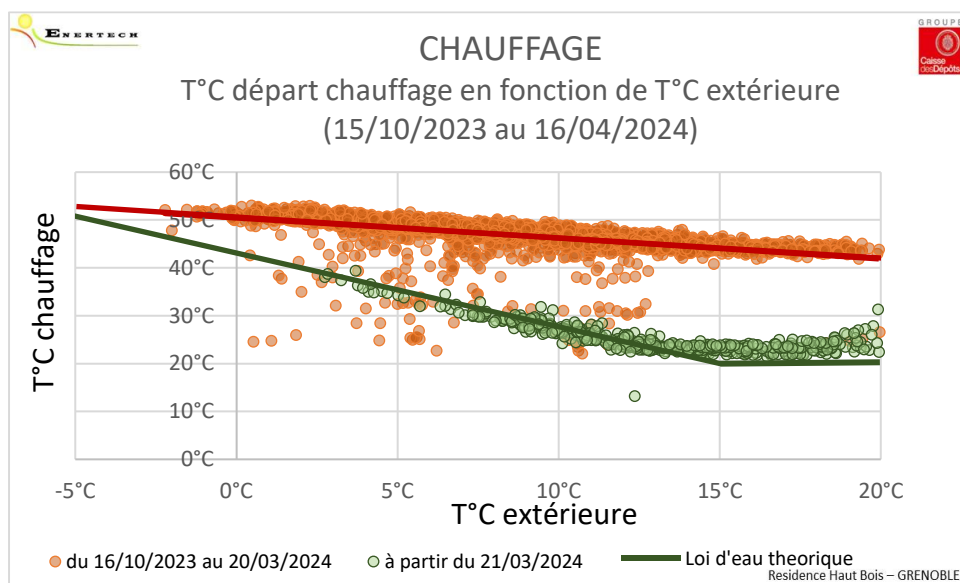


Figure 21 : T°C de départ chauffage en fonction de la T°C extérieure en saison de chauffe

Sur la Figure 22 nous observons la corrélation entre consommation de chauffage et température extérieure. Nous constatons également des consommations de chauffage malgré des T°C extérieures supérieures à 15°C, ainsi que des pics de consommations (> 300kWh/j), déjà observés sur la Figure 11 et pour lesquels nous n'avons pas trouvé de justification.

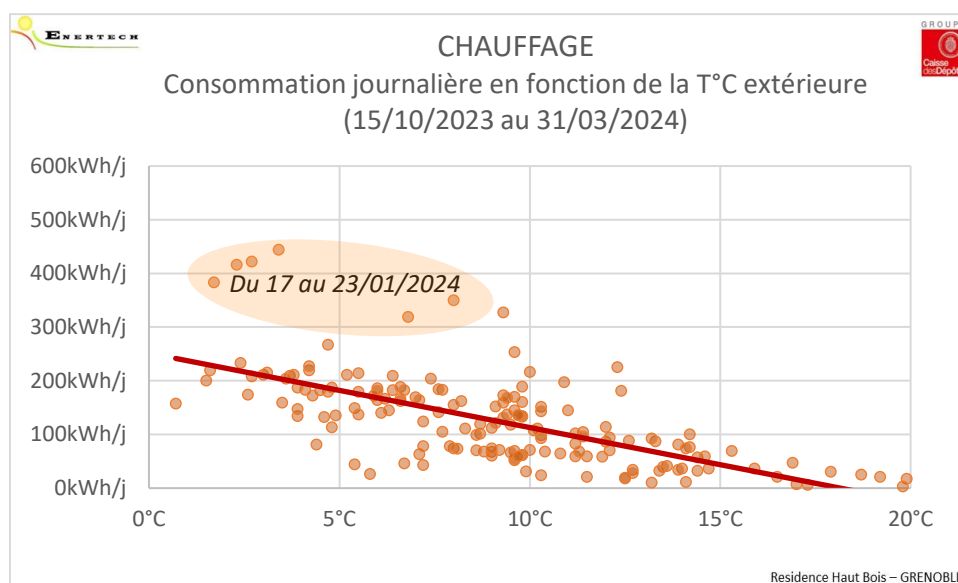


Figure 22 : Consommation journalière en fonction de la température extérieure

La pompe 1 et la pompe 2 de chauffage fonctionnent en alternance toutes les 24 heures.

Leur principe de fonctionnement semble avoir été modifié à quatre reprises sur l'année de mesure. Sur les phases 1 et 2 de fonctionnement, la double pompe semble fonctionner à vitesse constante, avec une puissance appelée fixe. Au 17/04/2023, cette puissance fixe passe de 50 à 35W sans que nous sachions pourquoi (pas d'opération de maintenance notée ce jour-là sur les bons d'interventions).

Sur la 4^{ème} phase de fonctionnement, la double pompe semble être à pression constante, permettant de réduire la consommation électrique si la demande de chauffage diminue. Ce changement de consigne des pompes n'apparaît pas non plus sur les bons d'interventions.

Actuellement, une température de non chauffe permet la coupure des pompes lorsque la température extérieure est supérieure à 20°C (Figure 24) ; Nous suggérons d'abaisser cette température à 15°C qui est la température à partir de laquelle de non chauffe de la V3V, sans quoi les pompes de chauffage tournent sur une V3V en recyclage si $15^{\circ}\text{C} < T^{\circ}\text{C ext.} < 20^{\circ}\text{C}$ (générant ainsi une consommation électrique inutile).

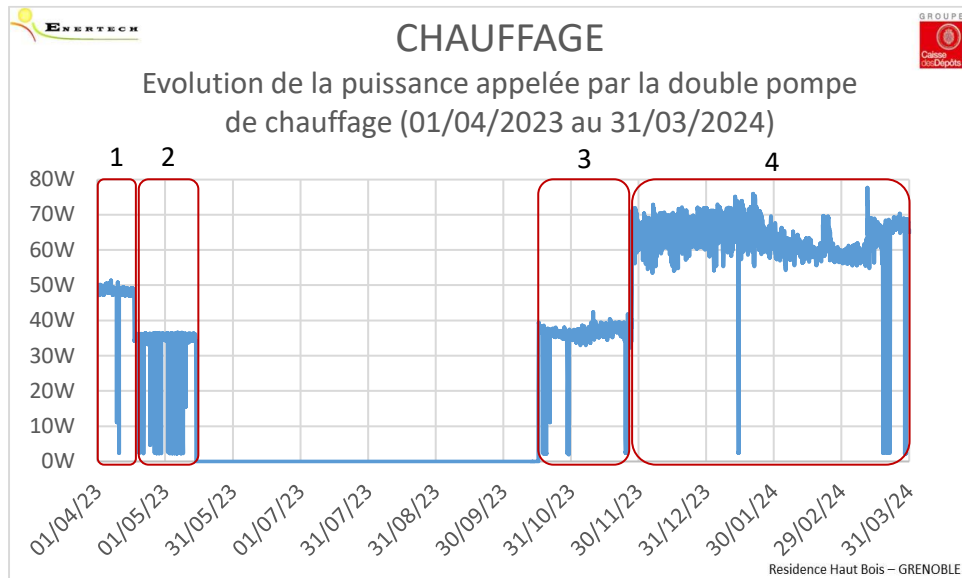


Figure 23 : Fonctionnement de la double pompe de chauffage

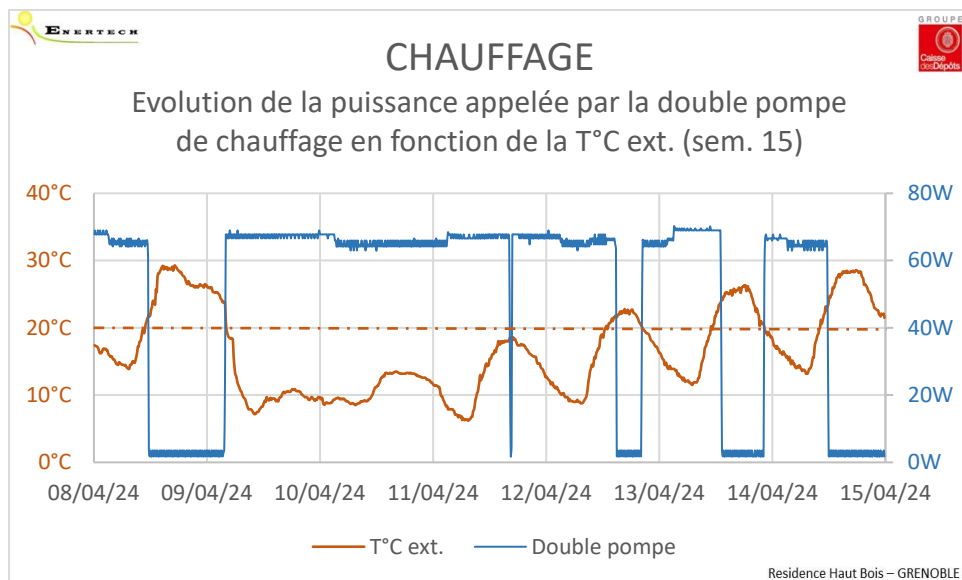
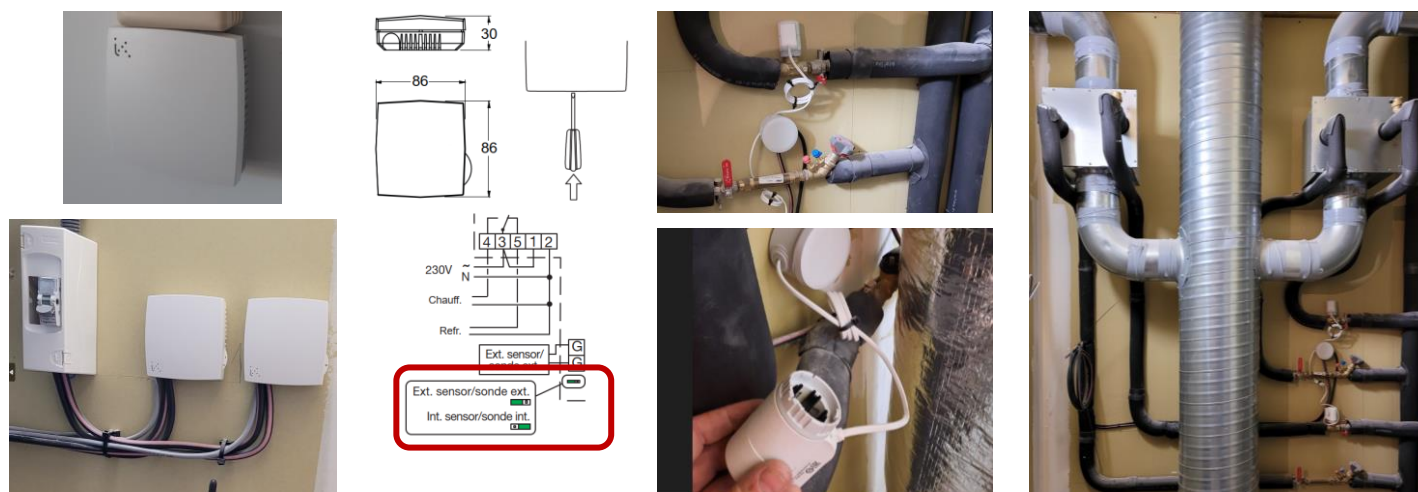


Figure 24 : Fonctionnement de la double pompe de chauffage en fonction de T°C ext.

3.3.5 Fonctionnement de la régulation terminale

La régulation terminale de chaque logement est réalisée par une vanne 2 voies pilotée par un thermostat d'ambiance situé dans le séjour. Le but de la régulation terminale est d'adapter la puissance de chauffe en fonction de la température ambiante afin de ne pas surconsommer et d'ainsi bénéficier des apports « gratuits ».

Les batteries de soufflage sont pilotées par des V2V motorisées asservies aux thermostats, eux-mêmes reliés aux sondes de T°C d'ambiance placées dans le séjour des logements.



Sonde de T°C en logement et thermostats en gaine palière (Bridé à 21°C selon CCTP)

Vannes 2 voies motorisées

Batteries terminales de chauffage

Figure 25 : Photographies des composants de l'installation

Comme déjà évoqué dans la présentation d'assistance à la mise au point rédigé le 13/01/2023 par ENERTECH, l'asservissement des têtes motorisées des V2V des batteries aux sondes de température dans les logements n'est pas aussi clair qu'espéré.

Sur la Figure 26, nous illustrons 4 cas :

- Log 36_Nord : Le fonctionnement de la batterie semble correct, avec une hausse de la T°C de soufflage après batterie lorsque la T°C ambiante descend en dessous de 19°C, puis un arrêt de la batterie lorsque la T°C ambiante atteint environ 20,5°C.
- Log 31_Sud : Du 21/01 au 05/02, la batterie de soufflage n'a pas fonctionné alors que la T°C ambiante est parfois en dessous de 19°C.
- Log 37_Nord : Le fonctionnement de la batterie a eu lieu très ponctuellement lors de T°C ambiantes autour de 21°C, tandis qu'elle n'a pas fonctionné avec des T°C ambiantes inférieures à 20°C.
- Log 38_Nord : La corrélation entre fonctionnement de batterie et T°C ambiante est floue.

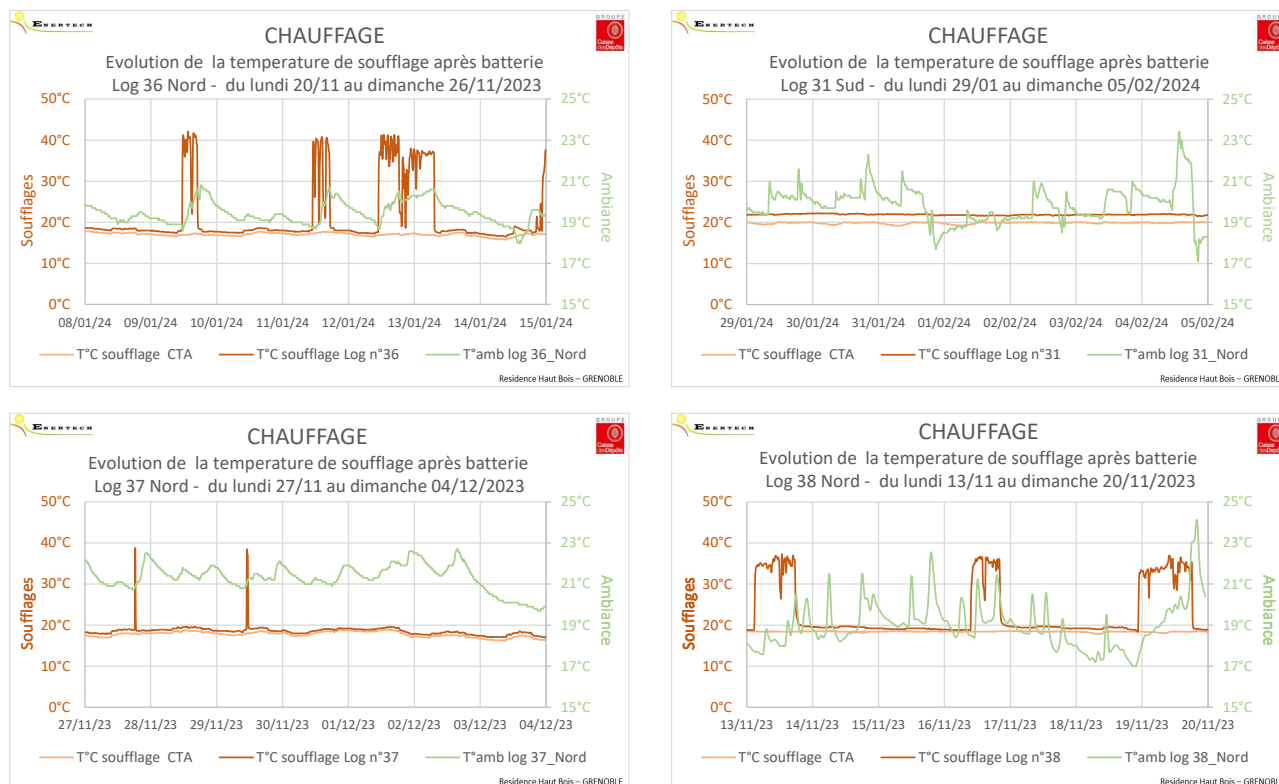


Figure 26 : Evolution de la température ambiante et du fonctionnement de la régulation terminale.

Lors de notre passage sur site le 18/04/2024, nous avons constaté que des têtes motorisées avaient été retirées de leur V2V (voir Figure 25).

Au 02/05/2024, le bailleur nous a fait savoir qu'ils rencontrent « quelques problèmes sur ces moteurs qui se bloquent, au point d'envisager un remplacement en masse ».

Il serait intéressant de s'assurer de la mise en place et du bon fonctionnement de chacun de ces moteurs, de la consigne de température des thermostats, de la position du shunt (sur Ext. Sensor) et de la bonne correspondance entre sonde T°C ambiante->Thermostat->Tête motorisée->V2V.

3.3.6 Impact des apports gratuits

La consommation électrodomestique constitue un apport interne de chaleur qui peut s'avérer important et diminuer d'autant la consommation de chauffage. Avec $34,6 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ en moyenne sur le bâtiment, les consommations sont élevées par rapport à la moyenne nationale connue en logement collectif (26 à $28 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$), ce qui constitue un paramètre favorable.

3.3.7 Remarque sur le schéma de principe

La température de retour chauffage mesurée ainsi que le schéma de principe laissent à penser que la circulation de la charge ECS se fait par la V3V du départ chauffage plutôt que par l'échangeur RCU lorsque la V3V n'est pas en recyclage et que la double pompe de chauffage est à l'arrêt.

Ces conditions pouvaient être réunies avant le changement de loi d'eau du 21/03/2024 et avec les pompes chauffage à l'arrêt. Pour éviter ce phénomène, un clapet anti-retour aurait pu être disposé entre le retour chauffage après piquage V3V et le retour charge ECS (Cf Figure 31 : récapitulatif des consommations de chauffage en énergie utile, énergie finale et énergie primaire.

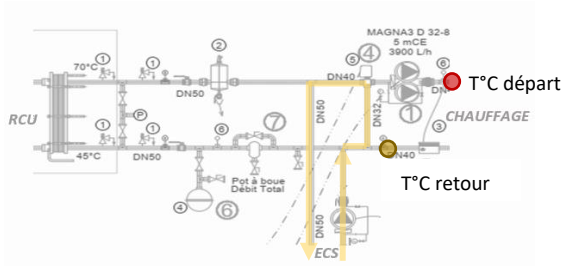
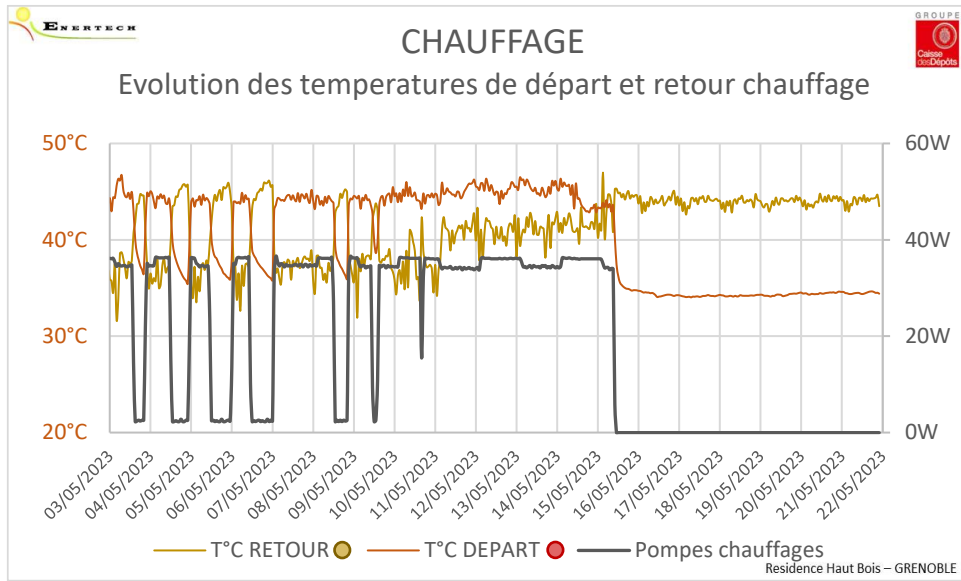


Figure 27 : Circulation inadéquate si pompe arrêtée et V3V ouverte

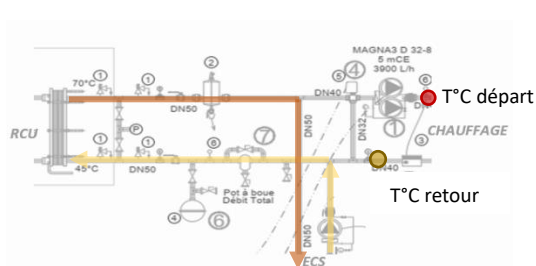


Figure 28 : Circulation attendue de la charge ECS

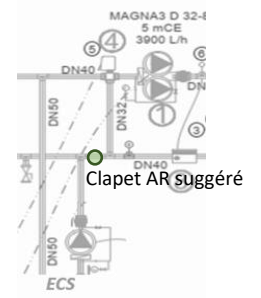
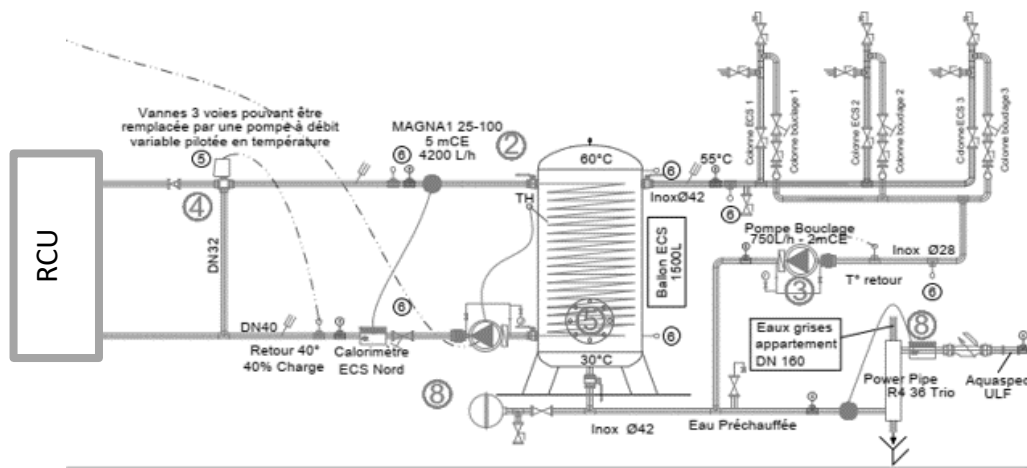


Figure 29 : Clapet anti-retour suggéré

4 Eau chaude sanitaire

4.1 Présentation et suivi de l'ECS

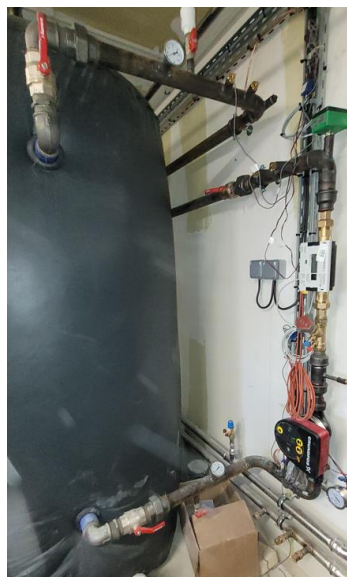


L'installation se compose des éléments suivants :

- Un échangeur à plaques connecté au réseau de chauffage urbain (RCU) de la Compagnie de Chauffage Intercommunale de l'Agglomération Grenobloise (CCIAG) ;
- Une pompe de charge du ballon ECS (une par bât.) au secondaire de l'échangeur ;
- Une pompe de bouclage (une par bât.) qui assure la circulation de l'ECS dans la boucle ;
- Un récupérateur de chaleur *Power Pipe* sur eau grise (un par bât.) qui permet un préchauffage de l'arrivée d'eau froide sur le ballon d'ECS. Notons que le powerpipe du bât R+8_Sud, censé être composé de 4 tubes, est identique au powerpipe du bât R+5_Nord qui n'en comporte que 3.



Arrivée du RCU



Pompe de charge ECS et ballon tampon



Récupérateur de chaleur sur eau grise R+8_Sud



Pompe de bouclage

Figure 30 : Photographies des composants de l'installation

Les références et caractéristiques du matériel installé sont présentées dans le Tableau 7.

Matériel	Référence	Caractéristiques théorique
Echangeur chauffage urbain	Barriquand BCS*50*750*C*P	Puissance 69 kW thermique Perte de charge 1.5 mCE
Pompe charge ECS	Grundfos Magna 1 D 25-100	P élec 9-176 W
Pompe de bouclage ECS	Grundfos Alpha 1 25-40 N 180	P élec 3-18 W
Ballon ECS	Atlantic Corflow	1500 l avec appoint électrique Isolation classe énergétique A
Récupérateur sur eau grise	Powerpipe GA3 (R+5) et GA4 (R+8)	GA3 : 3 tubes DN 100 GA4 : 4 tubes DN 100 (seulement 3 tubes d'installés)

Tableau 13 : Présentation du matériel utilisé pour la production et la distribution de l'ECS.

4.2 Consommation annuelle

4.2.1 Principaux résultats

Sur la période du 01/03/2023 au 31/03/2024, les consommations d'ECS s'élèvent à 97,4 MWh_{ut}/an soit **25,1 kWh_{ut}/an/m²Shab**.

Nous considérons un coefficient de conversion entre énergie primaire et énergie finale égal à 1 dans le cas d'une production de chauffage par RCU.

Nous avons calculé un coefficient de 0,88⁴ entre énergie finale et énergie utile liée aux pertes de l'échangeur et de la distribution d'ECS vers la sous station Nord (voir Figure 12).

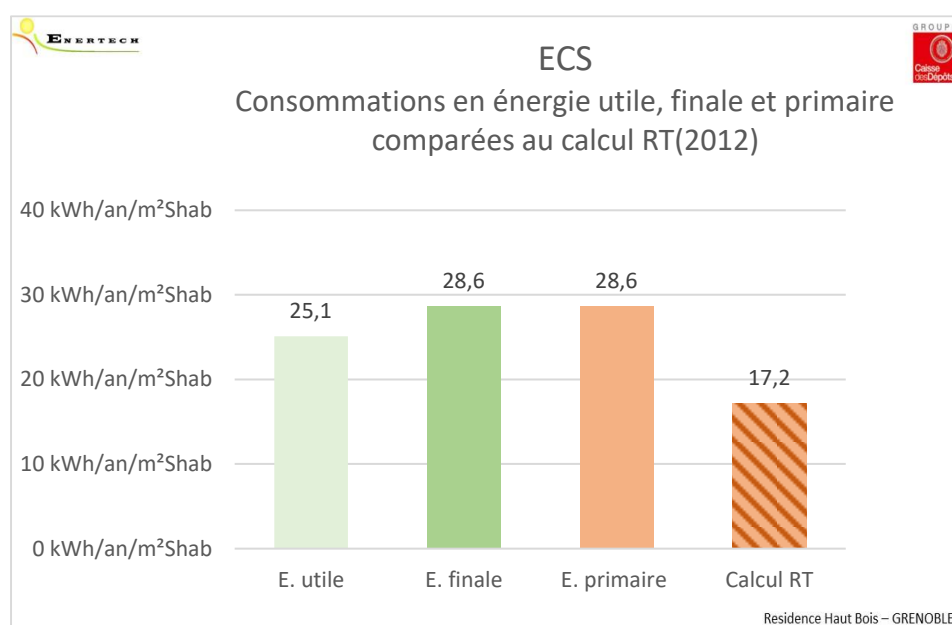


Figure 31 : récapitulatif des consommations de chauffage en énergie utile, énergie finale et énergie primaire.

⁴ L'énergie associée aux pertes (échangeur + distribution ECS) est la différence entre le compteur de chaleur de facturation du RCU et la somme des sous-compteurs de chaleur du bâtiment.

4.2.2 Répartition par postes

Depuis le 05/05/2022, le compteur d'énergie du récupérateur de chaleur sur eau grise (Power Pipe) de la sous station Nord ne fonctionne pas. En considérant le même ratio entre volume puisé et énergie récupérée comptabilisé par le compteur de la cage Sud (1101m³->11MWh), nous constatons un écart de +33% sur l'énergie de puisage ⁽⁵⁾ entre la cage Sud et la cage Nord (Figure 32).

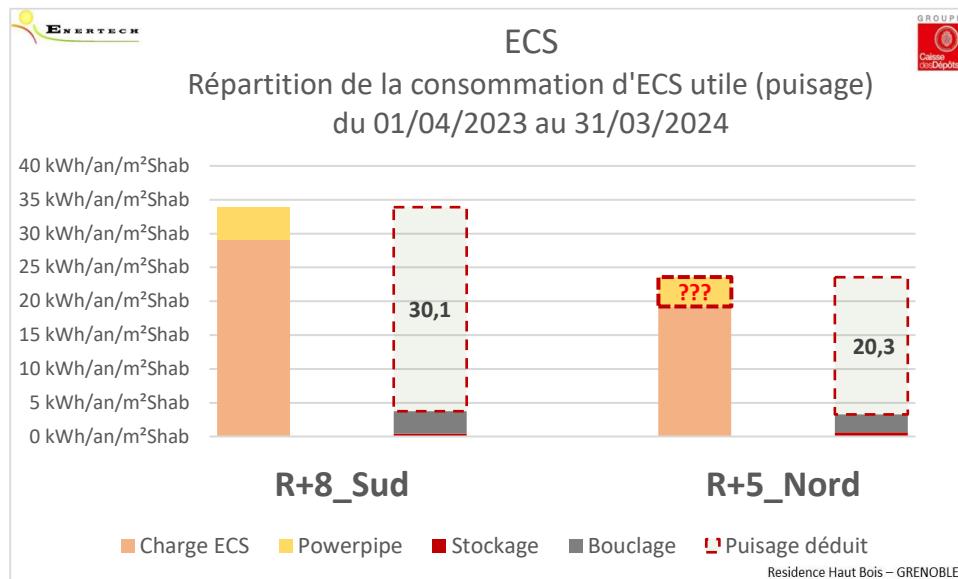


Figure 32 : Répartition de la consommation d'ECS par poste

Hormis des pertes bouclages sensiblement plus importantes et un niveau de récupération sur eaux grises dégradés (Cf 4.1) sur la cage Sud par rapport à la cage Nord, la consommation surfacique liée à la production d'ECS devrait être la même entre les deux cages. Le calcul RT a estimé une consommation d'ECS de 17,4 kWh/m²Shab/an pour la cage Sud et de 16,8 pour la cage Nord.

Nous constatons pourtant sur la Figure 33 une différence d'un facteur 2 sur l'énergie lié à la production d'ECS ramené au volume puisé entre la cage Sud (61,3kWh/m³) et la cage Nord (30,8kWh/m³).

Ramenée à la surface habitable, nous observons un écart d'un facteur 1,5 entre les deux cages (cf Figure 33).

L'explication la plus probable pour justifier un tel écart entre les deux cages se situe certainement au niveau :

- du comptage défectueux du power pipe Nord, qui a certainement récupéré plus de calories par m³ d'eaux grises évacuées que celui du R+8_Sud (3 tubes installés au lieu de 4),
- d'un sous-comptage de la charge ECS R+5_Nord, moins probable mais permettant de justifier cet écart d'un facteur 1,5 entre les deux cages,
- d'un faible taux d'occupation du R+8_Sud, notamment en début de campagne de mesures.

⁵ Energie de puisage = (E charge ECS + E récup. sur EG) - (E pertes bouclage + E pertes stockages)

E pertes bouclage : mesure dynamique par débitmètre à ultrasons non intrusif (Keyence FD-Q)

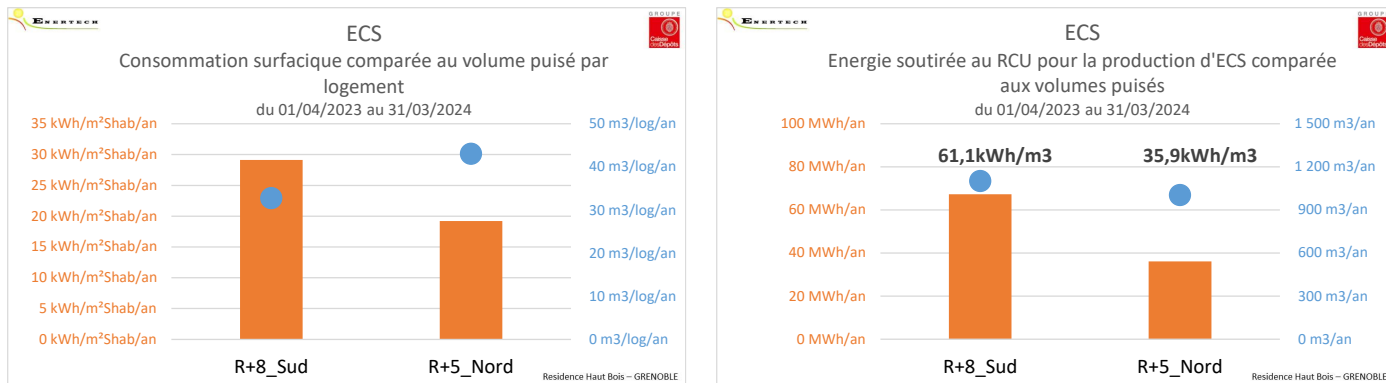


Figure 33 : comparaison de la consommation d'ECS et des volumes puisés

Concernant le bouclage, les pertes représentent 12% de la consommation liée à la production d'ECS.

Avec seulement 264 mètres linéaire de bouclage et une isolation thermique des conduits de classe 6, les pertes de bouclage sont particulièrement faibles : 5 W/ml, soit 3,1 kWh_{utile}/an/m²_{Shab}, soit 3,5 kWh_{finale}/an/m²_{Shab}

4.2.3 Comparaison avec des bâtiments similaires

Sur la Figure 34 sont présentées les consommations d'ECS d'opérations performantes suivies par Enertech. La consommation d'ECS de la résidence *Le Haut Bois* est plutôt moyenne en valeur utile avec 25,1 kWh_{ut}/an/m²_{Shab} (hors récupération sur Eaux Grises) contre 23,4 en moyenne sur les autres bâtiments. Du fait de la génération par RCU, la consommation d'ECS en énergie primaire est légèrement sous la moyenne avec 28,6 kWh_{ep}/an/m²_{Shab} contre 31,7 kWh_{ep}/an/m²_{Shab} en moyenne sur les autres opérations.

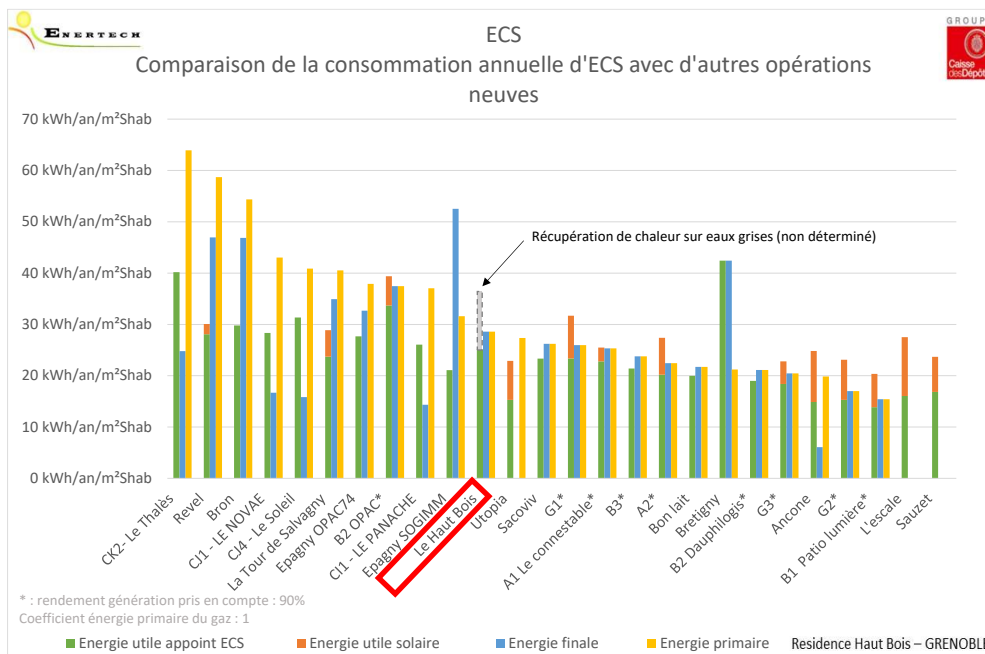


Figure 34 : ECS - Comparaison de la consommation surfacique du Haut Bois avec d'autres opérations performantes.

4.2.4 Evolution des consommations

La Figure 47 présente l'évolution des consommations d'ECS en moyenne journalière

La variation des consommations est saisonnière avec un rapport de 1 à 2. Le minimum de consommation est observé en août 2023 (179 kWh/jour) et le maximum en mars 2024 (351 kWh/jour). Cette saisonnalité sur la consommation d'ECS est un résultat classique.

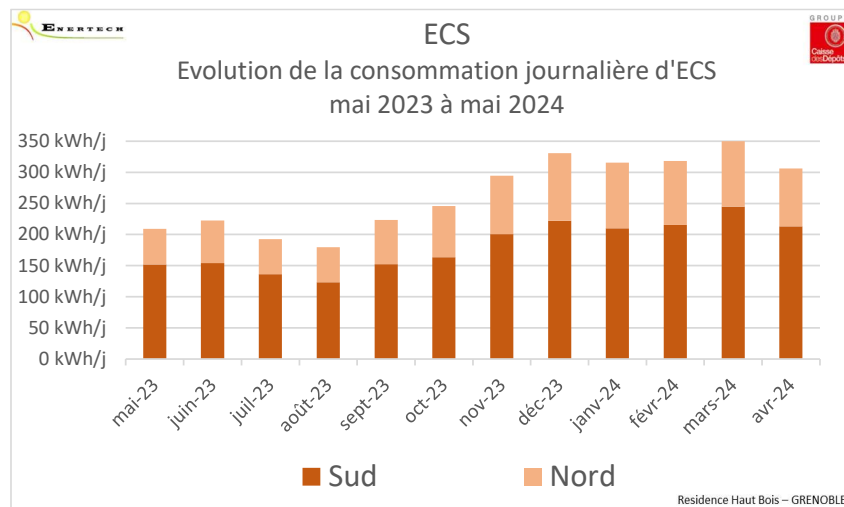


Figure 35 : ECS – Evolution de la production journalière d'ECS

4.2.5 Puissance appelée

La Figure 36 présente les monotones de la puissance utile d'ECS.

La puissance maximale appelée à 10 minutes est de 66 kW_{ut}. En prenant en compte uniquement 99% des occurrences, la puissance maximale horaire est de 40 kW_{ut}. Ces valeurs sont plus élevées que les puissances horaires vues sur le chauffage (Figure 37), ce qui est suffisamment rare pour être souligné.

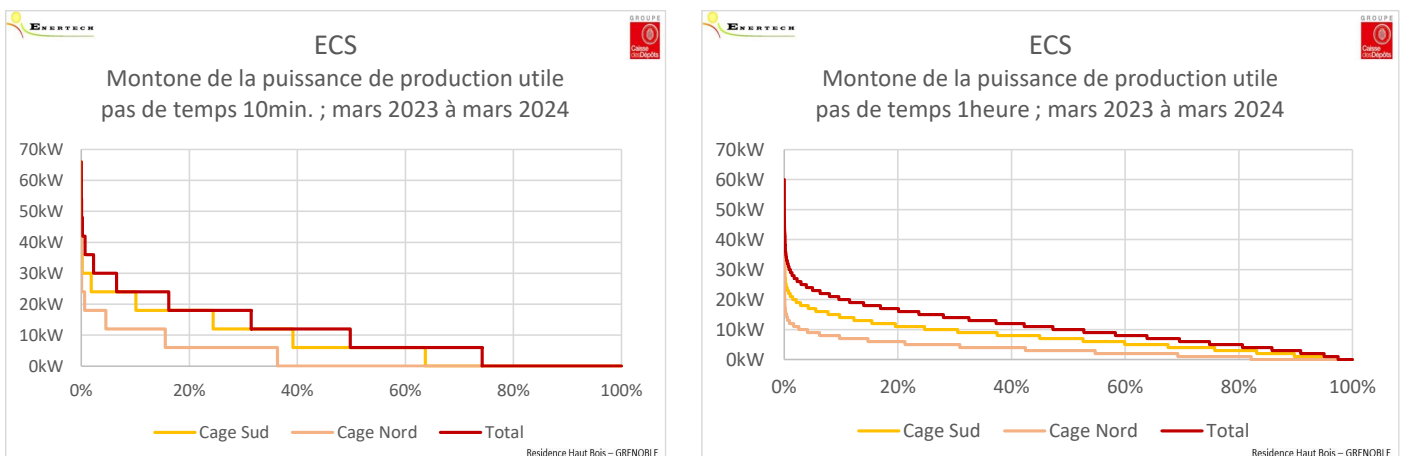


Figure 36 : ECS - Monotone de la puissance appelée au cours de l'année.

Si l'on ajoute à la puissance utile de chauffage celle appelée par l'ECS, nous constatons que la puissance maximale soutirée au RCU est inférieure à 50kW_{ut} (Cf. Figure 16)

Alors que l'abonnement s'élève à 69kW_{ut}, 95% des occurrences des puissances appelées sont inférieure à 30kW_{ut}.

Moyennant la mise en place d'un dispositif permettant de plafonner la puissance soutirée au RCU, la puissance d'abonnement pourrait être revue à la baisse.

4.3 Paramètres influant sur la consommation

Les paramètres influant sur la consommation d'ECS sont nombreux : architecture de distribution, fonctionnement et réglage des systèmes, comportement des occupants, etc. Comme pour le chauffage il est délicat de déterminer l'influence de chaque paramètre sur la consommation totale et d'expliquer précisément l'écart observé avec le calcul RT.

Nous pointons néanmoins dans ce paragraphe quelques facteurs qui nous paraissent significatifs :

- Influence des paramètres climatiques : la température d'eau froide réelle moyenne est supérieure aux valeurs moyennes de dimensionnement (influence favorable).
- Influence des puisages (comportements) : ici les volumes puisés sont supérieurs à la moyenne des puisages observés sur d'autres opérations du même type.
- Influence du fonctionnement de la production/distribution d'ECS : les températures de production, stockage et distribution ne sont pas particulièrement élevées (influence favorable).

4.3.1 Température de charge ECS

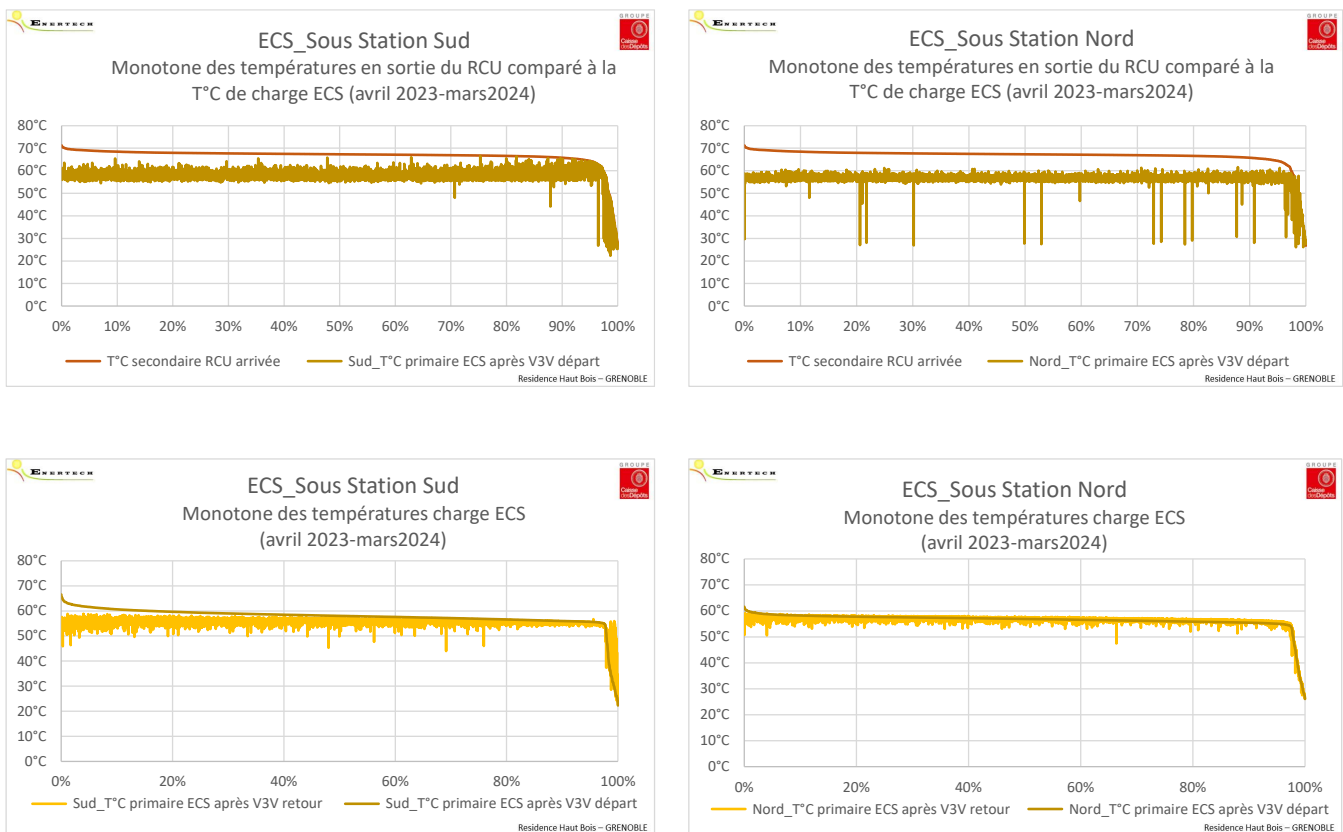


Figure 37 : ECS - Monotone des Températures de charge ECS.

Nous pouvons voir sur chacune des monotones une chute des températures sur moins de 2% de la période étudiée. Cette chute est directement liée à la température fournie par le RCU qui semble avoir été en incapacité de fournir l'énergie souhaitée sur quelques épisodes allant de quelques heures à plusieurs jours (Figure 38).

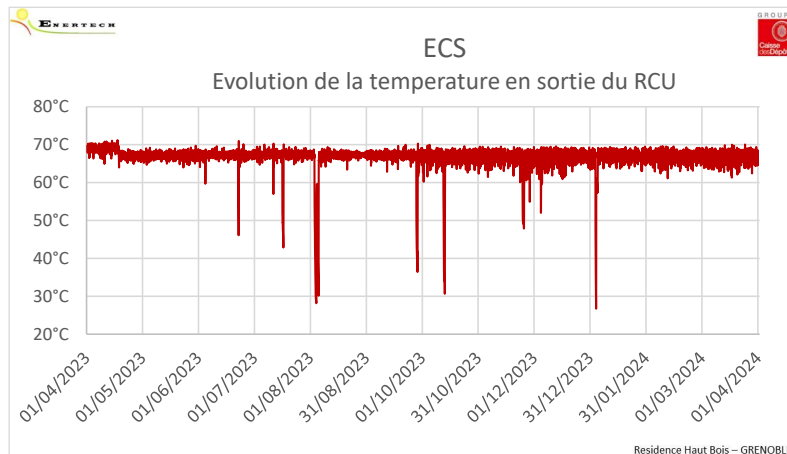


Figure 38 : ECS – Evolution de la température en sortie du RCU.

4.3.2 Température de départ ECS et retour bouclage

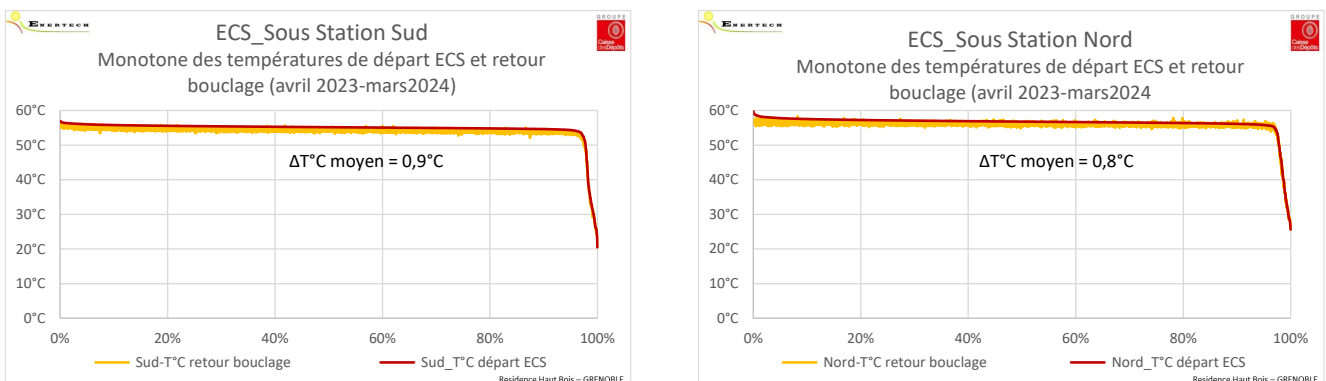


Figure 39 : ECS - Monotone des Température de départ ECS et retour bouclage.

Le débit de bouclage total du réseau semble donc trop important (vu de la sous station). Mais il est peut-être nécessaire à cause d'un problème d'équilibrage.

Rappelons que les pertes bouclages représentent 12% de la consommation liée à la production d'ECS.

Avec seulement 264 mètres linéaire de bouclage et une isolation thermique des conduits de classe 6, les pertes de bouclage sont particulièrement faibles : 5 W/ml soit 3,1 kWh_{utile}/an/m²_{Shab}

4.3.3 Température d'eau froide

La température d'eau froide a été suivie au pas de temps de 10 minutes. Afin de définir une température d'eau froide valide même en l'absence de puisage⁶, la température minimale par jour a été retenue comme valeur journalière.

Sur la Figure 40 on observe que la température d'eau froide est en moyenne de 15,7°C, ce qui est élevé et constitue un facteur favorable sur la consommation.

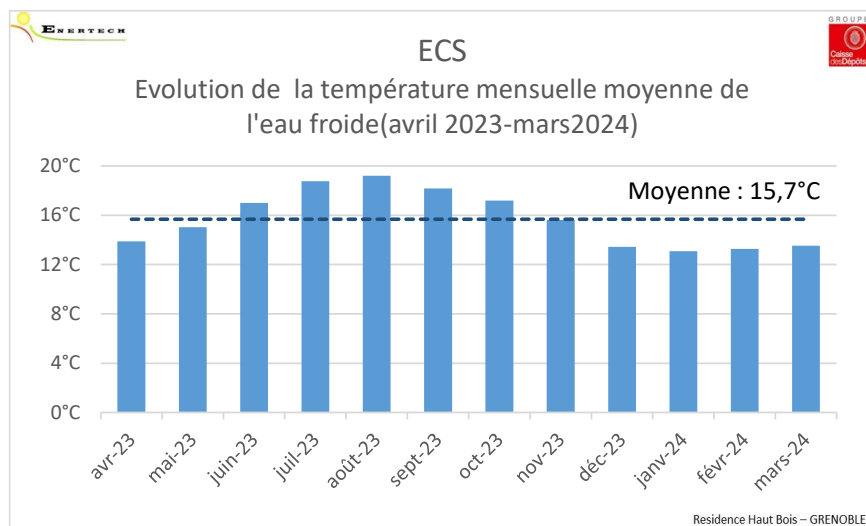


Figure 40 : ECS - Comparaison des températures d'eau froide mesurées avec celles utilisées pour le dimensionnement.

4.3.4 Niveau des puisages

Débits aux points de puisages :

	Cuisine	SdB Lavabo	SdB Douche	SdB 2 Lavabo	SdB 2 Douche
Log 02	7,0L/min.	4,5L/min.	5,0L/min.	-	-
Log 03	6,0L/min.	4,0L/min.	11,0L/min.	-	-
Log 07	9,0L/min.	5,0L/min.	11,0L/min.	-	-
Log 05	6,0L/min.	6,5L/min.	10,0L/min.	-	-
Log 04	4,5L/min.	5,0L/min.	6,0L/min.	-	-
Log 08	5,0L/min.	5,0L/min.	10,0L/min.	4,0L/min.	14,0L/min.
Log 01	8,0L/min.	6,0L/min.	9,0L/min.	-	-
Log 10	5,0L/min.	5,0L/min.	10,0L/min.	5,0L/min.	4,5L/min.
Log 09	5,0L/min.	4,0L/min.	10,0L/min.	4,0L/min.	5,5L/min.
Log 06	5,0L/min.	5,0L/min.	8,0L/min.	-	-

Figure 41 : ECS – Mesures instantanées des débits aux points de puisages.

Nous préconisons aujourd'hui des débits de 6 L/min pour la douche, 5 L/min pour l'évier cuisine et 3,5 L/min pour le lavabo.

Les débits mesurés sur la plupart des points de puisages, notamment aux douches, pourraient selon nous être réduits.

⁶ Lorsqu'il n'y a pas de puisage, le tuyau d'arrivée d'eau froide revient progressivement à la température ambiante de la sous-station. La mesure de la température d'applique sur le tuyau n'est donc valide que lorsqu'il y a un puisage (significatif).

Note méthodologique concernant les profils de puisages :

Il est intéressant de rapporter les volumes ECS puisés à un niveau de température standard qui permet de les comparer avec les valeurs couramment utilisées dans le dimensionnement des installations et les méthodes réglementaires. Nous avons donc rapporté les volumes mesurés par le compteur volumétrique spécifique à la température de référence de 55°C, à partir des températures d'eau froide et de départ d'eau chaude mesurées.

Avec une température moyenne de départ ECS à 54,7°C sur le Bât. Sud et de 56,4°C sur le Bât. Nord, la correction apportée par cette méthode est infime.

Sur la Figure 42 on remarque que les puisages d'eau chaude de cette opération sont bien plus élevés que les puisages moyens mesurés sur d'autres bâtiments ayant fait l'objet d'une campagne de mesures d'Enertech.

Ces niveaux de puisages peuvent s'expliquer par le comportement de occupants et par les débits aux points de puisage (Cf. Figure 41)

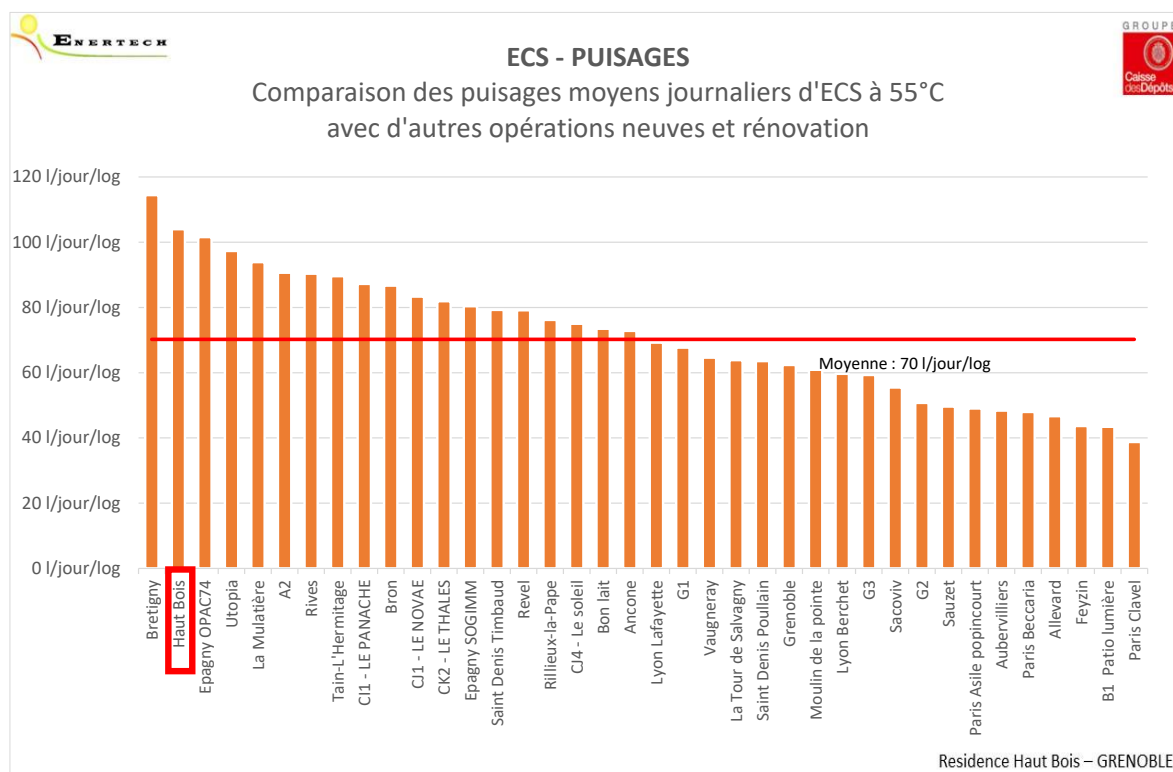


Figure 42 : ECS - Comparaison des volumes journaliers de puisage d'eau chaude sanitaire à 55°C par logement avec d'autres bâtiments de logements collectifs suivis en mesure par Enertech (mars2023 à mars 2024)

Sur la Figure 43 on observe la différence des volumes puisés par logement sur l'année 2023. L'écart entre logements peut aller d'un facteur 1 à 35.

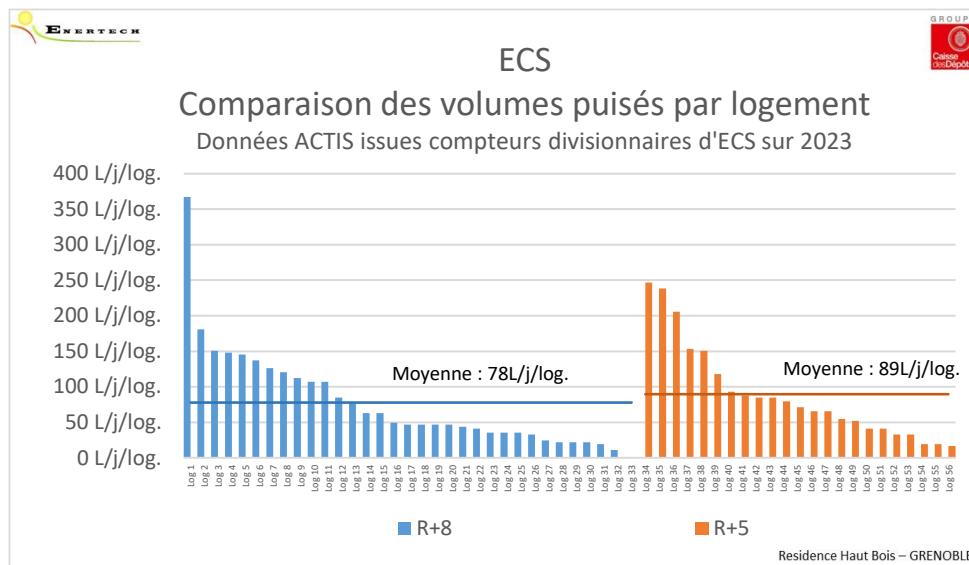


Figure 43 : ECS - Comparaison des volumes journaliers de puisage d'eau chaude sanitaire par logement issus des compteurs divisionnaires d'ECS (2023)

Sur la Figure 44 on observe l'évolution temporelle des puisages d'ECS journaliers tout au long de l'année. Le volume de puisage ECS journalier varie de 67 à 155 litres/jour/log.

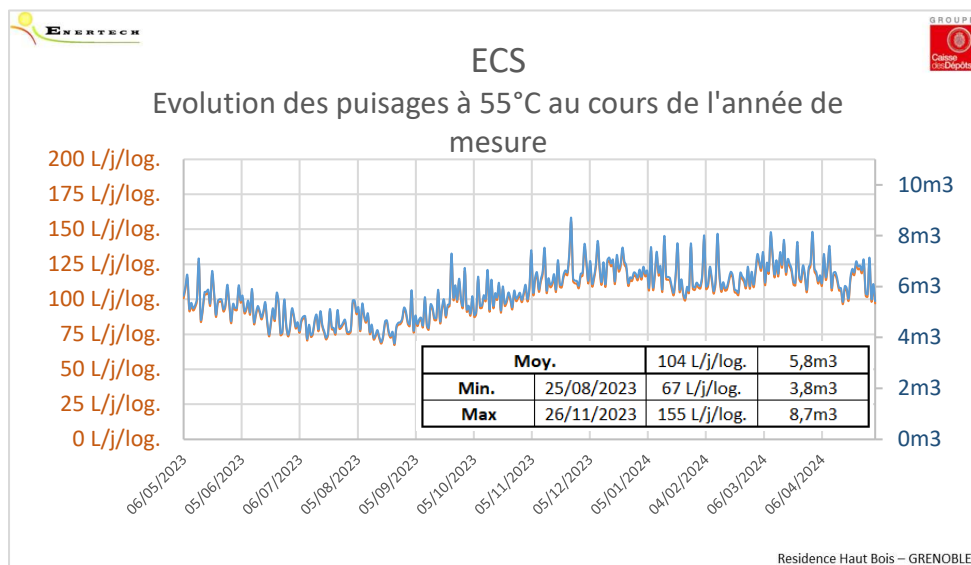


Figure 44 : ECS - Evolution annuelle des volumes journaliers de puisage d'ECS à 55°C.

Sur la Figure 45, on observe sur le R+5_Nord un puisage moyen de +26% par rapport au R+8_Sud. Cet écart semble plus important sur les 3 premiers quarts de l'année puis semble se resserrer début mars 2024. Cette évolution pourrait être liée à l'évolution du taux d'occupation des bâtiments.

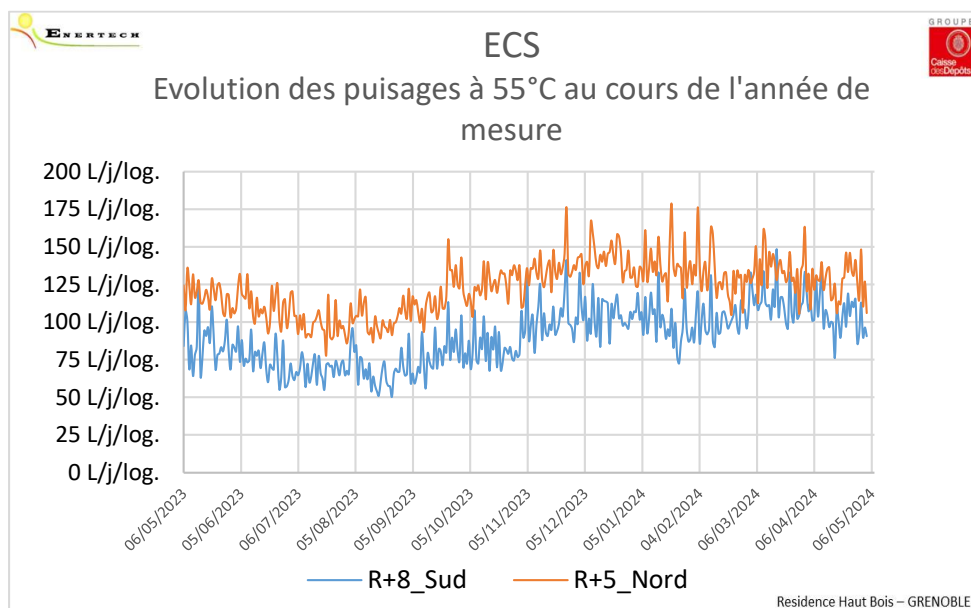


Figure 45 : ECS – Evolution annuelle des volumes journaliers de puisage d'ECS à 55°C par bâtiments

Sur la Figure 46 est présentée la courbe de charge moyenne journalière du puisage ECS à 55°C sur l'année de mesures sur le bâtiment. On remarque que les puisages varient très peu entre 07h00 et 23h00, tandis que nous observons d'ordinaire des courbes de charges plus prononcées avec deux pics distincts en matinée et en soirée.

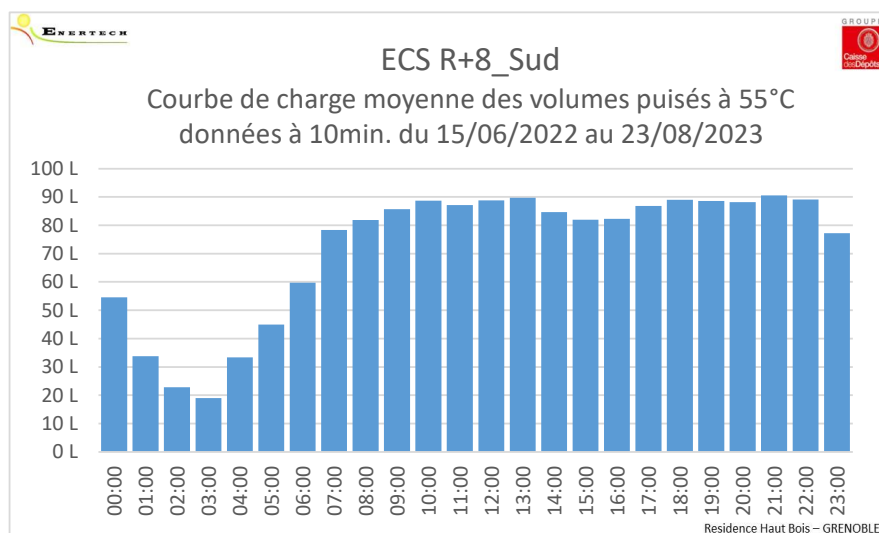


Figure 46 : ECS R+8_Sud - Courbe de charge moyenne des volumes puisés à 55°C entre juin 2022 et août 2023.

La Figure 47 présente la courbe monotone des volumes horaires puisés (à 55°C). La valeur maximale de puisage est de 7,5 l/heure/logement soit 1,46 m³/h à l'échelle du bâtiment.

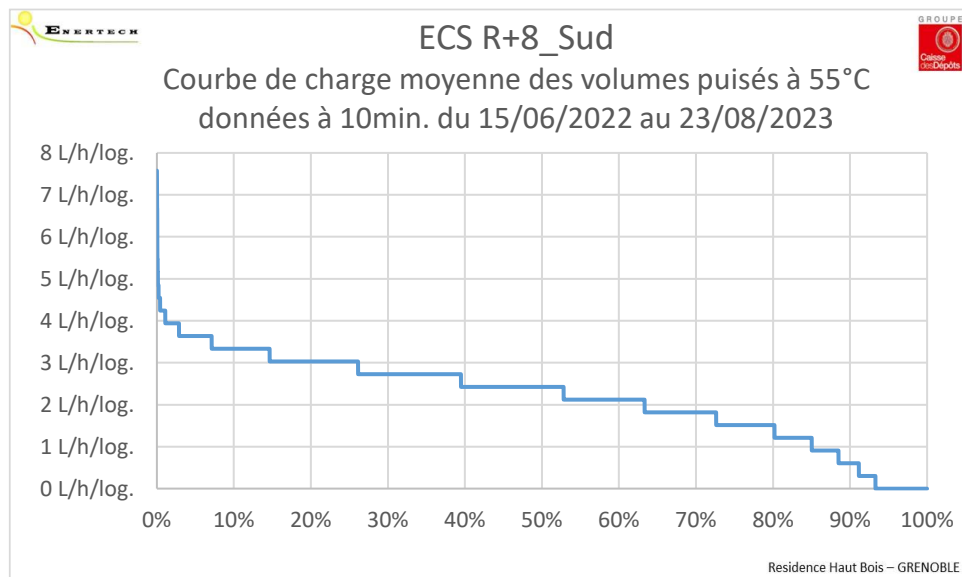
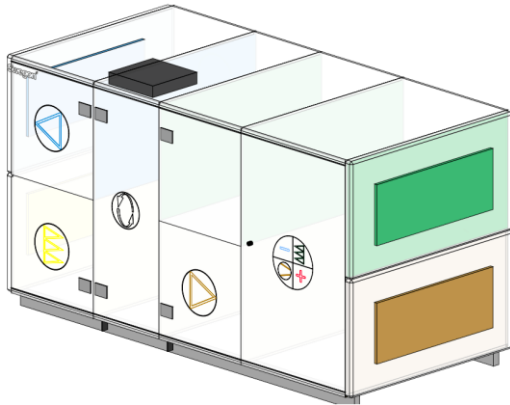


Figure 47 : ECS R+8_Sud – Courbe monotone des volumes puisés à 55°C.

5 Etude de la ventilation

5.1 Présentation et suivi de la ventilation

Chacun des deux bâtiment (R+5 et R+8) est équipé d'une ventilation double flux à échangeur à roue (SWEGON Gold RX14) avec module Cool DX de 6,3kW froid.



Projet: 61739 - ACTIS LE HAUT BOIS
CONSTRUCTION DE 56 LOGEMENTS
PASSIFS ZAC FLAUBERT
Nom de l'unité: R+5 - GOLD RX 14 AVEC
COOL DX
ID de l'unité: AD-10000647921
19 / 1.0.20200129.1184215
Date: 03/02/2020



Swegon

I.6.3. REGULATION SUR-VENTILATION ET RAFFRAICHISSEMENT

De base, les CTA ont une consigne de débit fixe :
Bâtiment R+5 : Débit de base = 2100 m³/h
Bâtiment R+8 : Débit de base = 3060 m³/h

En cas de sur-ventilation et/ou rafraichissement, les débits souhaités sont les suivants :
Bâtiment R+5 : Débit sur ventilation = 3000 m³/h
Bâtiment R+8 : Débit sur ventilation = 4500 m³/h

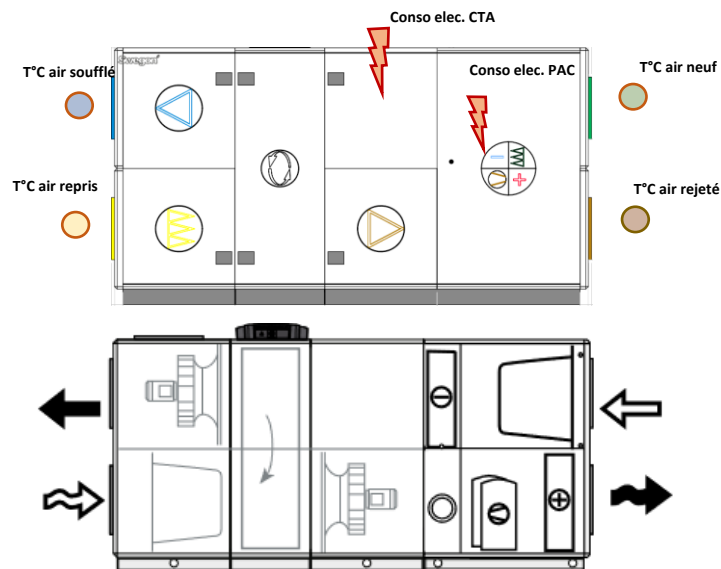
Les conditions pour que la CTA fonctionne en sur-ventilation sont les suivantes :
- T° reprise DF > 24° et T° extérieur < T° reprise -2° entre 21h et 8h du matin
- Dès lors que la T° reprise < 22°C, la sur-ventilation s'arrête

Les conditions pour que la CTA fonctionne en rafraichissement (donc activation du module DX) sont les suivantes :

- T° reprise DF > 26° et T° extérieur > 20° entre 21h et 8h du matin
- Dès lors que la T° reprise < 22°C, la sur-ventilation s'arrête

Des mesures de températures ont été réalisées sur les flux d'air entrant et sortant des deux CTA.

Des mesures de consommations électriques ont également été faites sur les CTA et sur les modules de rafraîchissement.



5.2 Consommation annuelle

5.2.1 Principaux résultats

Sur la période du 01/04/2023 au 31/03/2024, les consommations de ventilation s'élèvent à 20,6 MWh_{ut}/an soit **5,3 kWh_{ut}/an/m²_{Shab}**.

5.2.2 Evolution des débits au niveau des centrales

D'après le CCTP, les CTA doivent avoir une consigne de débit fixe et équilibrée entre soufflage et extraction tel que :

Bât. Sud_R+8 : débit de base = 3060m³/h ; débit de surventilation = 4500 m³/h

Bât. Nord_R+5 : débit de base = 2100m³/h ; débit de surventilation = 3000 m³/h

Les conditions théoriques de surventilation telles que décrites dans l'analyse fonctionnelle sont les suivantes :

Entre 21h et 08h, si T°C air extrait >24°C puis T°C extérieure < T°C extrait-2°C

La surventilation a donc uniquement un rôle de rafraîchissement estival.

La Figure 48 présente l'évolution annuelle des débits sur les réseaux de soufflage et d'extraction de chacune des deux CTA.

Nous constatons que les débits d'air extrait et soufflé de la CTA Nord sont parfaitement équilibrés et correspondent aux débits théoriques.

Le débit de base de la CTA Sud correspond bien aux débits théoriques. Par contre, il s'avère que le débit d'air extrait est constant malgré les passages en surventilation sur l'air soufflé.

De plus, la consigne sur l'air soufflé en sur ventilation a été de 3200 m³/h au lieu de 4500 m³/h jusqu'au 17/07/2023, date à partir de laquelle le débit de surventilation sur le soufflage est cohérent avec les débits théoriques.

Avec une hauteur sous plafond de 2,5 m, le taux de renouvellement d'air moyen pour le bâtiment **est de 0,5 vol/h** au niveau des CTA en débit de base et de 0,8 vol/h en surventilation

Sur la Figure 48, nous observons que la surventilation de la CTA Sud a été programmée plus tardivement que sur la CTA Nord, qui fonctionne également en surventilation en plein hiver, impliquant une surconsommation électrique (La puissance absorbée du ventilateur varie comme le cube du débit) et des déperditions supplémentaires.

Sur la Figure 49, nous constatons la CTA Nord a fonctionné 2,5 fois plus souvent en surventilation que la CTA Sud.

Cet écart sur la durée de fonctionnement en surventilation entre CTA Nord et Sud est d'autant plus surprenant que la plage de fonctionnement de la CTA Sud (17:00 à 08:00) est plus longue que celle de la CTA Nord (21:00 à 08:00 puis 17:00 à 08:00 à partir du mercredi 12 juillet 2023 ; Voir Figure 50).

Il serait intéressant d'investiguer sur la régulation afin de savoir qui prend le contrôle de la surventilation (régulation Swegon en interne ou bien l'automate Schneider (TD sous station Sud) en externe) et sous quelles conditions.

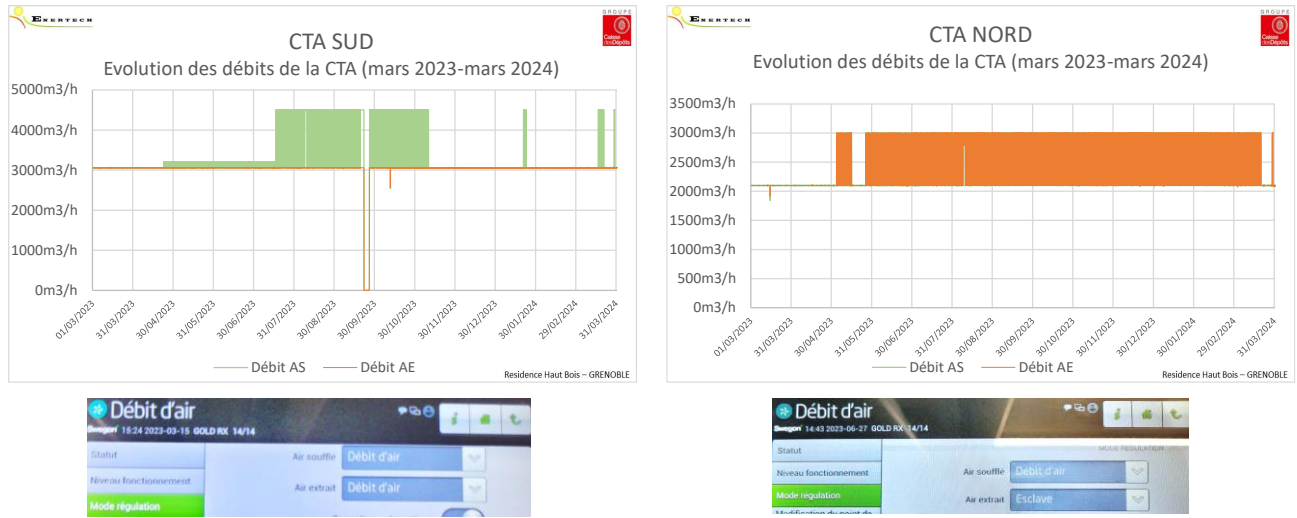


Figure 48 : CTA – Evolution des débits d’air soufflé et d’air extrait.

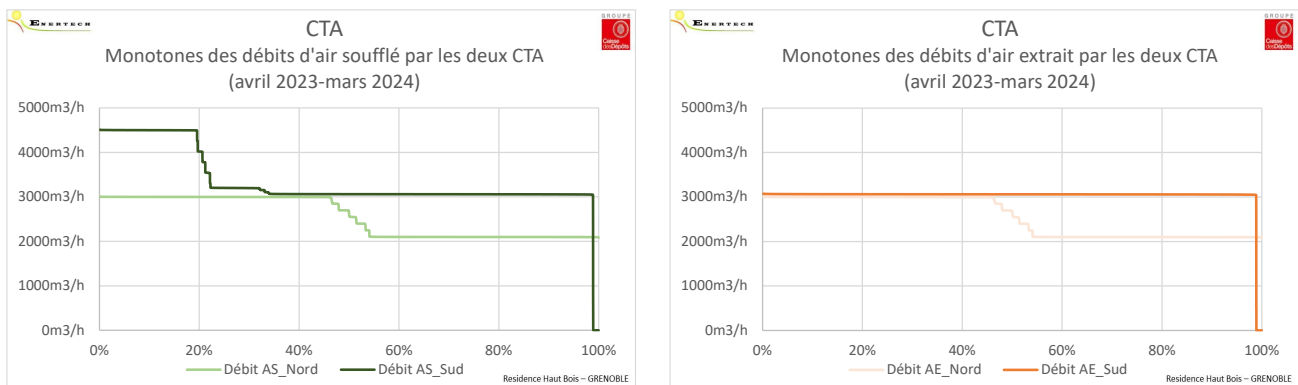


Figure 49 : CTA – Monotones des débits d’air Soufflé et d’air Extrait.

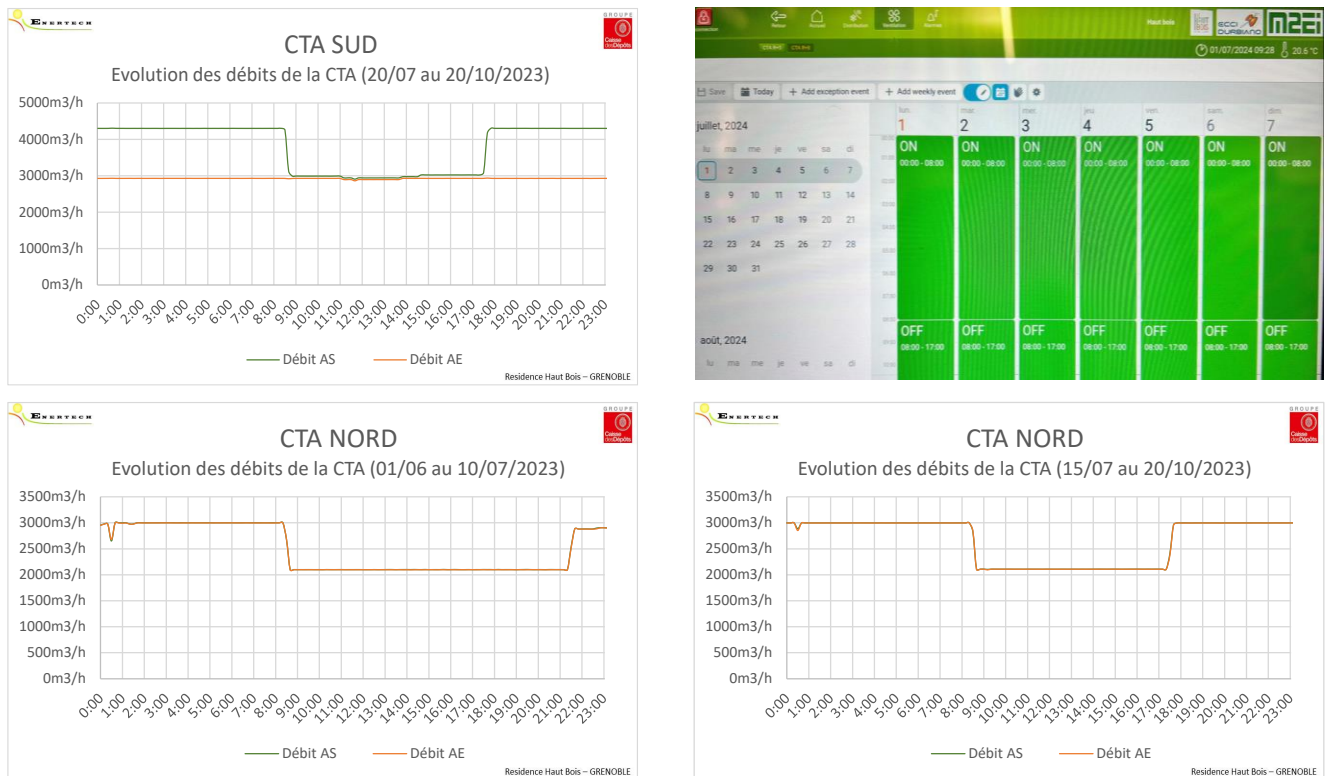


Figure 50 : Courbes de charges journalières des débits d’air soufflé et extrait en période de surventilation.

5.2.3 Caractéristiques de fonctionnement des moto ventilateurs

Remarque : le câblage électrique de la centrale de traitement d'air ne nous a pas permis de suivre distinctement les deux ventilateurs. Sur cette étude nous travaillons avec la somme des consommations électriques des deux moto-ventilateurs.

La Figure 51 représente la puissance électrique appelée par les moteurs de soufflage et d'extraction et la puissance débitique en fonction des débits de ventilation.

Nous distinguons bien sur chacune des deux CTA le fonctionnement de la surventilation et pouvons observer une différence de la puissance débitique moyenne entre le régime normal et le régime surventilation.

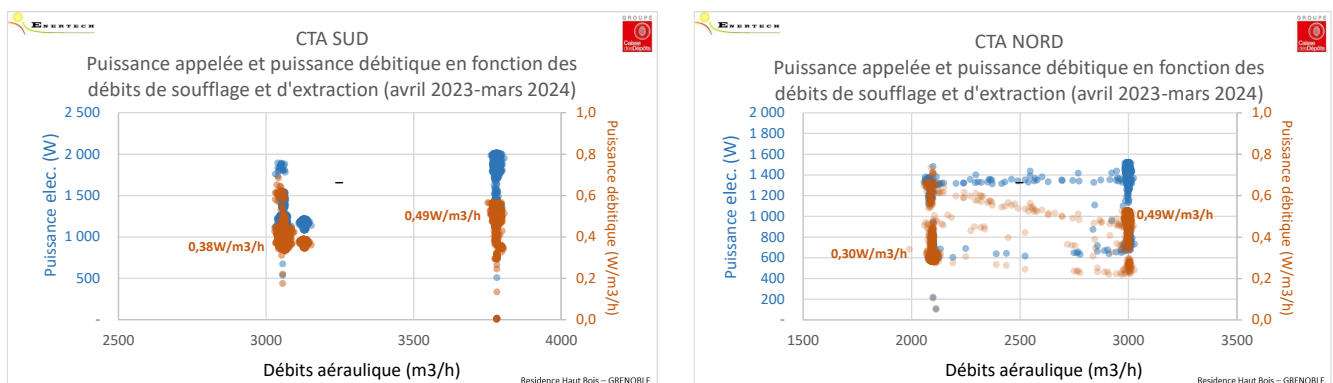


Figure 51 : VENTILATION - Puissance appelée et puissance débitique en fonction des débits de ventilation.

Sur la Figure 52, nous observons que la puissance débitique moyenne journalière de la CTA Sud R+8 augmente de façon régulière et plus rapidement que celle de la CTA Nord_R+5. Nous supposons qu'il s'agit de l'encrassement du filtre, plus rapide sur la CTA ayant des débits plus importants.

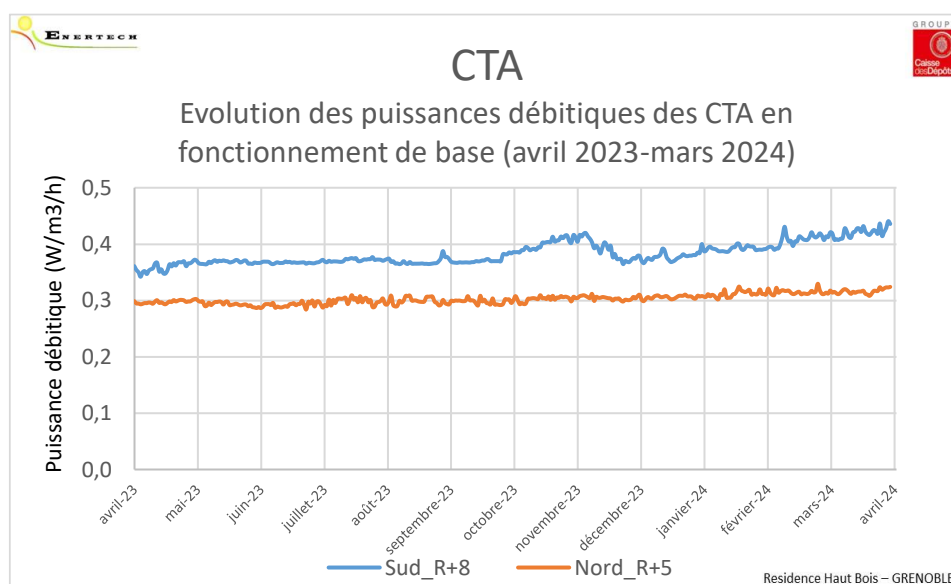


Figure 52 : Evolution mensuelle de la puissance débitique entre avril 2023 et mars 2024.

5.3 Récupération de chaleur et de froid

L'échangeur à roue permet de récupérer la chaleur extraite en hiver. Il permet également de garder l'air frais dans le bâtiment en été. Nous traitons dans ce chapitre l'efficacité du système.

5.3.1 Récupération de chaleur

Sur la Figure 55, nous pouvons voir que la récupération de chaleur fonctionne correctement, avec une température post échangeur stable sur 19°C jusqu'à 5°C extérieur.

En revanche, nous observons que l'échangeur à roue est paramétré pour récupérer la chaleur jusqu'à 19°C (période 1 et 3) puis à 20°C (période 2), alors que la température de de souffler à une température plus élevée, ce qui traduit une perte de calories qui pourrait être corrigée par le choix d'une autre logique de régulation de l'échangeur (paramétrage de l'ERS2 de Swegon) et ainsi avoir un air soufflé post échangeur se rapprochant des 22°C de l'air extrait. Le but serait de maximiser la récupération de chaleur en hiver.

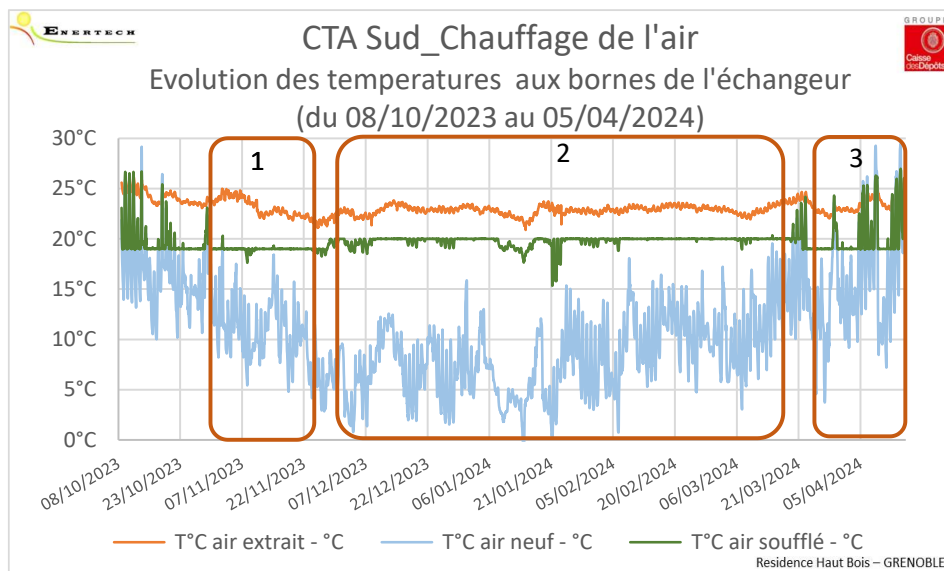


Figure 53 : Evolution des températures aux bornes de l'échangeur de la CTA Sud.

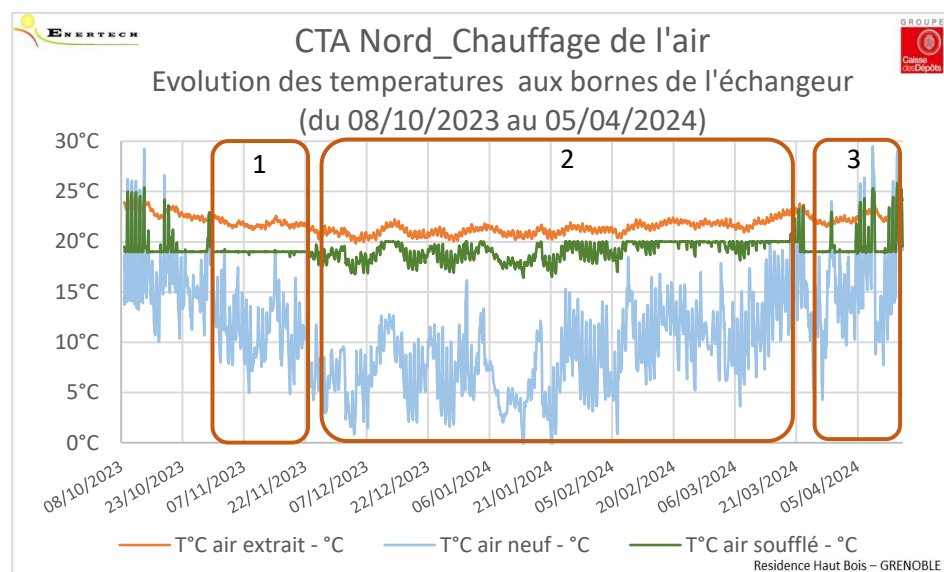


Figure 54 : Evolution des températures aux bornes de l'échangeur de la CTA Nord.

Au cours de l'hiver (du 01/04 au 15/05/2023 et du 15/10/2023 au 31/03/2024) nous avons mesuré une énergie :

- Disponible sur l'air extrait de 113,7 MWh ($0,34 \times \text{débit} \times \text{DT}_{\text{intérieur-extérieur}}$), dont 65,5MWh sur la cage Sud et 48,2MWh sur la Nord. En ventilation simple flux, cette énergie est perdue et correspond aux déperditions de la ventilation ;
- Récupérée par l'échangeur de 85,5 MWh (48,2MWh sur la cage Sud et 37,2 sur la cage Nord).

L'énergie non récupérée par l'échangeur, qui s'élève donc à 7,3 kWh/an/m²Shab, est supérieure à la consommation de chauffage de 5,7 kWh/an/m²Shab.

L'efficacité en énergie de l'échangeur thermique est de 75% (74% pour la cage Sud et 77% pour la cage Nord).

La puissance thermique moyenne récupérable sur l'air extrait est de 9,3 kW et celle récupérée s'élève à 6,4 kW. Cette puissance permet une diminution de la charge de chauffage.

Les évolutions de la puissance thermique disponible et récupérée en fonction de la température d'air rejeté pour la CTA Nord sont présentées sur la Figure 55.

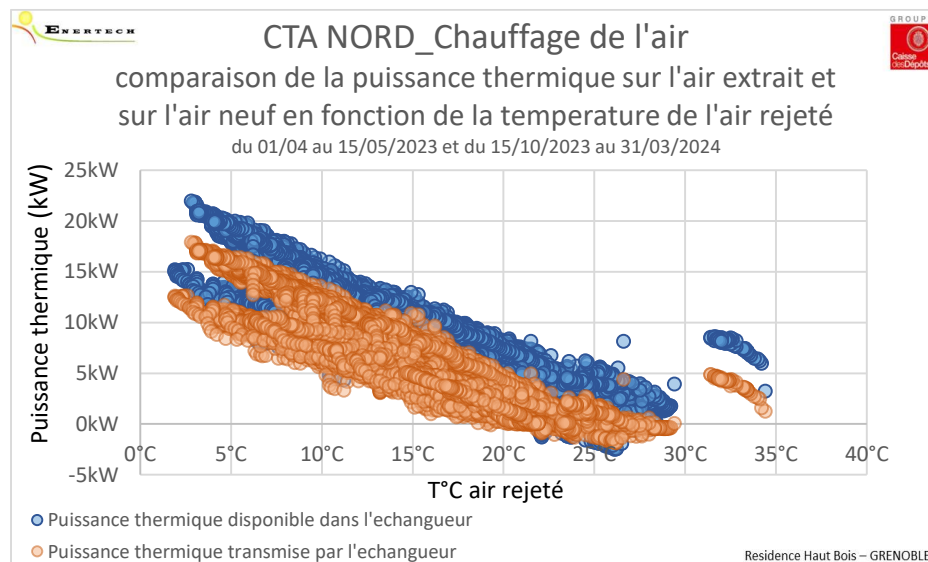


Figure 55 : Comparaison sur la **période hivernale** de la puissance thermique disponible et récupérée sur la CTA cage Nord.

L'énergie récupérée sur la période hivernale par les échangeurs des deux CTA est 4 fois supérieure à la consommation annuelle de chauffage.

5.3.2 Récupération de froid

Analyse du fonctionnement de l'échangeur

Au cours de l'été (15/05/2023 au 15/09/2023) d'après nos mesures, l'énergie thermique moyenne :

- Disponible sur l'air extrait est de 8,3 MWh de chaleur (air extrait plus chaud que l'air extérieur) et 1,5 MWh de froid (air extrait plus froid que l'air extérieur) ;
- Récupérée sur l'air soufflé est de 0,8 MWh de chaleur (air soufflé plus chaud que l'air extrait) et 0,9 MWh de froid (air soufflé plus froid que l'air extrait hors période de fonctionnement du module COOL DX)

La Figure 56 représente l'évolution des températures mesurées aux bornes de l'échangeur sur une semaine type durant laquelle le module COOL DX n'a pas fonctionné, pour illustrer le fonctionnement de l'échangeur.

Nous observons que l'échangeur à roue fonctionne à 100% lorsque la température d'air extrait est inférieure à la température d'air neuf, permettant de limiter la température de l'air soufflé dans les logements.

Nous observons également que l'échangeur fonctionne pour maintenir une température d'air soufflé supérieure ou égale 19°C. **Ce fonctionnement prive le bâtiment de rafraîchissement passif sur une période où la température d'air extrait est supérieure à 25°C.**

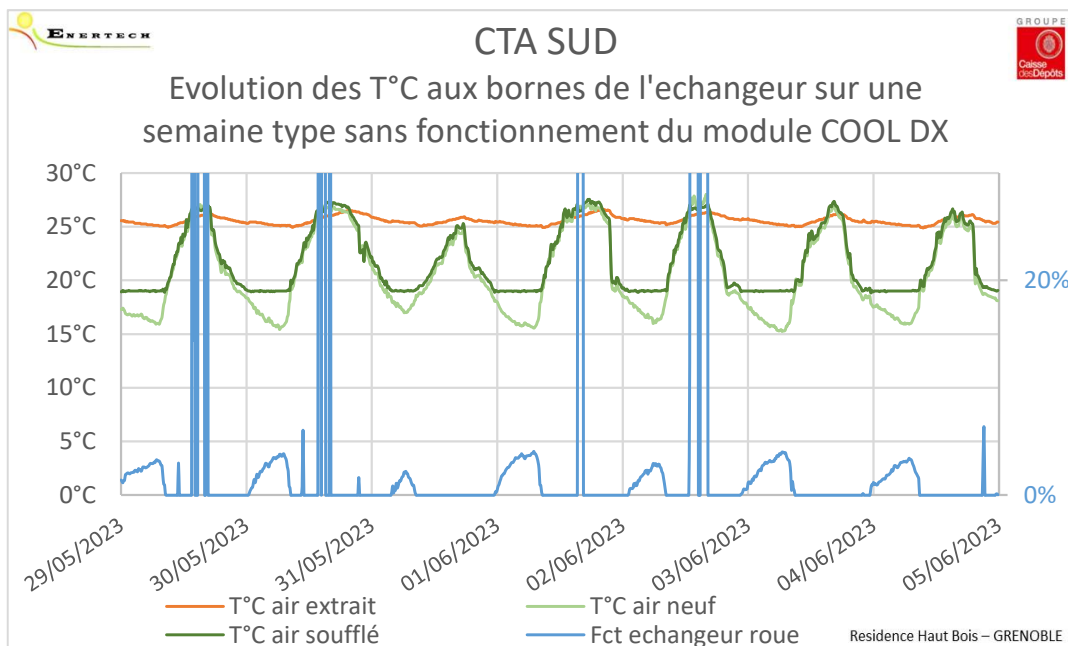


Figure 56 : Evolution des T°C aux bornes de l'échangeur de la CTA Sud sur une semaine type sans fonctionnement du module COOL DX.

Analyse du fonctionnement de la surventilation

Les conditions théoriques de surventilation sont les suivantes :

Entre 21h et 08h, si $T^{\circ}\text{C}$ air extrait $>24^{\circ}\text{C}$ ET $T^{\circ}\text{C}$ extérieur $< T^{\circ}\text{C}$ extrait- 2°C .

Arrêt de la surventilation dès lors que $T^{\circ}\text{C}$ air extrait $< 22^{\circ}\text{C}$.

Nous avons pu observer dans le chapitre 5.2.2 que le fonctionnement de la surventilation :

- Est bien asservi à une programmation horaire, modifié en cours de mesure et démarrant non plus à 21h mais dès 17h ;
- N'est pas effectif sur l'air extrait de la CTA Sud, créant une surpression du bâtiment ;
- A fonctionné 2,5 fois plus souvent sur la CTA Nord que sur la CTA Sud, dont une bonne partie de l'hiver et simultanément au fonctionnement de l'échangeur à roue.

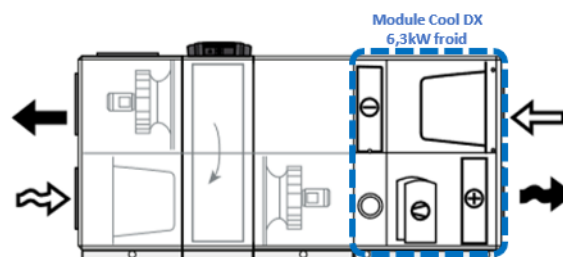
Le principe de fonctionnement de la surventilation n'est pas optimal et demande à être reparamétré. De plus, il occasionne au démarrage une gêne acoustique auprès de certains des occupants du bâtiment.

5.3.3 Production de froid (Module COOL DX20)

Principe de fonctionnement

Les conditions théoriques de fonctionnement des modules COOL DX20 sont les suivantes :

- Entre 21h et 08h, si $T^{\circ}\text{C}$ air extrait $>26^{\circ}\text{C}$ ET $T^{\circ}\text{C}$ extérieur $>20^{\circ}\text{C}$.



Principaux résultats

Entre avril 2023 et mars 2024, la consommation électrique liée à la production de froid est de 5,8 MWh/an, soit 1,5 kWh/m²Shab/an. Près d'un tiers de cette consommation électrique est liée à une **consommation de veille de 103W par module**, certainement liée aux résistances de carter et à la régulation.

La différence de consommations surfaciques entre la cage Nord et la cage Sud est proche d'un facteur 4 (0,7 kWh/m²Shab/an Sud contre 2,7 pour la cage Nord).

Il faudrait investiguer auprès du constructeur afin de connaître l'origine de cette consommation de veille et si celle-ci peut être améliorée. Une solution d'appoint serait de couper l'alimentation électrique du module DX en dehors de la saison estivale.

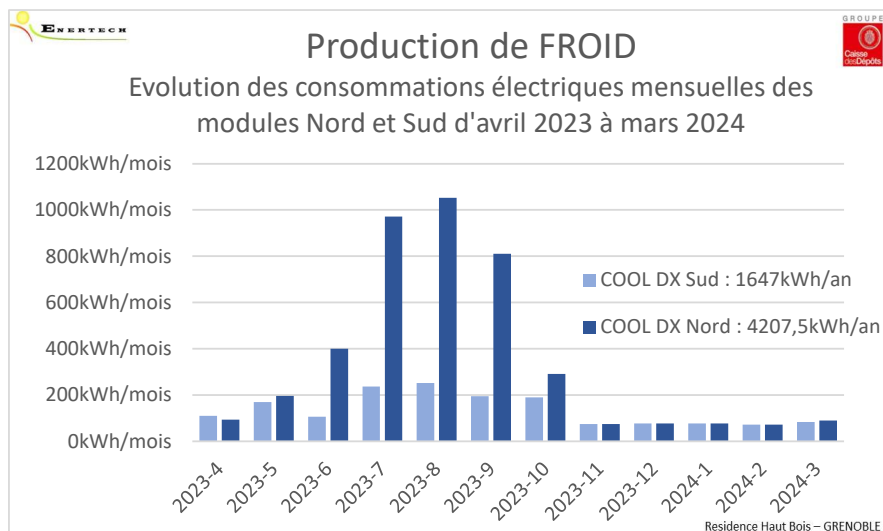


Figure 57 : Evolution des consommations électriques mensuelles des modules COOL DX des CTA Nord et Sud.

Si l'on considère le COP⁷ de 1 sur le module Sud et de 1,6 sur le module Nord durant les périodes de fonctionnement des compresseurs, la production de frigories s'élève à 6 MWh/an, soit 1,5kWh/m²Shab/an.

La différence de consommations surfaciques de frigories entre la cage Nord et la cage Sud est supérieure à un facteur 10 (0,3 kWh/m²Shab/an au Sud contre 3,4 pour la cage Nord).

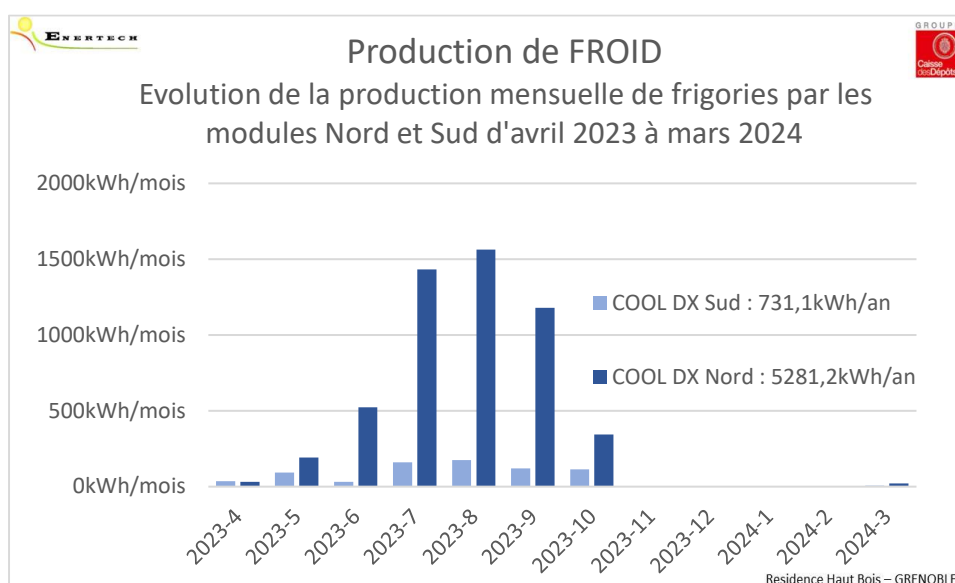


Figure 58 : Evolution de la production mensuelle de frigories des modules COOL DX des CTA Nord et Sud.

⁷ Le COP des modules COOL DX a été calculé sur les périodes où l'échangeur à roue est à l'arrêt et le module COOL DX produit des frigories, à partir des données issues des mesureurs ENERTECH et des données internes à SWEGON :

$$COP = \frac{0,34 \times \text{Débit aéraulique} \times \text{DT}^\circ\text{C Air Neuf} - \text{Air Soufflé}}{\text{Puissance électrique appelée}}$$

Fonctionnements observés

Sur les Figure 59 et Figure 60, nous pouvons voir que les modules COOL DX Nord et Sud ont fonctionné sur les mêmes périodes de l'année, plus ou moins le même nombre d'heures (environ 20% du temps) et sur les mêmes plages horaires (démarrage à 17h au lieu de 21h de l'analyse fonctionnelle)

Par contre, nous constatons aussi que les niveaux de puissances appelées sont strictement différents. A noter en cours de mesure (22/09/2023) l'intervention de Swegon pour solutionner un défaut basse pression sur le compresseur 2 de la CTA Sud.

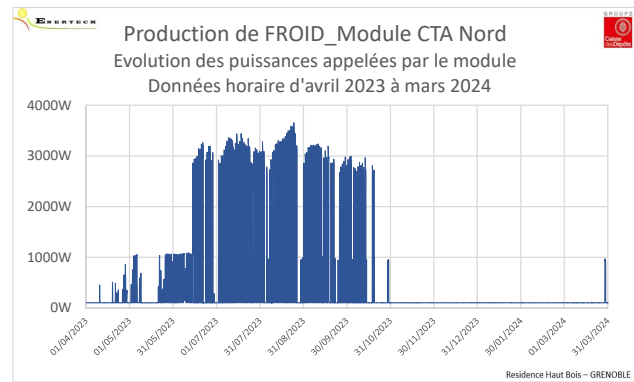
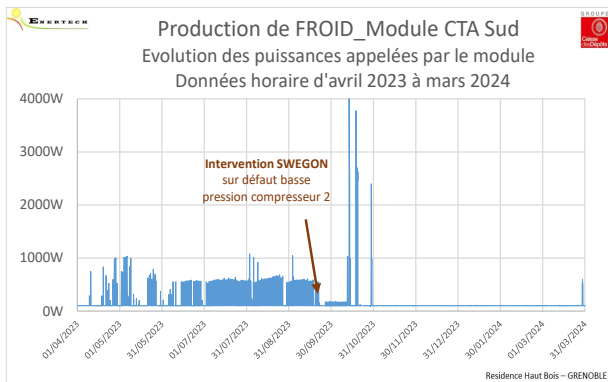


Figure 59 : Evolution des puissances appelées par les modules COOL DX des CTA Nord et Sud.

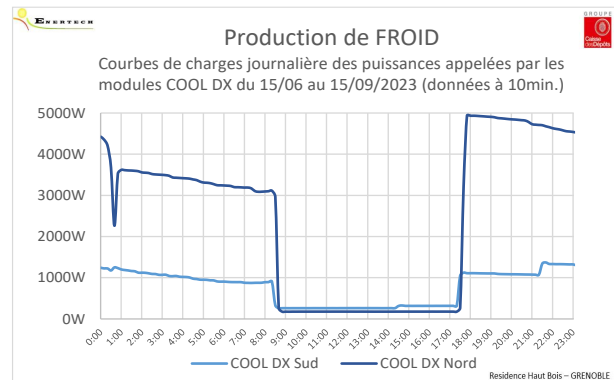
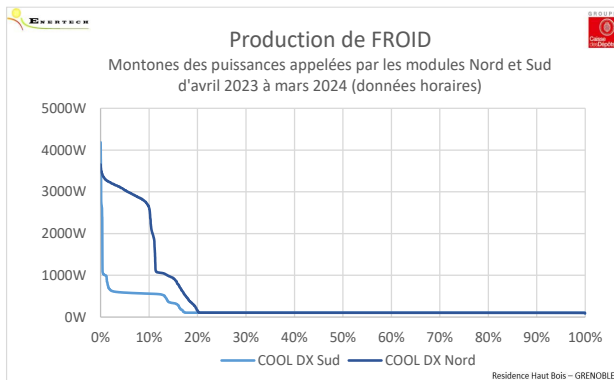
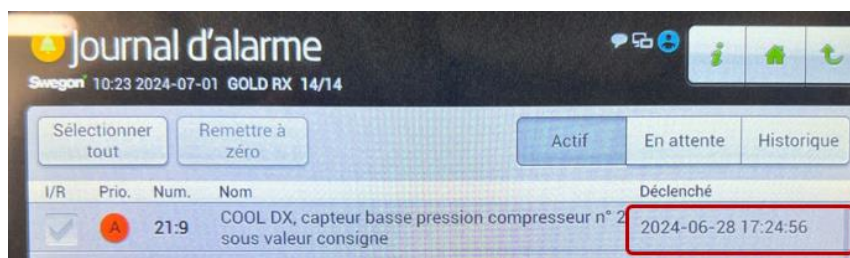


Figure 60 : Monotones des puissances électriques appelées par les modules COOL DX des CTA Nord et Sud.

Figure 61 : Courbes de charges journalières des puissances électriques appelées par les modules COOL DX des CTA Nord et Sud.

A noter que le défaut basse pression sur le compresseur 2 de la CTA Sud solutionné par Swegon (22/09/2023) est de nouveau remonté depuis le 28/06/2024. Le constructeur devrait de nouveau être sollicité pour connaître l'origine de la fuite de fluide frigorigène.



Sur la Figure 62, nous pouvons observer l'influence plus ou moins forte du fonctionnement du module COOL DX sur la température d'air neuf.

Sur la CTA Nord, la chute de température de l'air neuf induite par le fonctionnement du module COOL DX est nette. Sur la Figure 63, un zoom sur la journée du 14/07 permet de voir le niveau d'influence sur la T°C d'air neuf en fonction du niveau de puissance appelée par le module.

Sur la CTA Sud, les données moyennes à 10 minutes des Figure 62 et Figure 63 ne permettent pas de voir de baisse significative de la température d'air neuf lorsque le module COOL DX fonctionne.

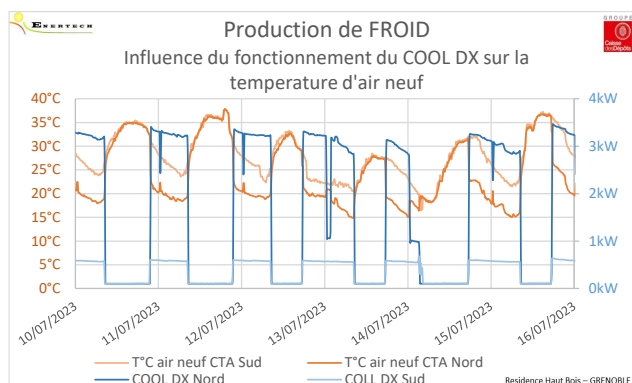


Figure 62 : Evolution des T°C d'air neuf et des puissances électriques appelées par les modules COOL DX des CTA Nord et Sud (données à 10min.)

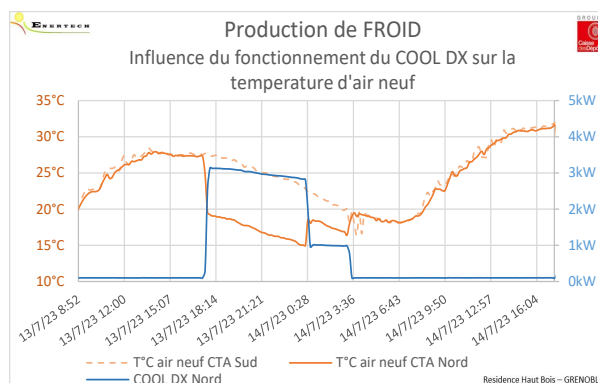


Figure 63 : Evolution des T°C d'air neuf et des puissances électriques appelées par les modules COOL DX des CTA Nord et Sud (données à 10min.)

Sur la Figure 64, nous observons à partir des données Swegon au pas de temps de 1 minute, une corrélation nette entre le niveau de T°C air neuf et fonctionnement du module COOL DX.

La baisse de la température d'air neuf induit un arrêt du module COOL DX, qui en s'arrêtant permet à la température de remonter, forçant le démarrage du module COOL DX, etc. On observe ainsi des cycles de marche/arrêt d'environ 5min. chacun, dommageable pour l'équipement et ne permettant pas de produire de frigories.

Nous pouvons observer que le fonctionnement en court cycle du module COOL DX Sud ne s'applique pas au module Nord, malgré une température d'air neuf également basse. Cette différence est sûrement liée aux niveaux de températures des étages des « limites d'air extérieur », paramétrés différemment sur la CTA Sud et la CTA Nord (Figure 65).

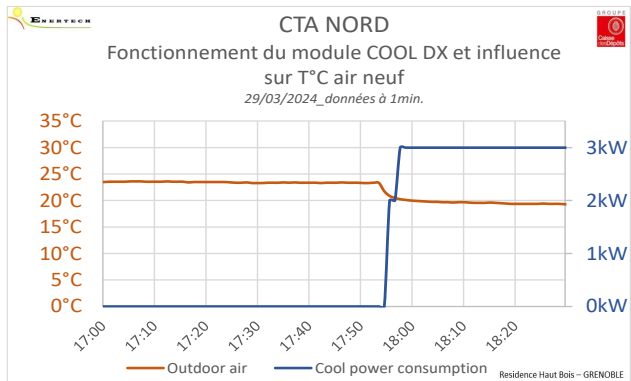
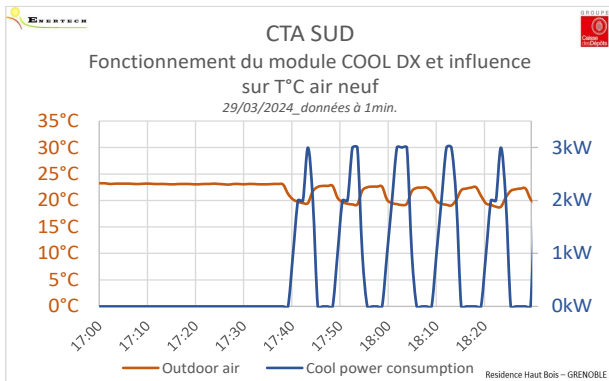
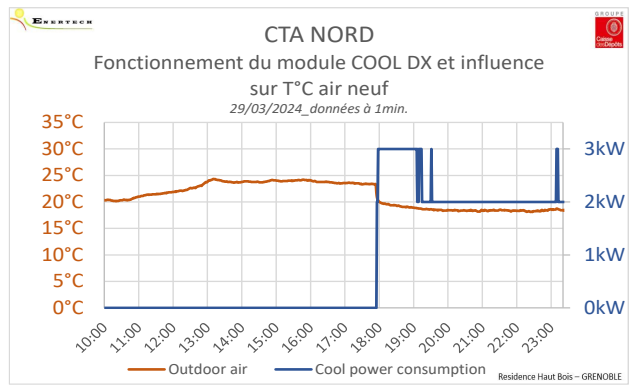
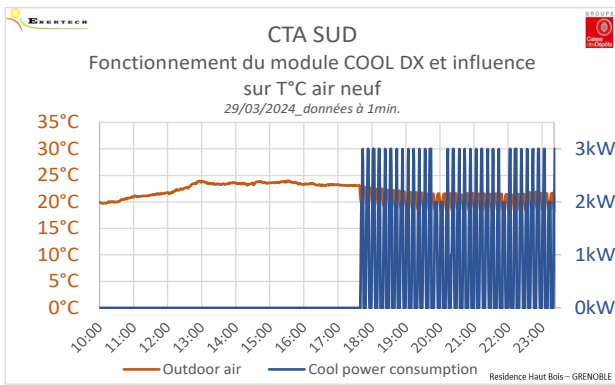
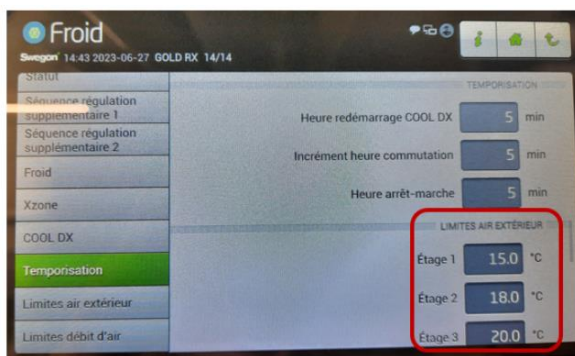


Figure 64 : Evolution des T°C d'air neuf et des puissances électriques appelées par les modules COOL DX des CTA Nord et Sud (données à 1min.)

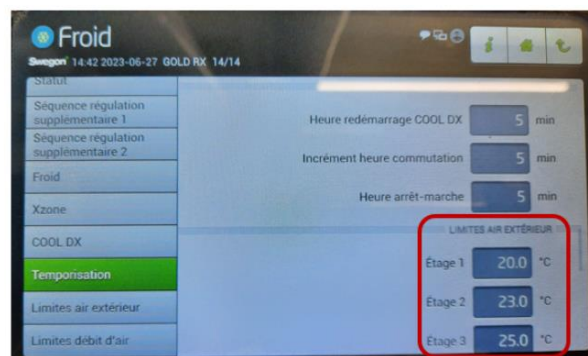
Il est dommageable que le module cool DX soit côté extérieur de la CTA. Par exemple avec une température extérieure de 35°C et intérieure de 25°C et 3000 m³/h, la CTA fait rentrer 10 kW de chaleur dans le bâtiment. La seule rotation de l'échangeur la CTA aurait permis de récupérer 7,5 kW. Avec une puissance froide du module cool DX de 6,3 kW, le résultat est proche de ce que récupère l'échangeur à roue mais avec une consommation électrique bien plus importante.

Il est donc primordial de n'utiliser le module cool DX que si la température extérieure est plus faible que la température intérieure. C'est ce qui semble avoir été indiqué dans l'analyse fonctionnelle en phase de conception.

Nous rappelons donc qu'il semble important de reprendre la régulation avec les différents intervenants.



SUD



NORD

Figure 65 : Paramétrages relevés sur chacune des deux CTA

La Figure 66 montre l'évolution de la puissance de frigories de chacun des deux modules COOL DX. Comme évoqué sur les figures précédentes, les températures d'air neuf des CTA sont fortement influencées par les modules de refroidissement (justifiant une fois de plus de convoquer de nouveau le constructeur), c'est pourquoi le calcul de la puissance de frigories ($0,34 \times \text{débit} \times \text{DT}_{\text{Air Neuf-Air Soufflé}}$) a été fait avec les données des sondes d'Enertech, plus éloignées de cette influence des modules COOL DX.

Les puissances de frigories négatives que l'on observe sur module COOL DX Sud sont dues au fait que, malgré le fonctionnement des compresseurs du module, la température d'air soufflé est parfois supérieure à la température d'air neuf, ce qui peut être lié aux apports calorifiques du moteur de soufflage.

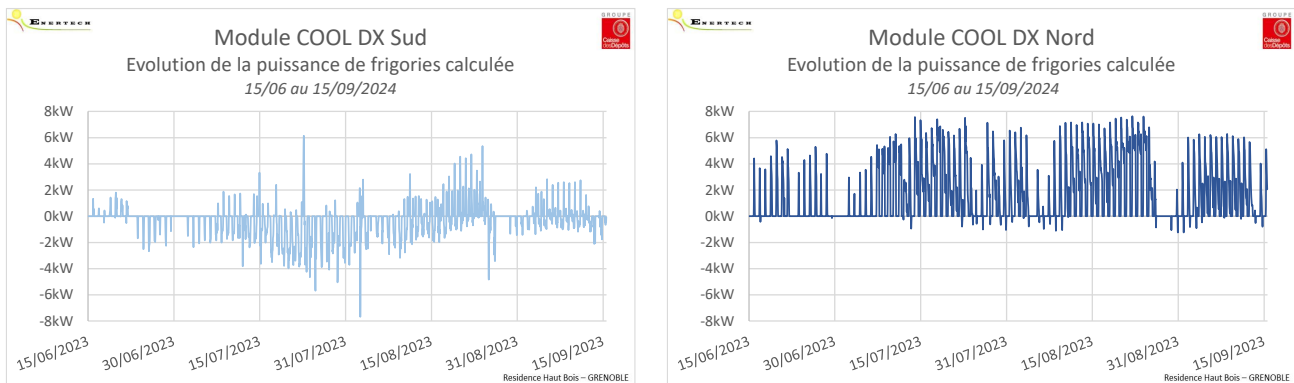


Figure 66 : Evolution des puissances de frigories produites par les modules COOL DX des CTA Nord et Sud

La Figure 67 trace la corrélation entre le COP et la puissance de frigories produites. A noter que la méthode de calcul de la puissance de frigories ($0,34 \times \text{débit} \times \text{DT}_{\text{Air Neuf-Air Soufflé}}$) s'appuie sur des sondes de températures ajoutées dans le cadre de cette campagne.

Le COP des modules COOL DX a été calculé sur les périodes où l'échangeur à roue est à l'arrêt et le module COOL DX produit des frigories, à partir des données issues des mesureurs ENERTECH et des données internes à SWEGON :

$$\text{COP} = \frac{0,34 \times \text{Débit aéraulique} \times \text{DT}^{\circ}\text{C Air Neuf} - \text{Air Soufflé}}{\text{Puissance électrique appelée}}$$

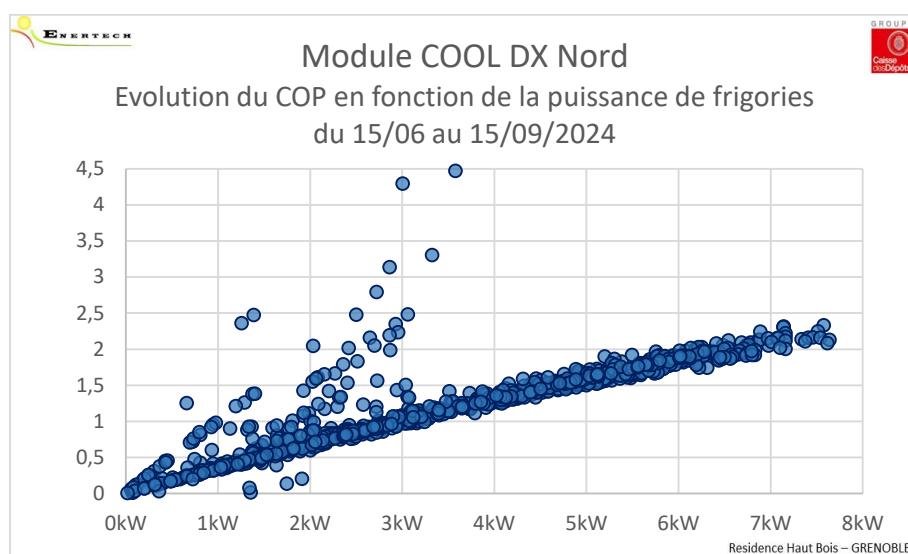


Figure 67 : Corrélation entre COP et la puissance de frigories produites par le module COOL DX des CTA Nord

5.4 Débit mesuré dans les logements

La réglementation impose des débits minimums d'extraction en fonction du nombre et type de pièces humides que compte le logement et de sa typologie. Nous nous appuyons sur le document présenté à la Figure 69 pour évaluer les niveaux de renouvellement d'air.

Remarque : Les mesures de débits ont été faites durant les périodes de fonctionnement en « débits de base ». Certaines bouches de soufflage et d'extraction étaient mal accessibles et n'ont pas été mesurées de manière fiable. Les mesures de ces bouches sont notées en rouge.

Les débits hygiéniques d'extraction

Les résultats de nos mesures sur site nous permettent d'estimer par rapport au document de la Figure 69 ci-dessous que dans l'ensemble, les débits mesurés sont proches des débits réglementaires, d'autant que la régulation des débits aux bouches se fait par obturation (cf. Figure 70) et non pas par modules de régulation type MR.

Nous notons cependant que :

- Le débit à la bouche SdB+WC du log 8 est bien trop important. Durant la campagne de mesure, nous avons constaté que l'obturateur de cette bouche n'était plus en place. Nous l'avons remis en place et constaté ensuite un débit cohérent.
- Le débit à la bouche SdB+WC des log 53_Sud et 54_Sud est trop faible. Nous pensons que ces sous-débits sont liés au sur-débit du log 52_Sud évoqué ci-dessus.

			AIR REPRIS					TOTAL	Global min.
			Cuisine	SdB	WC	SdB + WC	SdB + WC 2		
Log. 33_Sud	T4	80,2m ²	41,0m ³ /h	28,0m ³ /h	27,0m ³ /h			96,0m ³ /h	105,0m ³ /h
Log. 35_Nord	T3	67,7m ²	28,5m ³ /h	23,5m ³ /h	16,0m ³ /h			68,0m ³ /h	90,0m ³ /h
Log. 5_Nord	T3	67,8m ²	46,0m ³ /h	25,0m ³ /h	22,0m ³ /h			93,0m ³ /h	90,0m ³ /h
Log. 37_Nord	T4	80,4m ²	40,0m ³ /h	31,0m ³ /h	28,0m ³ /h			99,0m ³ /h	105,0m ³ /h
Log. 36_Nord	T3	67,8m ²	32,5m ³ /h	31,5m ³ /h	13,0m ³ /h			77,0m ³ /h	90,0m ³ /h
Log. 52_Sud	T3 DUPLEX	74,6m ²	18,0m ³ /h	20,0m ³ /h	11,0m ³ /h	153,0m ³ /h		202,0m ³ /h	135,0m ³ /h
Log. 31_Sud	T2	50,1m ²	34,0m ³ /h			30,0m ³ /h		64,0m ³ /h	45,0m ³ /h
Log. 54_Sud	T3 DUPLEX	82,9m ²	30,0m ³ /h			20,5m ³ /h	14,0m ³ /h	64,5m ³ /h	135,0m ³ /h
Log. 53_Sud	T4 DUPLEX	91,0m ²	39,0m ³ /h			34,0m ³ /h	8,0m ³ /h	81,0m ³ /h	135,0m ³ /h
Log. 45_Nord	T4	80,6m ²	Pb	23,0m ³ /h	23,0m ³ /h			46,0m ³ /h	105,0m ³ /h

Tableau 14 : Récapitulatif des mesures instantanées des débits aérauliques d'extraction réalisées dans 10 logements le 15/03/2023.



Figure 68 : Illustration de bouches de ventilation des obturateurs permettant l'équilibrage des débits entre les pièces du logement et entre les logements eux-mêmes.

Les débits de soufflage

Les résultats de nos mesures sur site nous permettent d'estimer par rapport au document de la Figure 69 que dans l'ensemble les débits mesurés sont proches des débits réglementaires, d'autant que la régulation des débits aux bouches se fait par obturation et non pas par modules de régulation type MR.

Nous notons cependant que les débits d'air soufflé sont globalement plus importants que les minimums proposés assurant un équilibre avec les débits extrait minimal réglementaire.

			AIR SOUFFLE				TOTAL	Global min.
			Séjour	Chbre 1	Chbre 2	Chbre 3		
Log. 33_Sud	T4	80,2m ²	51,5m ³ /h	31,0m ³ /h	30,0m ³ /h	34,0m ³ /h	146,5m ³ /h	105,0m ³ /h
Log. 35_Nord	T3	67,7m ²	50,5m ³ /h	22,5m ³ /h	23,5m ³ /h		96,5m ³ /h	90,0m ³ /h
Log. 5_Nord	T3	67,8m ²	49,0m ³ /h	28,5m ³ /h	30,5m ³ /h		108,0m ³ /h	90,0m ³ /h
Log. 37_Nord	T4	80,4m ²	46,0m ³ /h	49,0m ³ /h	23,0m ³ /h	26,0m ³ /h	144,0m ³ /h	105,0m ³ /h
Log. 36_Nord	T3	67,8m ²	40,0m ³ /h	29,0m ³ /h	25,0m ³ /h		94,0m ³ /h	90,0m ³ /h
Log. 52_Sud	T3 DUPLEX	74,6m ²	50,0m ³ /h	35,0m ³ /h	38,0m ³ /h	43,0m ³ /h	166,0m ³ /h	135,0m ³ /h
Log. 31_Sud	T2	50,1m ²	55,0m ³ /h	33,7m ³ /h			88,7m ³ /h	45,0m ³ /h
Log. 54_Sud	T3 DUPLEX	82,9m ²	47,0m ³ /h	33,0m ³ /h	31,0m ³ /h		111,0m ³ /h	135,0m ³ /h
Log. 53_Sud	T4 DUPLEX	91,0m ²	52,0m ³ /h	26,0m ³ /h	38,0m ³ /h		116,0m ³ /h	135,0m ³ /h
Log. 45_Nord	T4	80,6m ²	37,0m ³ /h	16,0m ³ /h	20,0m ³ /h	17,0m ³ /h	90,0m ³ /h	105,0m ³ /h

Tableau 15 : Récapitulatif des mesures instantanées des débits aérauliques de soufflage réalisées dans 10 logements le 15/03/2023

Tableau 5 : Propositions de débits insufflés dans les pièces principales

Nombre de pièces principales du logement	Type de sanitaires	DÉBITS EXTRAITS (m ³ /h)					DÉBITS INSUFLÉS (m ³ /h)	
		Global mini	Global maxi	Cuisine (mini/maxi)	Salle de bains	WC	Séjour (mini)	Chambre (mini)
1	1 Sdb /WC	35	90	20/75	15	-	35	-
	1 Sdb 1 WC	50	105	20/75	15	15	50	-
2	1 Sdb / WC	45	105	30/90	15	-	23	22
	1 Sdb 1 WC	60	120	30/90	15	15	30	30
	1 Sdb 2 WC	75	135	30/90	15	15	45	30
	2 Sdb 1 WC	75	135	30/90	15	15	45	30
3	2 Sdb 2 WC	90	150	30/90	15	15	60	30
	1 Sdb 1 WC	90	150	45/105	30	15	30	30
	1 Sdb 2 WC	105	165	45/105	30	15	45	30
	2 Sdb 1 WC	120	180	45/105	30	15	60	30
4	2 Sdb 2 WC	135	195	45/105	30	15	75	30
	1 Sdb 1 WC	105	180	45/120	30	30	30	25
	1 Sdb 2 WC	105	180	45/120	30	15	30	25
	2 Sdb 1 WC	135	210	45/120	30	30	45	30
5	2 Sdb 2 WC	135	210	45/120	30	15	45	30
	1 Sdb 1 WC*	105	195	45/135	30	30	18	18
6	1 Sdb 2 WC*	105	195	45/135	30	15	18	18
	2 Sdb 1 WC	135	225	45/135	30	30	25	22
	2 Sdb 2 WC	135	225	45/135	30	15	25	22

* Valeur pour un déséquilibre de 14%

Figure 69 : Récapitulatif des débits minimum et maximum d'extraction et de soufflage dans les logements
<https://www.proreno.fr/documents/vmc-double-flux-en-habitat-collectif-conception-et-dimensionnement-installation-et-mise-en-service-entretien-et-maintenance>

Différence entre débits de soufflage et d'extraction

Nous notons une différence moyenne de 27m³/h par logement entre le débit d'air soufflé et air extrait. L'écart entre les débits d'air théorique et mesurés est en moyenne de -11% pour l'air extrait et de +29% sur l'air soufflé.

Ces écarts peuvent s'expliquer par :

- Des mesures aux bouches d'extraction parfois peu fiable du fait de l'emplacement des bouches.
- Un réseau aéraulique moins étanche sur l'extraction que sur le soufflage, car au niveau des CTA, les débits de base entre extraction et soufflage sont parfaitement équilibrés.

			Écart air soufflé	Écart air extrait	Différence air soufflé – air extrait
Log 02	T4	80,2m ²	82%	-9%	50,5m ³ /h
Log 03	T3	67,7m ²	23%	-24%	28,5m ³ /h
Log 07	T3	67,8m ²	120%	3%	15,0m ³ /h
Log 05	T4	80,4m ²	87%	-6%	45,0m ³ /h
Log 04	T3	67,8m ²	24%	-14%	17,0m ³ /h
Log 08	T3 DUPLEX	74,6m ²	-86%	50%	-36,0m ³ /h
Log 01	T2	50,1m ²	177%	42%	24,7m ³ /h
Log 10	T3 DUPLEX	82,9m ²	-52%	-52%	46,5m ³ /h
Log 09	T4 DUPLEX	91,0m ²	-54%	-40%	35,0m ³ /h
Log 06	T4	80,6m ²	-34%	-56%	44,0m ³ /h
MOYENNE			29%	-11%	27,0m³/h

Tableau 16 : Récapitulatif de la différence entre mesures instantanées des débits aérauliques de soufflage et d'extraction réalisées dans 10 logements le 15/03/2023

6 Electricité des services généraux

6.1 Consommation annuelle tous usages et présentation des différents postes

6.1.1 Résultats globaux

La consommation électrique totale des services généraux en incluant la production de chauffage, d'eau chaude sanitaire et de rafraîchissement est de 37,4 MWh_{él}/an soit **9,6 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** ou encore **668 kWh_{él}/an/logement**, ce qui est une valeur performante.

Ce sont les CTA qui représentent le poste le plus consommateur avec 55 % de la consommation des services généraux. Viennent ensuite les modules de refroidissement COOL DX de chez Swegon avec 16% puis les auxiliaires des sous-stations, l'éclairage et les ascenseurs avec respectivement entre 8 et 6%. Le non suivi représente 6% de la consommation totale des services généraux.

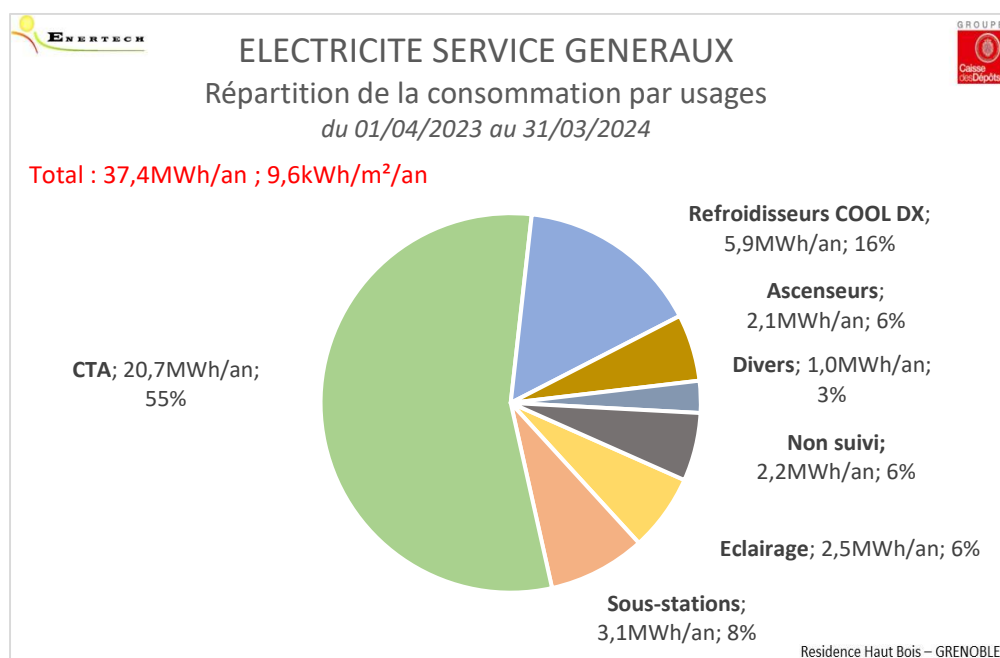


Figure 70 : Répartition de la consommation électrique mesurée par poste pour les services généraux entre avril 2023 à mars 2024.

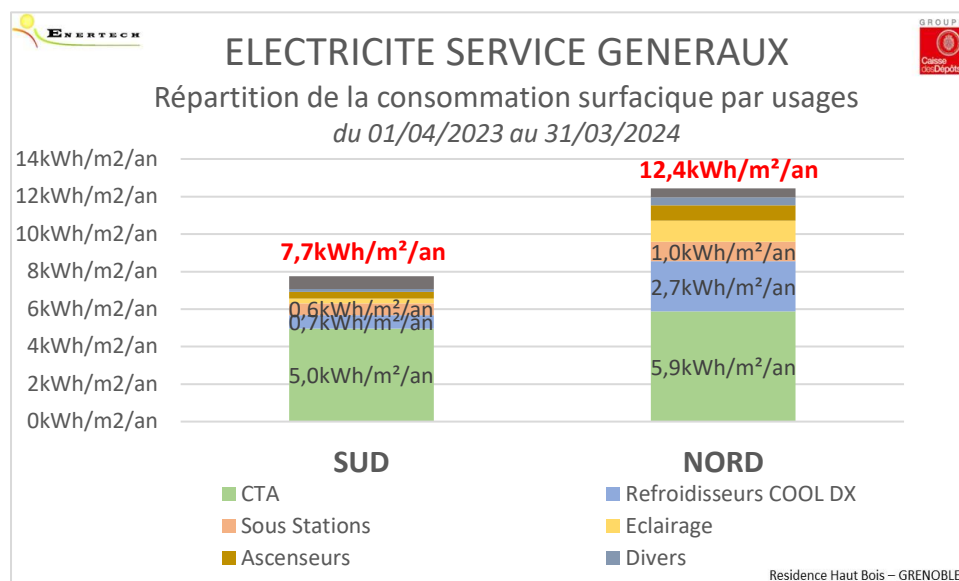


Figure 71 : Répartition des consommations surfaciques mesurées par poste et par bâtiment pour les services généraux entre avril 2023 à mars 2024.

En soustrayant les consommations des modules de refroidissement COOL DX, la consommation annuelle est de **31,6 MWh_{él}/an** soit **8,1 kWh_{él}/an/m²_{shab}**, ce qui est très performant par rapport à la moyenne des relevés que nous menons depuis plusieurs années sur des bâtiments résidentiels collectifs performants.

6.1.2 Comparaison avec des bâtiments similaires

La Figure 72 situe cette opération parmi d'autres opérations neuves ayant déjà fait l'objet d'une campagne de mesures. L'opération est 1,6 fois moins consommatrice que la moyenne (soit 38% de moins) qui s'explique entre autres par :

- La sous station qui consomme 0,8 kWh/an/m² soit 3,5 fois moins que la moyenne des autres bâtiments. Rappelons qu'il s'agit de deux sous stations alimentées par le RCU de la CCIAG.
- L'éclairage des SG qui consomme 0,6 kWh/an/m² soit 4,5 fois moins que la moyenne des autres bâtiments.

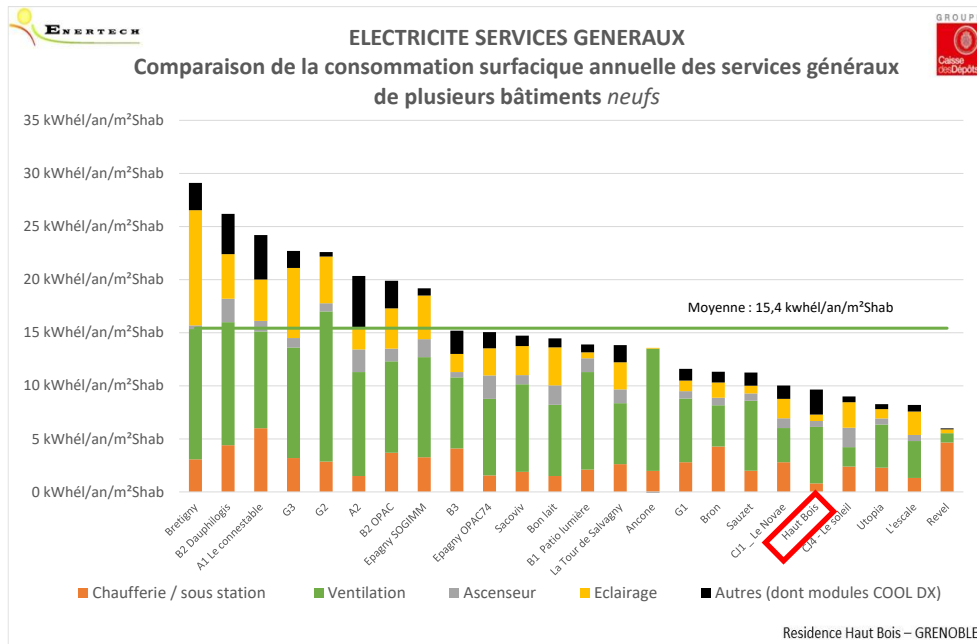


Figure 72 : Comparaison de la consommation d’électricité des services généraux du Haut Bois avec celle d’autres bâtiments neufs en kWhél/m²Shab/an

La Figure 73 représente l’évolution mensuelle des consommations moyennes journalières surfaciques des services généraux. On constate alors :

- Une saisonnalité modérée de l’usage sous-station ;
- Une forte saisonnalité des refroidisseurs COOL DX, avec un talon important en hiver ;
- Pour les autres postes la consommation mensuelle varie peu ou pas.

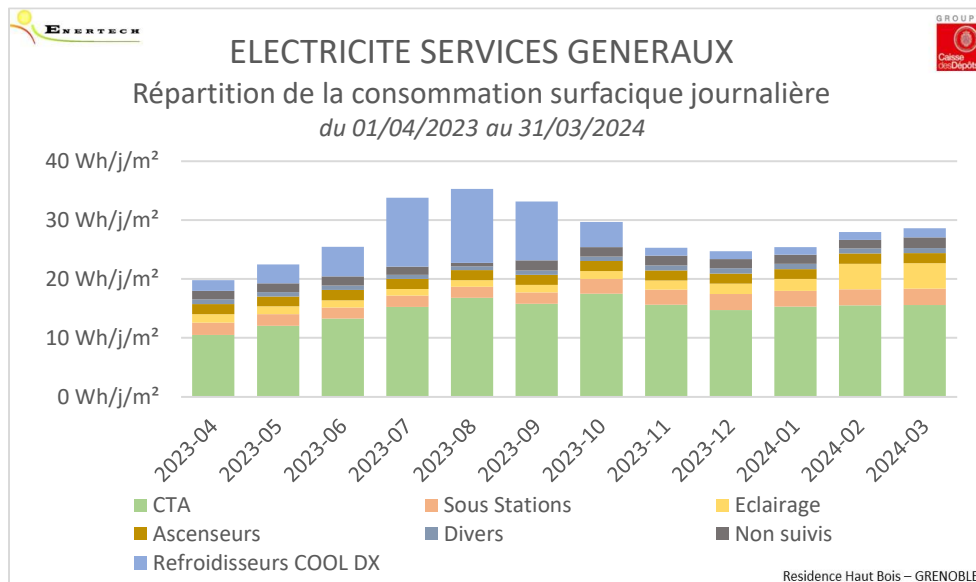


Figure 73 : Evolution mensuelle mesurée de la consommation électrique des services généraux en énergie finale

6.2 Consommation par usage des services généraux

6.2.1 Sous-station

Répartition de la consommation électrique de la sous-station par usage

La consommation annuelle des deux sous-stations est de 3100 kWh/an soit **0,8 kWh/an/m²_{Shab}** ou encore **55,4 kWh/an/logement**. Cette consommation est 3,5 fois moins importante que la moyenne des autres bâtiments. Rappelons qu'il s'agit de deux sous stations alimentées par le RCU de la CCIAG.

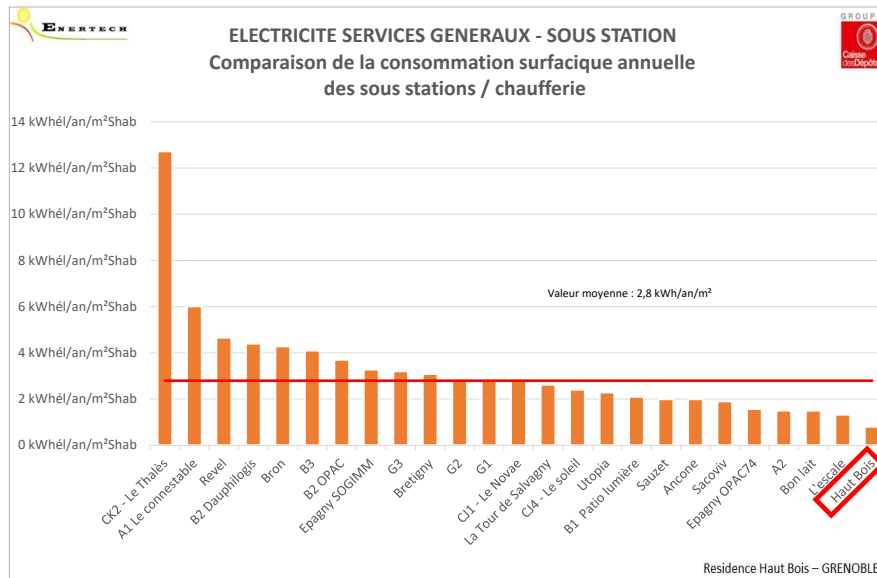


Figure 74 : ELECTRICITE SERVICES GENERAUX - SOUS STATION - Comparaison de la consommation surfacique annuelle des sous stations / chaufferie.

En effectuant le ratio de la chaleur fournie (chauffage : 22,2 MWh / ECS : 97,4 MWh) par la consommation électrique de la sous-station (3100 kWh), on obtient la valeur de 25,9 kWhél/MWh_{ut} ce qui est faible en comparaison d'autres bâtiments suivis par Enertech (cf. Figure 75).

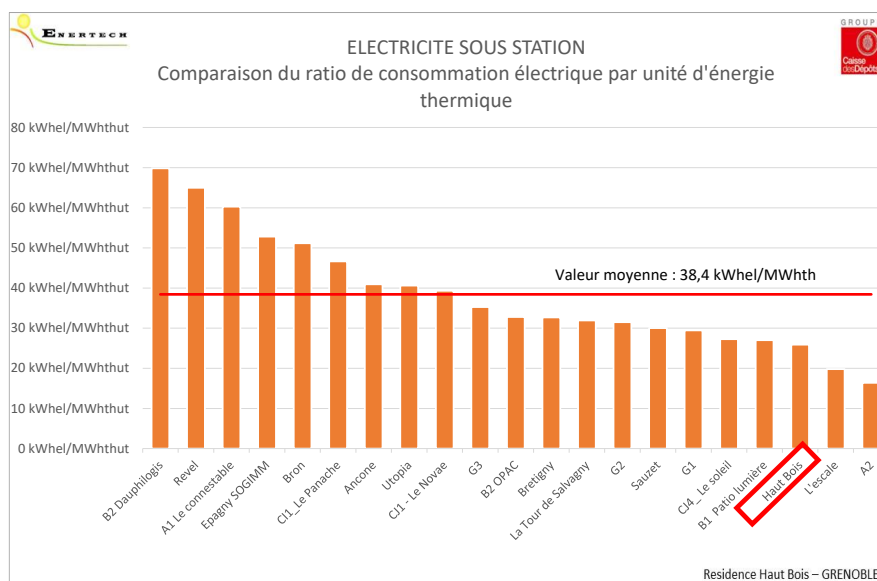


Figure 75 : ELECTRICITE SOUS STATION - Comparaison du ratio de consommation électrique par unité d'énergie thermique.

La Figure 76 représente la structure de la consommation d'électricité de la sous-station.

Nous pouvons remarquer que la consommation de la pompe de charge ECS du bât Nord est 1,5 fois plus importante que celle du bât Sud, alors que celle-ci contient 1,5 fois moins de logements. Un réglage de mode de fonctionnement et de consigne adéquat pourrait être repris afin d'optimiser cette consommation.

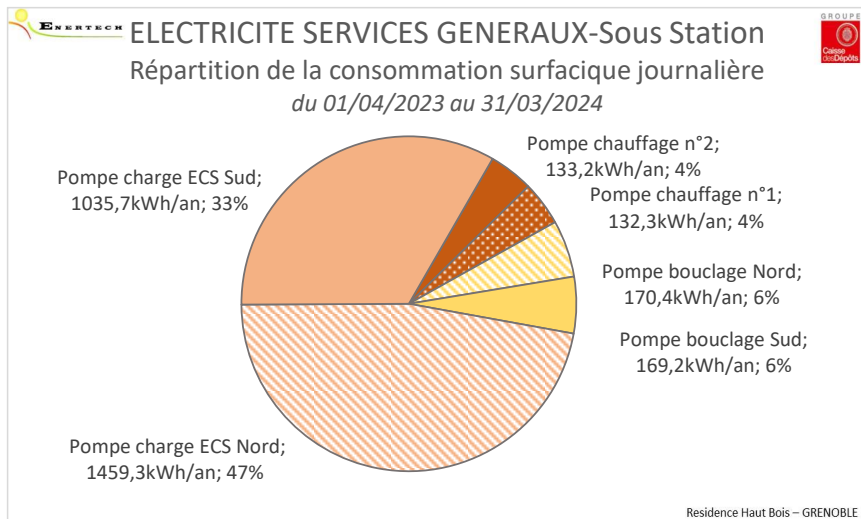


Figure 76 : ELECTRICITE SOUS STATION – Répartition des consommations électriques mesurées de la sous-station par usage

Comme on peut le voir sur la Figure 77 une augmentation de la consommation des pompes de charges ECS se produit à partir du mois d'octobre 2023.

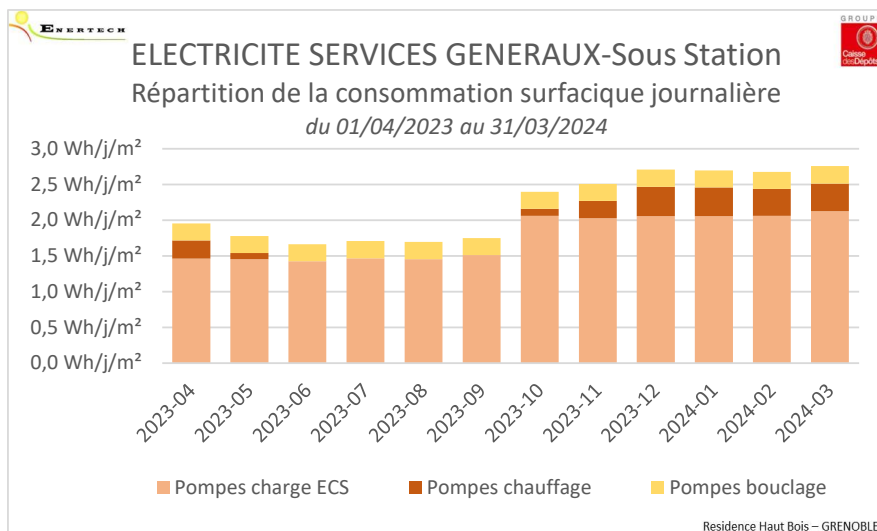


Figure 77 : Evolution en moyennes journalières des consommations électriques des principaux équipements de la sous-station entre avril 2023 et mars 2024.

Nous pouvons observer sur la Figure 78 le fonctionnement continu des pompes de charges ECS, ce qui pourrait être optimisé. Notons également le changement sur la pompe de charge ECS bât. Sud, qui voit sa puissance appelée augmenter d'un facteur deux.

Concernant le fonctionnement des pompes de chauffage, leur principe de fonctionnement est décrit sur les Figure 23 et Figure 24. Leur puissance varie sur une bonne partie de l'année, montrant ainsi que la régulation à pression constante fonctionne. Cependant le fait que la puissance soit supérieure à pression constante montre que le réglage n'est pas optimum.

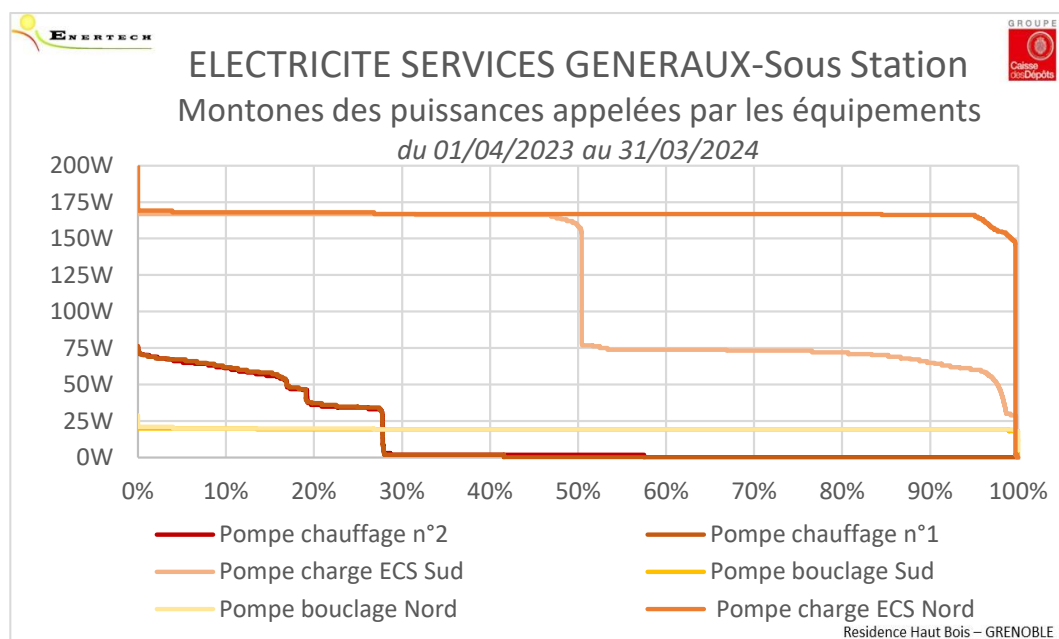


Figure 78 : Monotones des puissances appelées par les principaux équipements de la sous-station entre avril 2023 et mars 2024.

6.2.2 Eclairage

Consommation électrique de l'éclairage par usage

L'éclairage des parties communes représente 6 % de la consommation des services généraux (si on retire la consommation de la PAC et ses auxiliaires) avec **2345 kWh_{él}/an** soit **0,6 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** ou **42 kWh_{él}/logement/an**.

La Figure 79 fournit la répartition des consommations d'éclairage entre les différents usages sur la période pendant laquelle ils ont tous été suivis.

L'éclairage des circulations est le plus consommateur avec 89 % de la consommation totale.

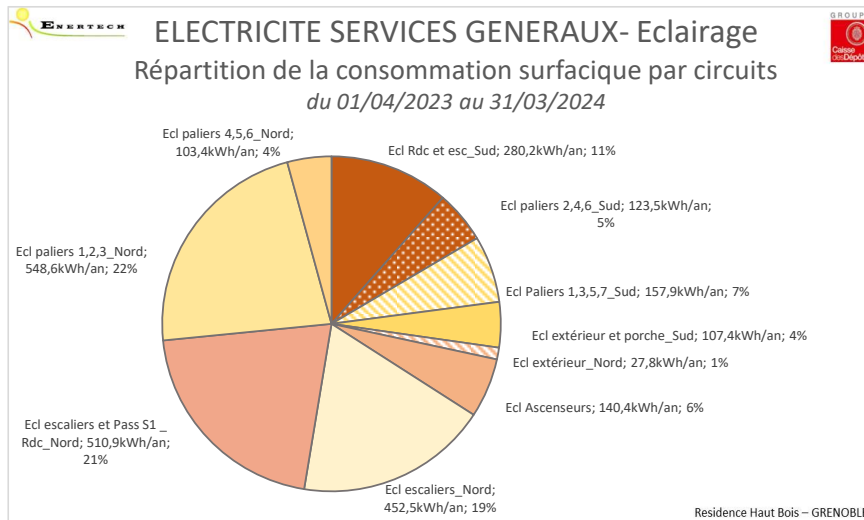


Figure 79 : Répartition de la consommation électrique du poste éclairage par type de circuit d'éclairage suivi au cours de la campagne de mesures.

Comparaison avec d'autres bâtiments similaires

Sur 32 opérations déjà suivies, la consommation moyenne du poste éclairage était de 2,5 kWh_{él}/an/m² toutes opérations confondues et de 1,5 kWh_{él}/an/m² pour les bâtiments sans parking sous-terrain. Nous observons alors que les consommations d'éclairage du bâtiment *Le Haut Bois* sont nettement inférieures à la moyenne.

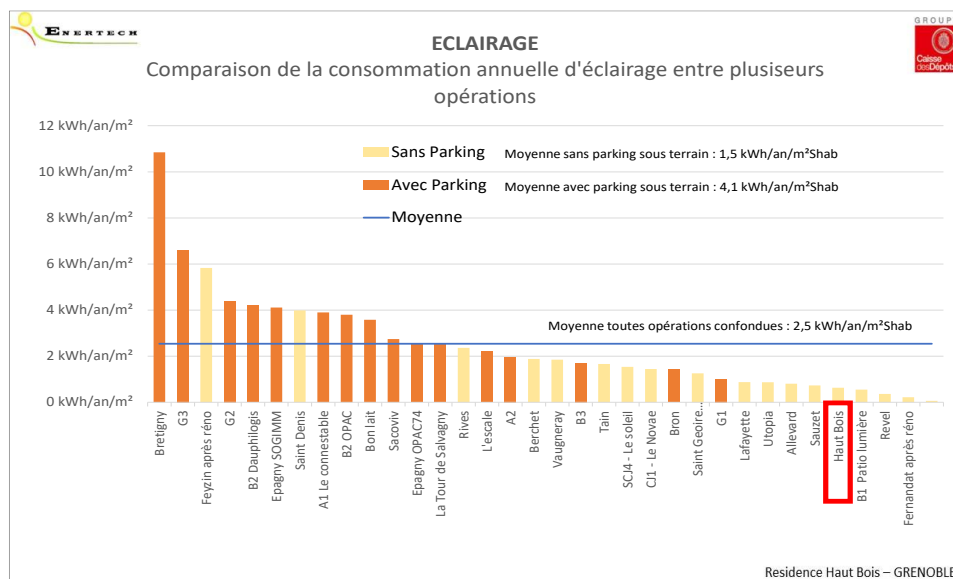


Figure 80 : Comparaison des consommations d'éclairage mesurées avec d'autres bâtiments.

Evolution de la consommation annuelle

La consommation moyenne journalière par mois est donnée dans le graphique de la Figure 81. On peut voir la consommation journalière quasiment tripler à partir de février 2023. Cette surconsommation est liée aux départs « Rdc et escaliers_Sud », « escaliers_Nord » et « escaliers et Pass S1 _ Rdc_Nord », dont une partie des points lumineux semblent allumés en continu.

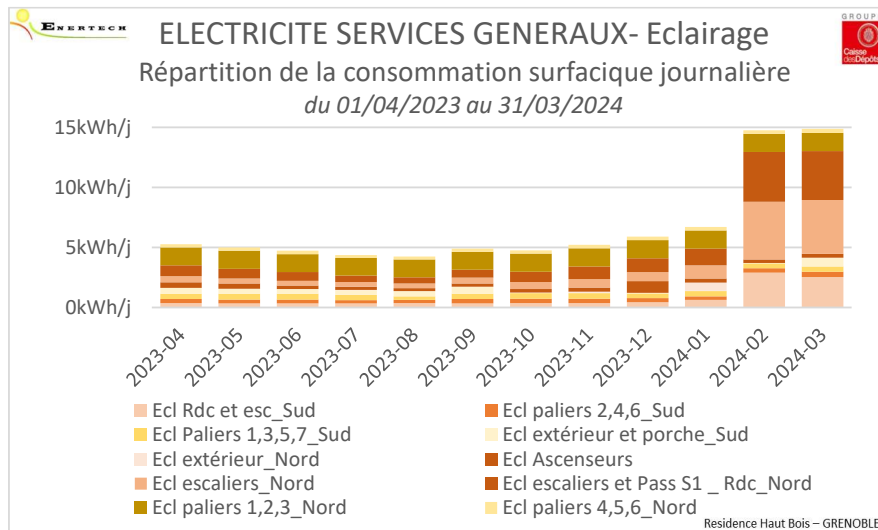


Figure 81 : ECLAIRAGE DES PARTIES COMMUNES - Evolution mensuelle de la consommation journalière.

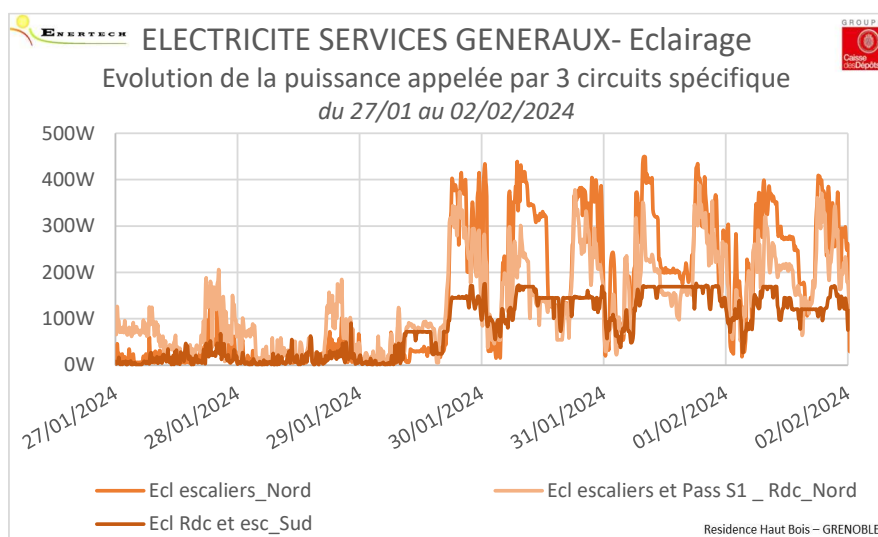


Figure 82 : Représentation graphique au pas de temps de 10 min du dysfonctionnement de l'éclairage de 3 circuits spécifiques.

6.2.3 Ventilation

Le poste ventilation est traité en détail au chapitre 5. Il a fait l'objet d'un suivi instrumenté qui nous permet de présenter sur la Figure 83 une comparaison des consommations avec d'autres opérations mesurées précédemment. La mesure de 5,3 kWh/m²Shab/an est 1,5 fois moins élevée que la consommation moyenne mesurée sur 23 opérations équipées d'une ventilation double flux. Des optimisations sont toutefois possibles (Cf 5.2.2). Etude de la ventilation

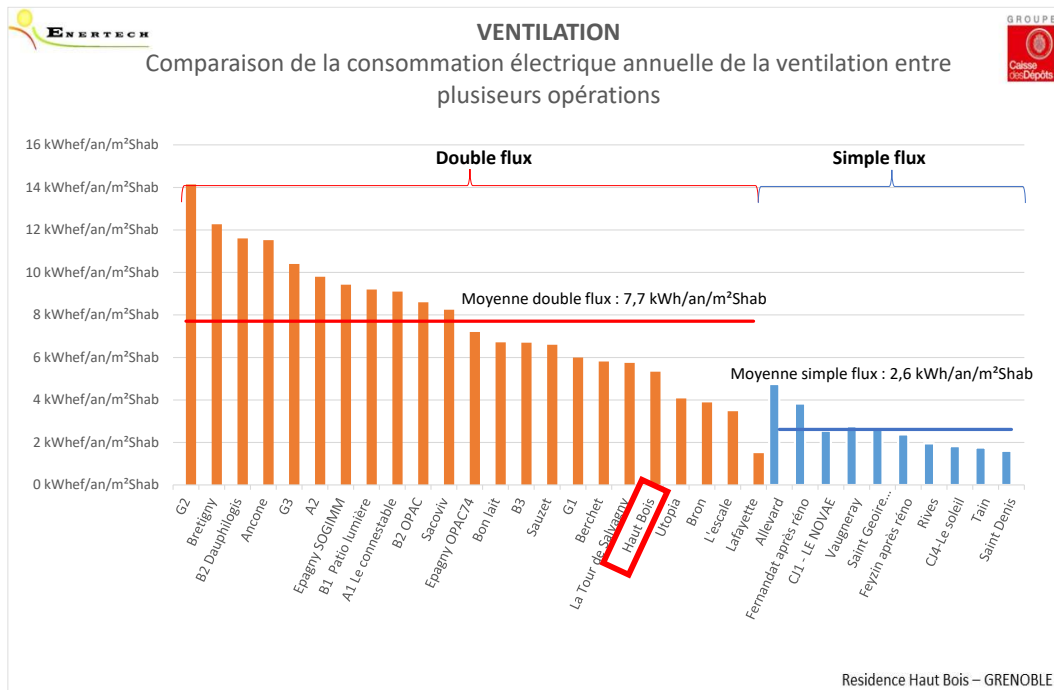


Figure 83 : Graphique de comparaison des consommations surfaciques des systèmes de ventilation installés sur des opérations qui ont fait l'objet d'une campagne de mesure.

6.2.4 Rafraîchissement

Le poste rafraîchissement est traité en détail dans la sous partie 6.2.4. Les principaux sont, pour rappel, les suivants :

- Entre avril 2023 et mars 2024, la consommation électrique liée à la production de froid est de 5,8MWh/an, soit 1,5kWh/m²Shab/an. Près d'un tiers de cette consommation électrique est liée à une **consommation de veille de 103W par module** peut être liée aux résistances de carter et à la régulation.
- La différence de consommations surfaciques entre la cage Nord et la cage Sud est proche d'un facteur 4 (0,7 kWh/m²Shab/an Sud contre 2,7 pour la cage Nord), ce qui témoigne d'un dysfonctionnement du module de la cage R+5 Nord.
- Le nombre d'opérations en logements collectifs neufs et équipés d'un système de rafraîchissement/climatisation suivis par Enertech est trop faible pour permettre une comparaison des consommations électriques de cet usage avec d'autres bâtiments.

7 Electricité parties privatives

Les consommations d'électricité des logements suivis s'étendent de 1685,7 à 3260 kWh_{el}/an soit un rapport de 1 à 2 d'un logement à l'autre. Avec 34,6 kWh_{el}/m²_{SHAB}/an en moyenne sur le bâtiment, les consommations sont élevées par rapport à la moyenne nationale connue en logement collectif (26 à 28 kWh_{el}/m²_{SHAB}/an). Ce poste de consommation est devenu incontournable dans le bilan global (§ 2.2).

La Figure 84 montre la consommation électrodomestique des différents appartements suivis.

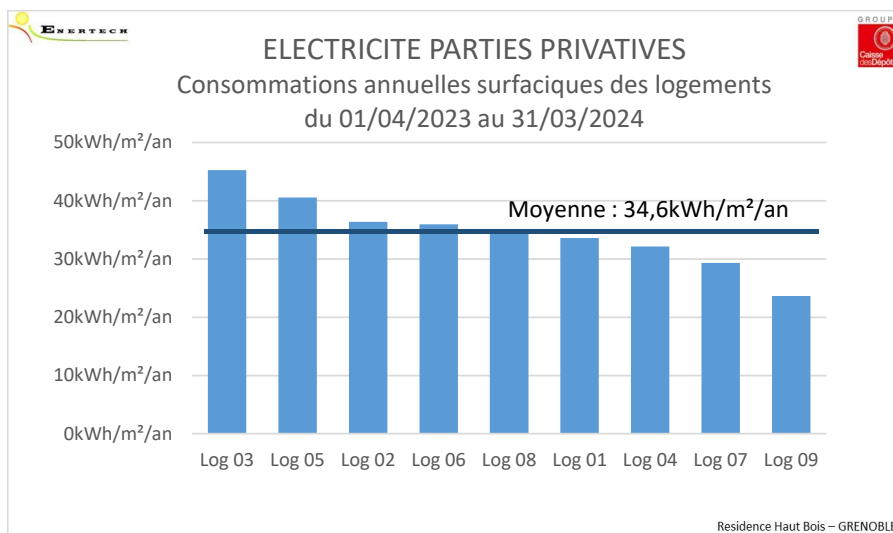


Figure 84 : ELECTRICITE PARTIE PRIVATIVES - Consommation électrique annuelle surfacique des logements.

La Figure 85 représente la répartition moyenne par usage de la consommation dans les logements suivis. La part importante du poste « autres » s'explique en partie par l'utilisation d'appareils de type convecteurs électriques, climatiseurs mobiles ou encore déshumidificateurs non suivis car utilisés après l'instrumentation, ou bien d'équipements non suivis car trop spécifiques (aquarium par exemple). Une part du poste « autres » peut aussi s'expliquer par le débranchement d'appareils de mesure suite à un changement d'équipement et dont l'annualisation des consommations mesurées ne reflètent pas la consommation réelle de l'usage sur l'ensemble de l'année.

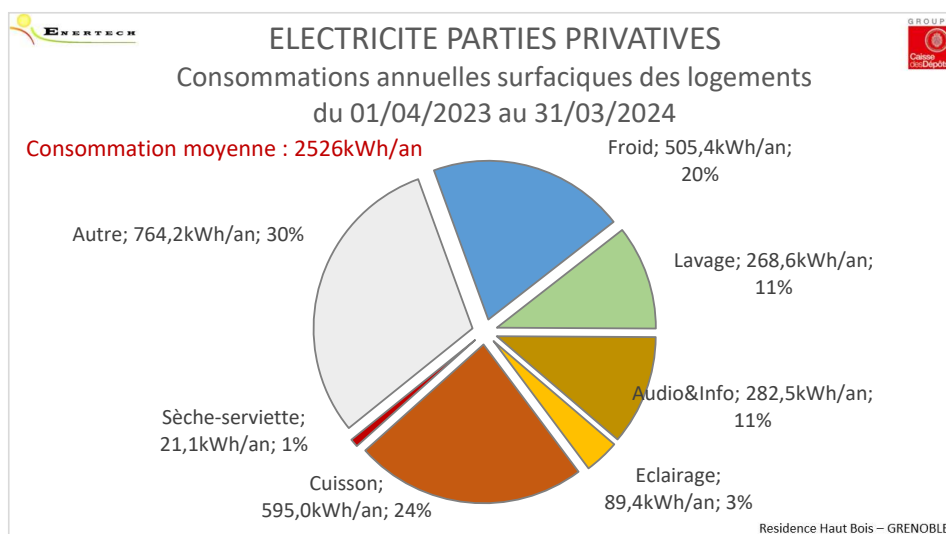


Figure 85 : ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES - Répartition moyenne de la consommation électrodomestique.

La Figure 86 présente la répartition des consommations par poste pour chaque logement.

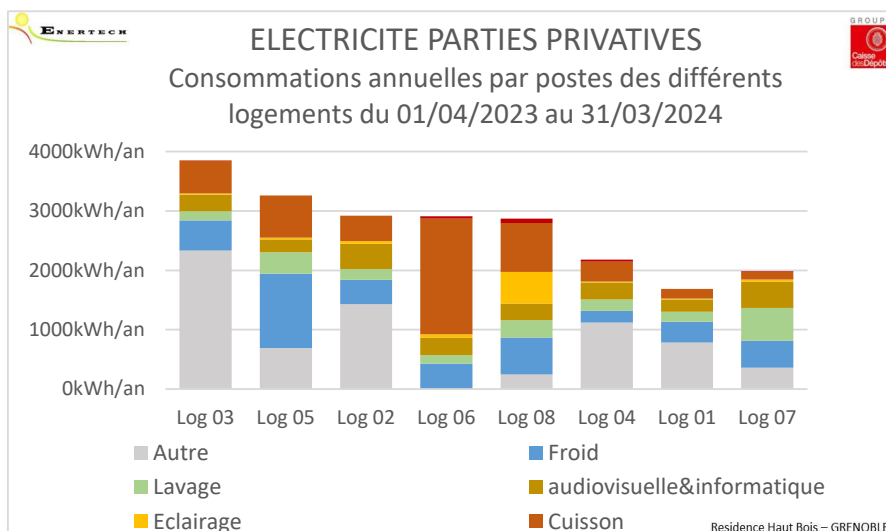


Figure 86 : ELECTRICITE PARTIE PRIVATES - Consommation par poste des différents logements suivis.

La Figure 87 présente les courbes de charges électriques de chaque logement ainsi que la valeur moyenne entre logements. Les créneaux horaires les plus consommateurs sont : 11h00/14h00 et 18h00/21h00.

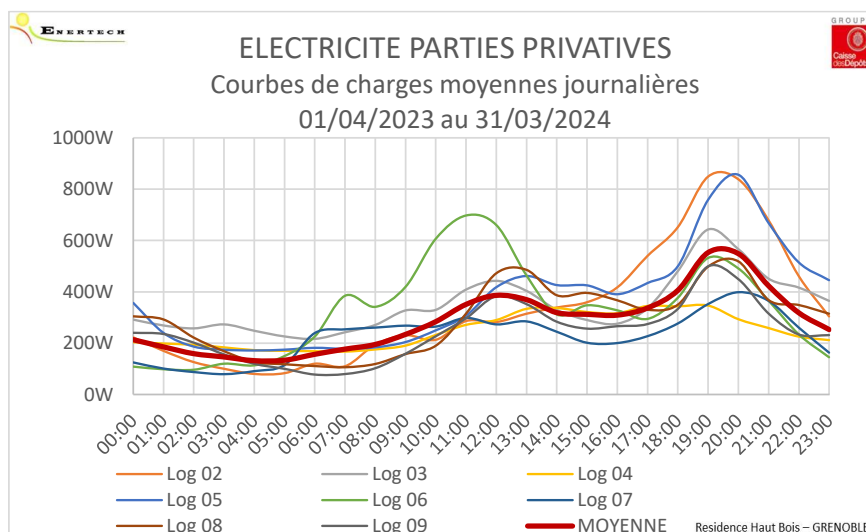


Figure 87 : ELECTRICITE PARTIES PRIVATES - Courbes de charges moyennes annuelles du 01/04/2023 au 31/03/2024.

8 Qualité des ambiances

8.1 Etude du confort d'hiver

Note méthodologique :

- > On définit l'hiver comme la période allant du 1er décembre (2023) au 29 février (2024). En effet, il s'agit de la période la plus froide de l'année et nous nous intéressons ici aux températures maintenues dans le bâtiment « sous charge » c'est-à-dire au cœur de la saison de chauffe.
- > 10 logements ont été instrumentés.
- > Une sonde de température et d'hygrométrie a été posée dans chaque séjour et une sonde de température ambiante dans chaque chambre.
- > Pour calculer la température ou l'hygrométrie moyenne *du bâtiment*, on effectue la moyenne des logements suivis.

Dans le Tableau 17 on observe **qu'en moyenne sur l'hiver, la température des logements étudiés s'établit à 21,8°C dans les séjours et 20,8°C dans les chambres**

Dans les séjours, toutes les températures moyennes observées sont supérieures à 20°C.

Les logements 45 et 52 montrent des températures de séjours supérieures à 23°C plus de la moitié du temps de la période considérée (respectivement 60 et 66%).

Rappelons que ces résultats sont globalement assez défavorables à la performance énergétique du bâtiment par rapport à la température réglementaire de 19°C (rappelons qu'1°C supplémentaire entraîne dans un bâtiment à faible consommation une surconsommation de chauffage de l'ordre de 15 à 20%).

du 01/12/23 au 29/02/24 (2184 h)	Moyenne bâtiment	log 35 - HM salon	log 36 - HM salon	log 37 - HM salon	log 45 - HM salon	log 31 - HM salon	log 33 - HM salon	log 52 - HM salon	log 53 - HM salon	log 54 - HM salon
T°C moyenne	21,8	22,1 °C	20,4 °C	22,2 °C	23,1 °C	20,0 °C	21,8 °C	24,5 °C	20,8 °C	21,2 °C
T°C max	23,8	26,8 °C	25,5 °C	26,3 °C	25,3 °C	23,6 °C	29,9 °C	32,8 °C	25,5 °C	26,1 °C
T°C min	18,4	16,9 °C	17,2 °C	19,7 °C	18,3 °C	16,1 °C	16,0 °C	16,0 °C	16,0 °C	17,7 °C
% < 19°C	1%	7%	6%	0%	0%	13%	1%	0%	5%	1%
% entre 19 et 21°C	12%	27%	71%	14%	3%	73%	22%	0%	21%	33%
% entre 21 et 23°C	83%	26%	20%	61%	37%	14%	64%	33%	64%	65%
% > 23°C	5%	40%	3%	25%	60%	0%	13%	66%	10%	1%

du 01/12/23 au 29/02/24 (2184 h)	Moyenne bâtiment	log 36 - T°C chambre	log 37 - T°C chambre	log 45 - T°C chambre	log 33 - T°C chambre	log 52 - T°C chambre	log 53 - T°C chambre	log 54 - T°C chambre
T°C moyenne	20,8	19,9 °C	20,1 °C	21,3 °C	19,0 °C	22,7 °C	22,3 °C	20,5 °C
T°C max	22,6	23,4 °C	22,8 °C	23,5 °C	21,7 °C	31,4 °C	26,0 °C	22,9 °C
T°C min	18,3	7,5 °C	17,2 °C	19,0 °C	10,9 °C	16,9 °C	20,2 °C	17,5 °C
% < 19°C	1%	29%	3%	0%	40%	0%	0%	5%
% entre 19 et 21°C	61%	31%	82%	33%	59%	9%	3%	56%
% entre 21 et 23°C	38%	37%	15%	66%	2%	50%	77%	39%
% > 23°C	0%	3%	0%	1%	0%	40%	21%	0%

Tableau 17 : Résultats détaillés des températures horaires relevées au cours de la campagne de mesures entre le 1er décembre 2023 et le 28 février 2024 dans 9 logements du Haut Bois

La Figure 88 montre les dispersions de températures entre les différents logements, en distinguant la température de la chambre principale de celle du séjour. Les températures ambiantes atteintes en journée approchent en moyenne 22°C dans le séjour et 21°C dans les chambres. Le comportement plutôt « plat » des courbes de températures indique à la fois une bonne régulation du chauffage et une bonne inertie du bâtiment.

La dispersion légèrement plus importante des températures ambiantes dans les chambres peut s'expliquer par le fait que la sonde d'ambiance qui pilote l'émission de chauffage dans les logements se trouve dans les séjours. Il n'y a donc pas, à proprement parler, de régulation terminale de chauffage dans les chambres.

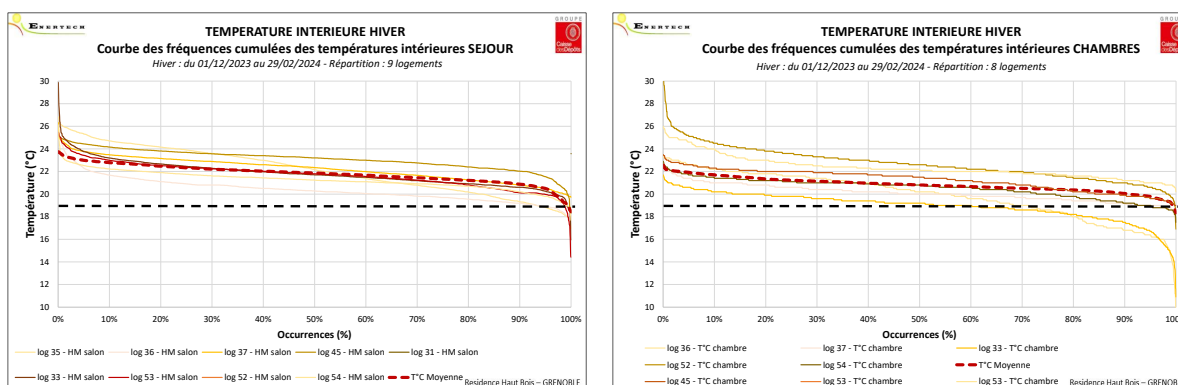


Figure 88 Monotones des températures ambiantes dans le séjour entre le 01/12/2023 et le 29/02/2024.

8.2 Etude du confort d'été

Note méthodologique :

- > On définit l'été comme la période allant du 15 juin au 15 septembre 2024.
- > Une sonde de température et d'hygrométrie a été posée dans chaque séjour et une sonde de température ambiante dans chaque chambre.
- > Dans chaque logement la température moyenne est calculée comme la moyenne des températures des pièces instrumentées : séjour + chambre(s).

Pour calculer la température ou l'hygrométrie moyenne *du bâtiment*, on effectue la moyenne des logements suivis.

8.2.1 Monotones des températures intérieures

La Figure 89 présente les monotones des températures intérieures moyennes des logements et de la température extérieure pour la période du 15/06/2023 au 15/09/2023.

Les températures dépassent 28°C pendant 19% du temps soit 409h heures au cours de l'été.

On considère de manière usuelle qu'un bâtiment est confortable en période estivale, si les surchauffes, c'est-à-dire les périodes où la température dépasse 28°C, ne durent pas plus de 40 heures par an. Avec 409 heures au-delà de 28°C, les logements suivis montrent donc un confort estival insatisfaisant. La comparaison du nombre d'heures au-dessus de 28°C avec d'autres bâtiments suivis par Enertech (Figure 90) confirme le caractère assez inconfortable du bâtiment en été.

On note toutefois qu'un des logements suivis parvient à limiter le nombre d'heures au-dessus de 28°C à 29 heures, ce qui pourrait indiquer qu'avec un comportement plus vertueux (suppression des apports solaires grâce aux BSO, rafraîchissement maximal du logement la nuit et le matin, etc.) il est possible de limiter très fortement l'inconfort estival.

Notons également que l'été 2023 est un des plus chauds observé à Grenoble depuis 1983 (Figure 92 Figure 89).

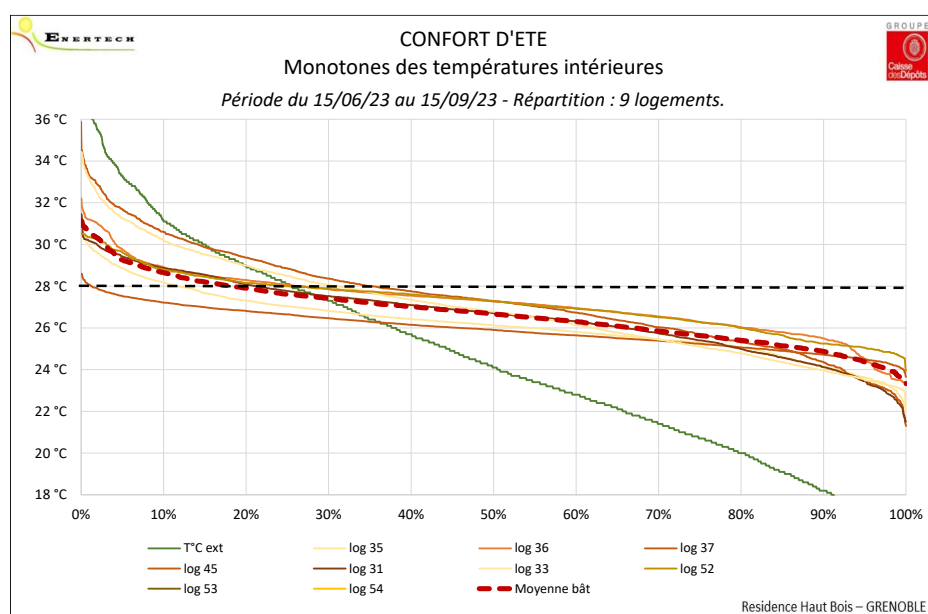


Figure 89 : Monotones des températures intérieures des logements suivis.

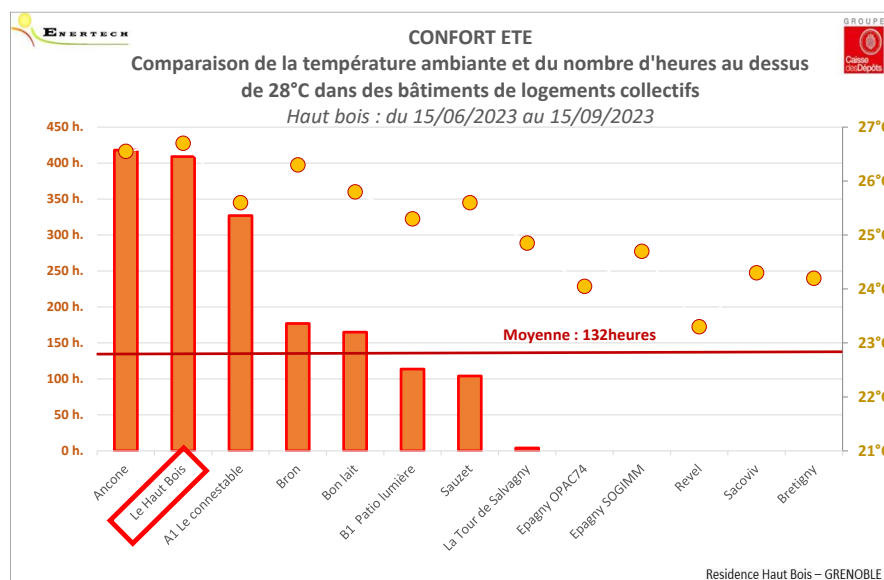


Figure 90 : CONFORT D'ETE - Comparaison du nombre moyen d'heures au-dessus de 28°C.

Le Tableau 18 fournit, pour chaque logement, les résultats détaillés des températures moyennes horaires au cours de l'été 2023. On observe qu'en moyenne sur l'été la température des logements étudiés s'établit à 26,7 °C avec des écarts de 1,3°C entre le logement le plus chaud (Log 52) et le logement le plus frais (log 54).

du 15/06/23 au 15/09/23 (2232 h)	Moyenne bât	log 35	log 36	log 37	log 45	log 31	log 33	log 52	log 53	log 54
T°C min	23,3	22,4 °C	23,4 °C	23,7 °C	21,3 °C	21,5 °C	22,1 °C	23,9 °C	24,0 °C	20,8 °C
T°C max	31,1	30,8 °C	32,2 °C	28,6 °C	35,9 °C	31,5 °C	34,4 °C	30,5 °C	32,0 °C	31,7 °C
T°C moyenne	26,7	26,2 °C	27,2 °C	25,9 °C	27,4 °C	26,6 °C	26,9 °C	27,2 °C	27,3 °C	25,4 °C
durée T°C < 24	48 h	187 h	79 h	7 h	169 h	197 h	234 h	1 h	2 h	395 h
durée 26 > T°C > 28	686 h	816 h	344 h	1 198 h	467 h	561 h	610 h	442 h	357 h	800 h
durée 26 > T°C > 28	1 089 h	968 h	1 207 h	998 h	789 h	998 h	693 h	1 228 h	1 170 h	440 h
durée T°C > 28	409 h	261 h	602 h	29 h	777 h	476 h	695 h	561 h	703 h	146 h

Tableau 18 : Résultats détaillés des températures horaires relevées au cours de la campagne de mesures entre le 15 juin et le 15 septembre 2023 dans les logements suivis.

Le niveau élevé des températures ambiantes est plutôt décevant, d'autant que les choix architecturaux et techniques, tel que le niveau d'isolation, les brise-soleils orientables et débords de balcons côté Sud (Figure 91) auraient dû permettre d'éviter d'atteindre ces niveaux de températures.

Il serait intéressant de renforcer la sensibilisation des occupants aux pratiques de base permettant de limiter l'inconfort estival :

- Suppression des apports solaires directs, mais aussi limitation des apports diffus à l'aides des BSO
- Limitation des apports internes (cuisson, apports électriques en général)
- Maximisation de l'entrée d'air frais quand la température extérieure le permet, fermeture des baies dès qu'il fait plus chaud dehors.

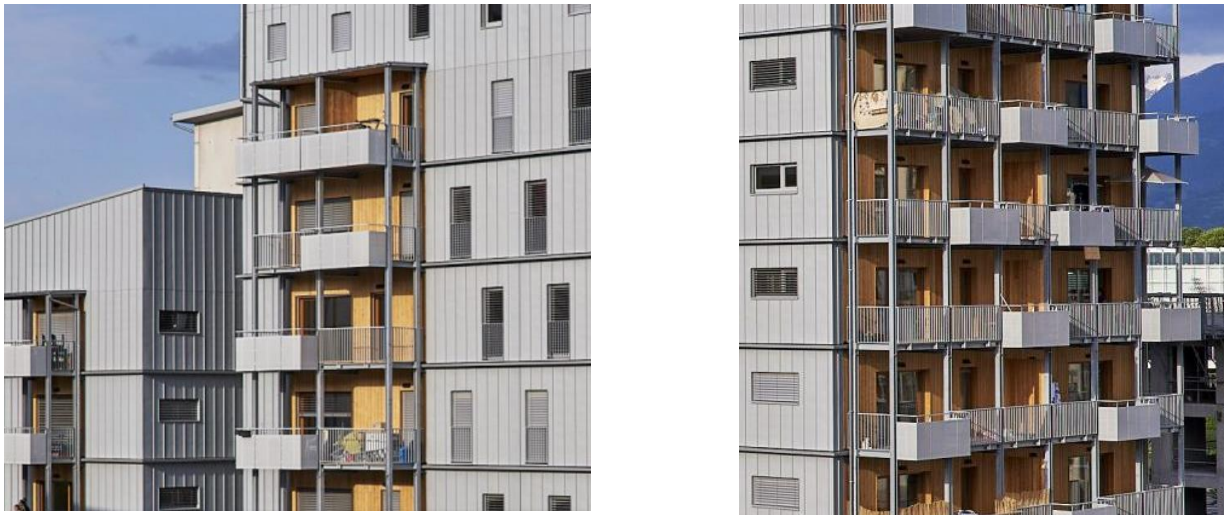


Figure 91 : Photographies d’occultations extérieures type brise soleils orientables et des débords des balcons façade Ouest et façade Sud.

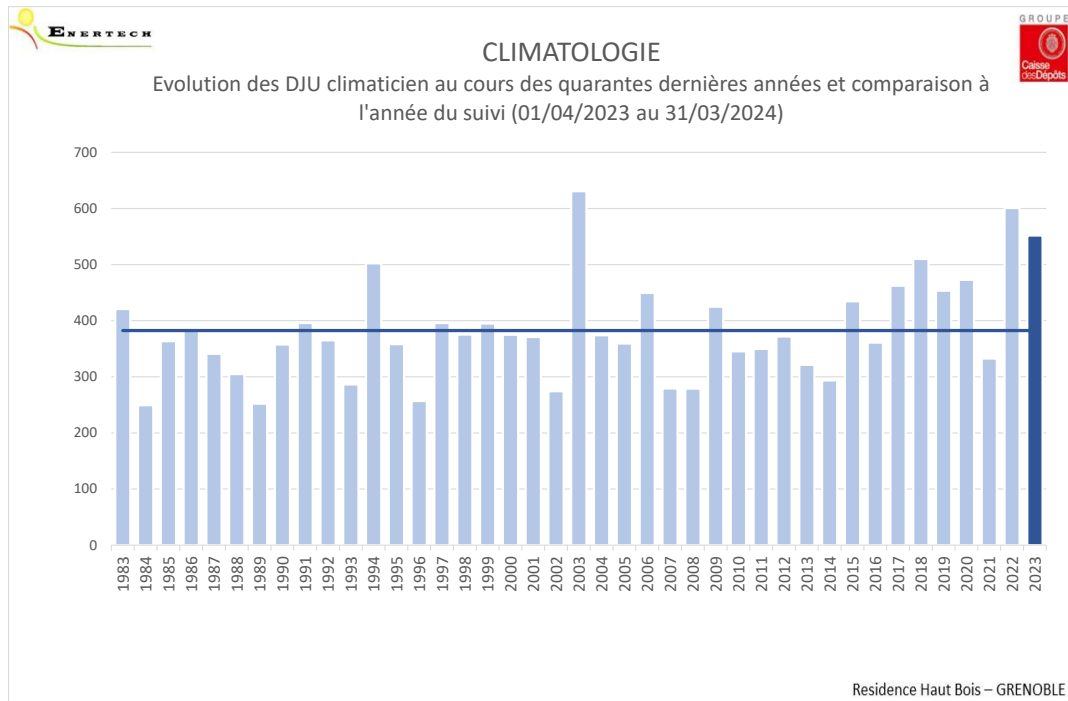


Figure 92 : CONFORT D'ETE – Evolution des DJU climaticien des 40 dernières années.

8.2.2 Méthodes ASHRAE, COSTIC et NF 15 251

La notion de confort est difficile à déterminer et a fait l'objet de nombreux travaux visant à établir des critères de confort.

Il faut distinguer deux approches :

Approche 1 : couple hygrométrie/température

Le graphique de la Figure 93 présente l'évaluation du confort selon la méthode des polygones inscrits sur le diagramme de l'air humide. Les polygones proposés par le COSTIC (Centre d'Etudes et de Formation Génie Climatique Equipement Technique du Bâtiment) et l'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) servent de référence. Le nuage de points est l'ensemble des couples (humidité spécifique/température intérieure) observés au pas de temps de 10 minutes pendant l'été, pour la moyenne des logements étudiés.

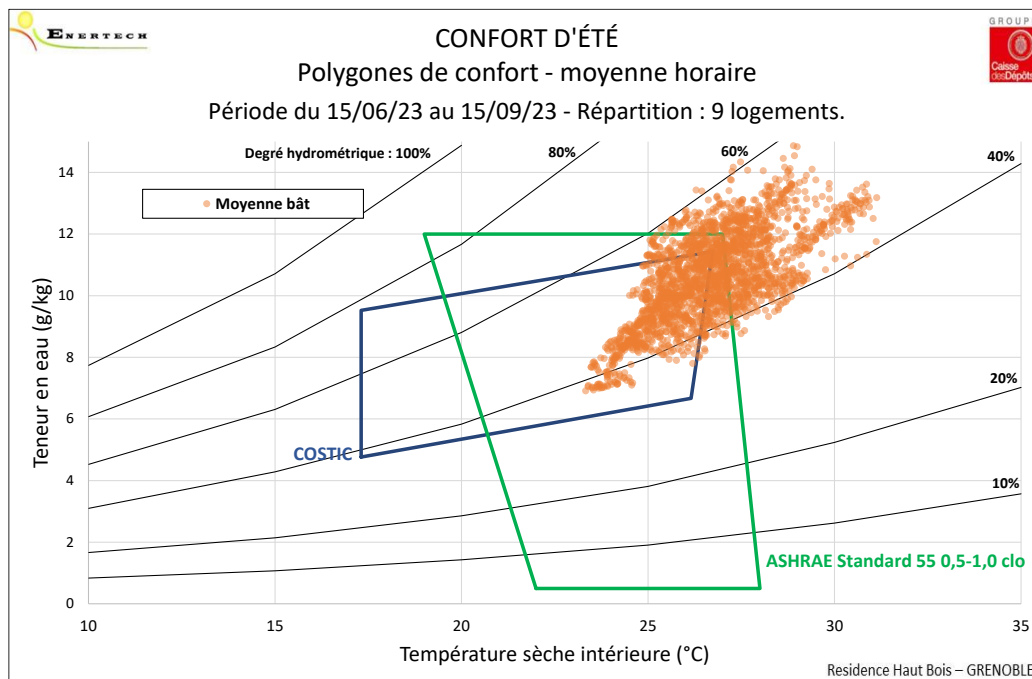


Figure 93 : Polygones de confort et moyenne des logements suivis.

Selon cette approche l'ambiance intérieure moyenne est estimée inconfortable plus de 61% du temps pour le COSTIC et 42% du temps pour l'ASHRAE.

Le Tableau 19 présente les résultats détaillés pour les 9 logements étudiés. Les logements les plus confortables (37 et 35) satisfont le seuil ASHRAE seulement 65% du temps.

du 15/06/23 au 15/09/23 (2232 h)		Moyenne bât	log 35	log 36	log 37	log 45	log 31	log 33	log 52	log 53	log 54
COSTIC	durée de dépassement	1 359 h	1 114 h	1 606 h	1 059 h	1 535 h	1 440 h	1 468 h	1 581 h	1 061 h	850 h
	% de dépassement	61%	50%	72%	47%	69%	65%	66%	71%	48%	38%
ASHRAE	durée de dépassement	937 h	752 h	1 257 h	578 h	1 261 h	1 017 h	1 155 h	1 303 h	1 510 h	969 h
	% de dépassement	42%	34%	56%	26%	56%	46%	52%	58%	68%	43%

Tableau 19 : Résultats détaillés des dépassements des couples températures/hygrométrie pour les modèles COSTIC et ASHRAE.

Il faut noter qu'aucun de ces deux modèles (ASHRAE, COSTIC) ne prend en compte la température extérieure ce qui peut paraître discutable, dans la mesure où une température intérieure élevée dans un logement est sans doute mieux tolérée après plusieurs jours de canicule que dès la première chaleur. C'est l'objet de la 2^e approche ci-dessous.

Approche 2 : couple température intérieure / température extérieure

La norme NF 15 251 part du principe que le confort des usagers pour la température ambiante dépend d'une part de la température extérieure, d'autre part de son *historique*, dans le sens où l'on supporte mieux des températures élevées si la chaleur dure depuis quelques jours que si elle survient brutalement.

Pour ce faire on trace la température intérieure en fonction de la *température extérieure journalière pondérée par celles des jours précédents*.

La NF 15 251 définit ensuite 4 catégories de confort :

Catégorie	Description
I	Niveau élevé attendu qui est recommandé pour les espaces occupés par des personnes très sensibles et fragiles avec des exigences spécifiques comme des personnes handicapées, malades, de très jeunes enfants et des personnes âgées.
II	Niveau normal attendu qu'il convient d'utiliser pour les bâtiments neufs et les rénovations.
III	Niveau modéré acceptable attendu qui peut être utilisé dans les bâtiments existants.
IV	Valeurs en dehors des critères des catégories ci-dessus. Il convient que cette catégorie soit acceptée seulement pour une partie restreinte de l'année.

La Figure 94 trace la température moyenne du bâtiment en fonction de la température moyenne glissante pondérée selon la norme NF 15 251 pour l'été 2019. Le Tableau 20 présente le détail des répartitions dans les 4 catégories pour tous les logements instrumentés sur la période du 15/06/2023 au 15/09/2023.

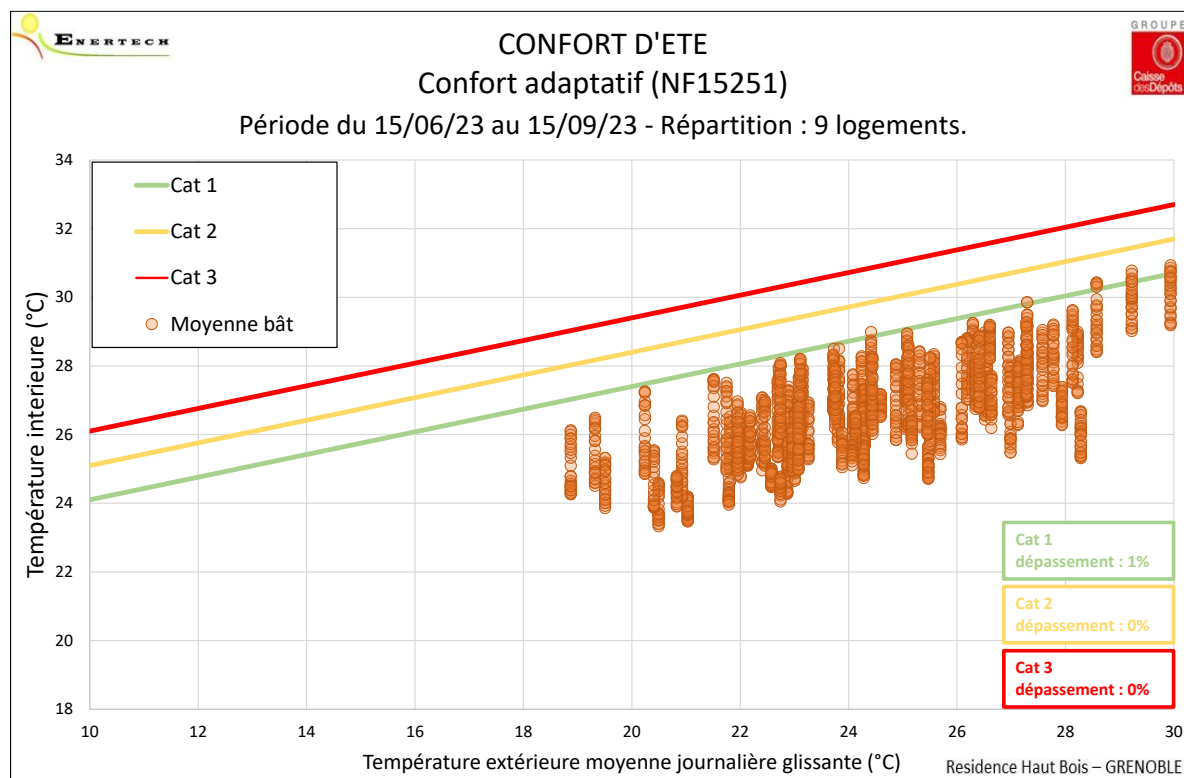


Figure 94 : Confort adaptatif pour la moyenne du bâtiment pour l'été 2023.

du 15/06/23 au 15/09/23 (2232 h)		Moyenne bât	log 35	log 36	log 37	log 45	log 31	log 33	log 52	log 53	log 54	
NF 15 251	Catégorie 1	durée de dépassement	24 h	2 h	87 h	0 h	487 h	75 h	421 h	65 h	108 h	1 h
		% de dépassement	1%	0%	4%	0%	22%	3%	19%	3%	5%	0%
	Catégorie 2	durée de dépassement	0 h	0 h	1 h	0 h	219 h	13 h	227 h	3 h	11 h	0 h
		% de dépassement	0%	0%	0%	0%	10%	1%	10%	0%	0%	0%
	Catégorie 3	durée de dépassement	0 h	0 h	0 h	0 h	90 h	1 h	69 h	0 h	0 h	0 h
		% de dépassement	0%	0%	0%	0%	4%	0%	3%	0%	0%	0%

Tableau 20 : Résultats détaillés des dépassements des catégories de la norme NF 15 251 pour les logements étudiés dans la période d'été 2023.

Au regard de la norme NF 15 251, le bâtiment montre un **excellent confort** estival puisqu'il est en Catégorie 1 (la plus exigeante) sur quasiment toute la période.

Ce résultat peut paraître paradoxal par rapport aux analyses précédentes. Il est possible que la norme NF 15251 soit trop « tolérante » pour bien qualifier le confort d'été. Elle nous indique toutefois qu'il peut être intéressant de prendre en compte la température extérieure dans l'appréciation du seuil de confort : on tolère peut-être plus que 28°C chez soi si les températures extérieures sont extrêmes.

Cette nuance étant posée, il convient de travailler en priorité sur l'acquisition des « bons gestes » par les occupants. Les résultats du logement 37 sont encourageant et montrent qu'il existe certainement une marge d'optimisation du confort estival dans de nombreux logements du Haut Bois.

8.3 Qualité d'air intérieur

8.3.1 Dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone (CO₂) ne constitue pas en soi un polluant détériorant la qualité de l'air mais il donne une bonne mesure de la pollution de l'air due aux occupants (odeurs, vapeur d'eau, émanations biologiques, ...). La norme européenne EN 13 779 définit différents niveaux de qualité pour l'air intérieur :

Catégorie	Description	Concentration en CO ₂ : niveau par rapport à l'air neuf (ppm). Intervalle-type
IDA1	Excellente qualité	≤ 400
IDA2	Qualité moyenne	400 - 600
IDA3	Qualité modérée	600 - 1000
IDA4	Faible qualité	> 1000

Tableau 21 : classification de la qualité de l'air intérieur (norme EN 13 779)

Les niveaux donnés dans le Tableau 21 sont exprimés en valeur relative, par rapport au niveau de concentration de l'air extérieur. Nous n'avons pas mesuré cette dernière et retiendrons comme valeur la moyenne des concentrations les plus faibles observées pendant 1% de la période de mesures, à savoir 444 ppm.

Rappelons aussi qu'en France le taux de CO₂ maximum fixé par le règlement sanitaire départemental type (RSDT 1985) est de 1300 ppm.

Des capteurs mesurant la concentration de CO₂ ont été posés dans les chambres principales des 5 logements suivis. La période étudiée s'étend du 01/11/2023 au 31/01/2024 soit les mois d'hiver où l'ouverture des fenêtres est minimum.

La Figure 95 trace les courbes de charge hebdomadaires des taux de CO₂ mesurés dans les logements. On y observe que les principaux pics observés sont en fin de nuit ce qui correspond aux périodes d'occupation les plus longues.

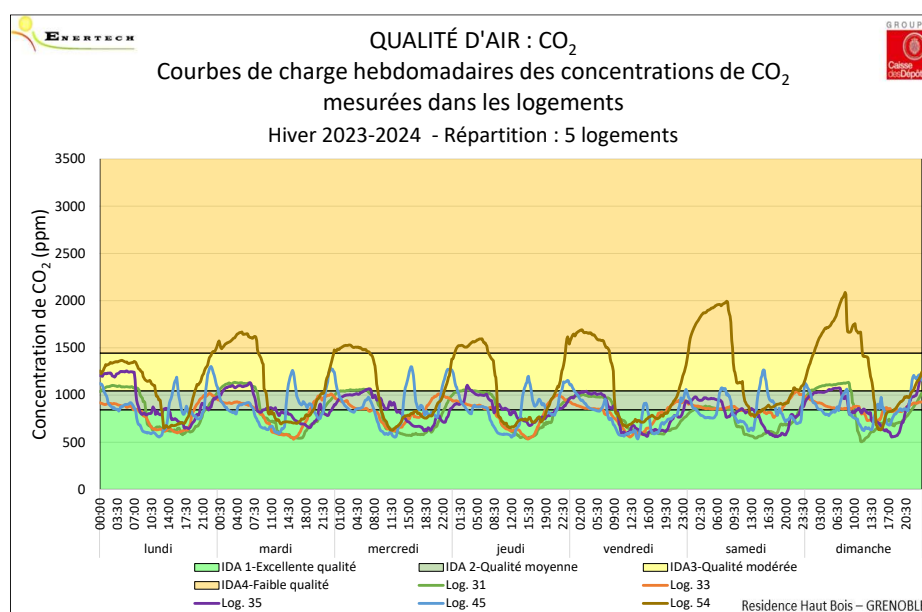


Figure 95 : Courbes de charge hebdomadaires des taux de CO₂ mesurés dans les chambres principales des logements suivis.

La Figure 96 présente les monotones des concentrations de CO₂ mesurées dans les logements ainsi que les principaux résultats.

On observe que pour le logement 54 les taux de CO₂ sont supérieurs à 1400 ppm pendant 25% du temps ce qui correspond environ au temps d'occupation des chambres. Nous ne savons pas expliquer ce phénomène compte tenu des débits de ventilation suffisants dans la chambre concernée (Cf Tableau 14), à moins que la bouche de la chambre n'ait été obturée par l'occupant en cours de campagne.

Le responsable de secteur du CCIAG, en charge du Haut Bois nous a effectivement fait part de plaintes d'occupants concernant l'acoustique liée à la surventilation, ayant amené certains à obturer les bouches de soufflage dans les chambres à coucher.

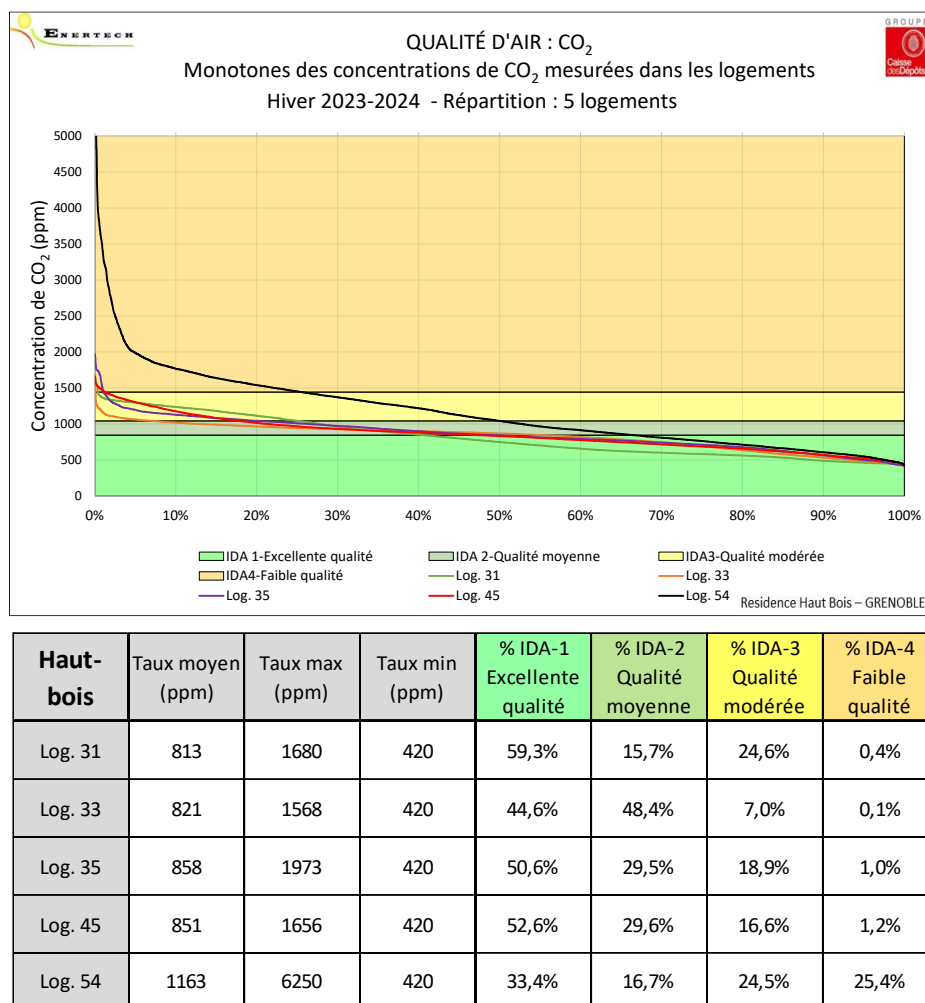
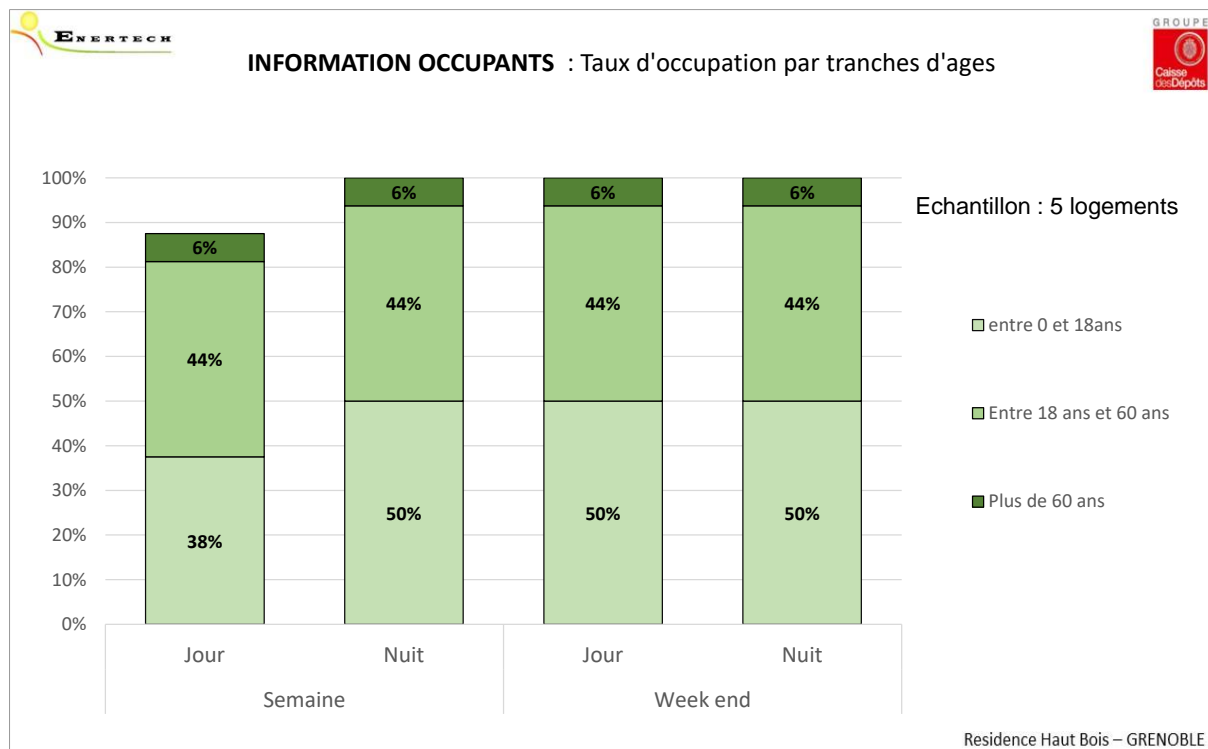


Figure 96 : Monotones et tableau des résultats détaillés des taux de CO₂ mesurés dans les logements.

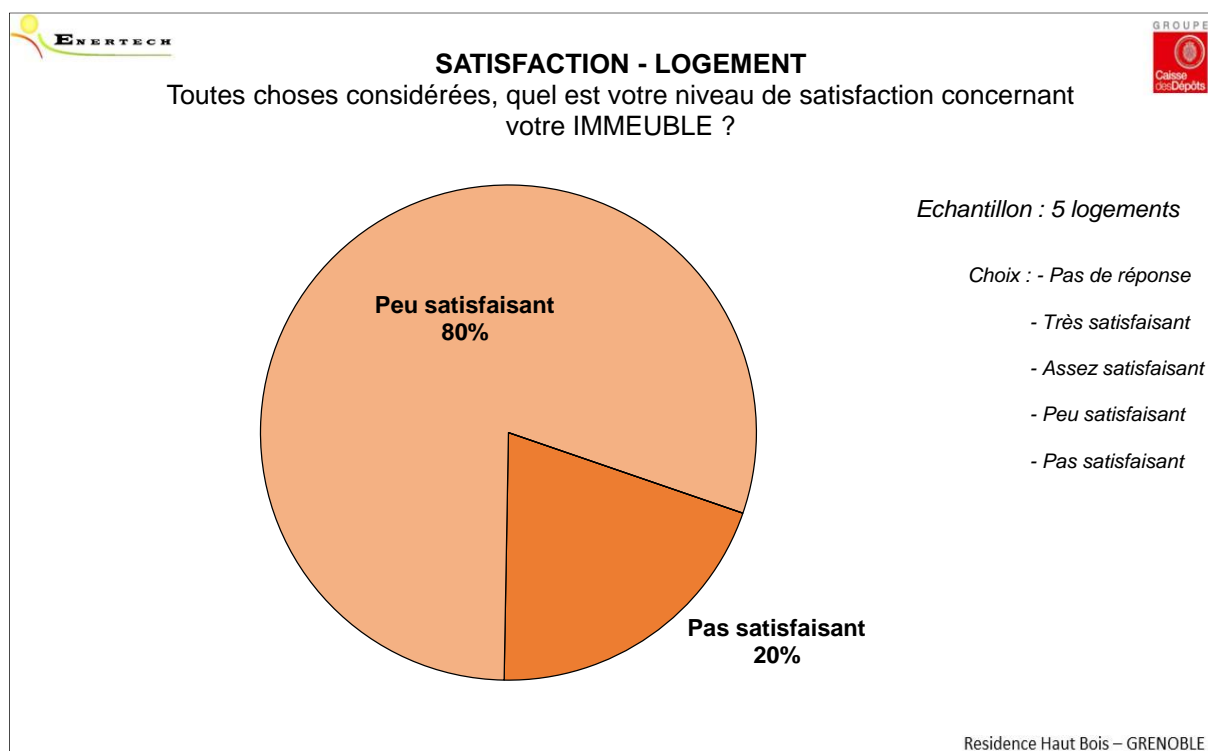
9 Questionnaires

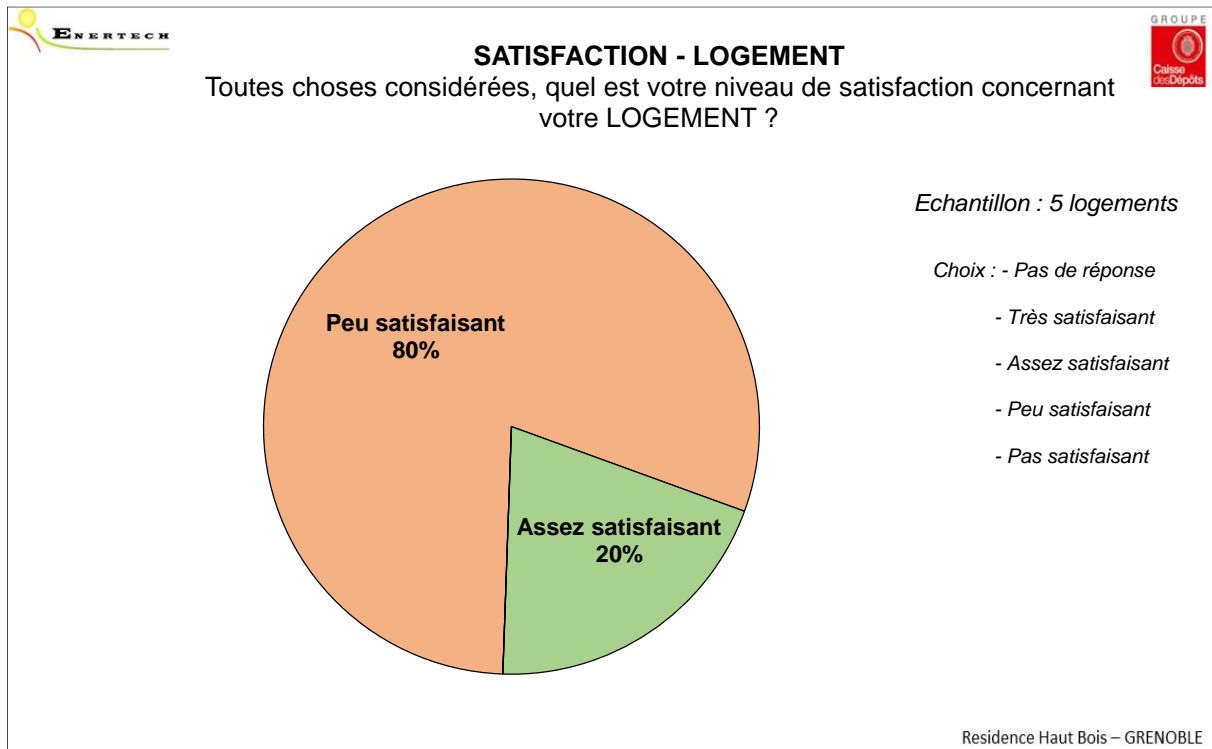
Des questionnaires ont été transmis aux participants afin d'enrichir l'analyse et de compléter la mesure. Après plusieurs relances des 10 participants, nous obtenons 5 questionnaires remplis dont les résultats sont présentés dans ce chapitre.

9.1.1 Informations générales sur les occupants



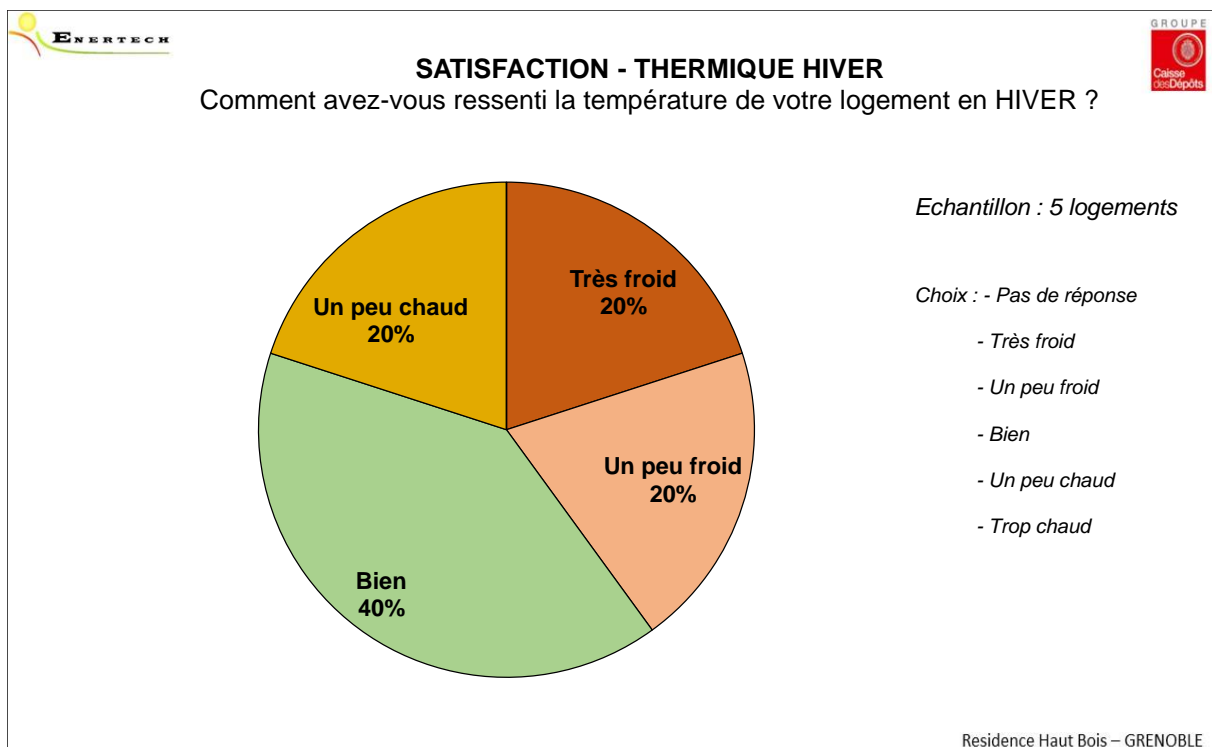
9.1.2 Satisfaction générale logement et immeuble

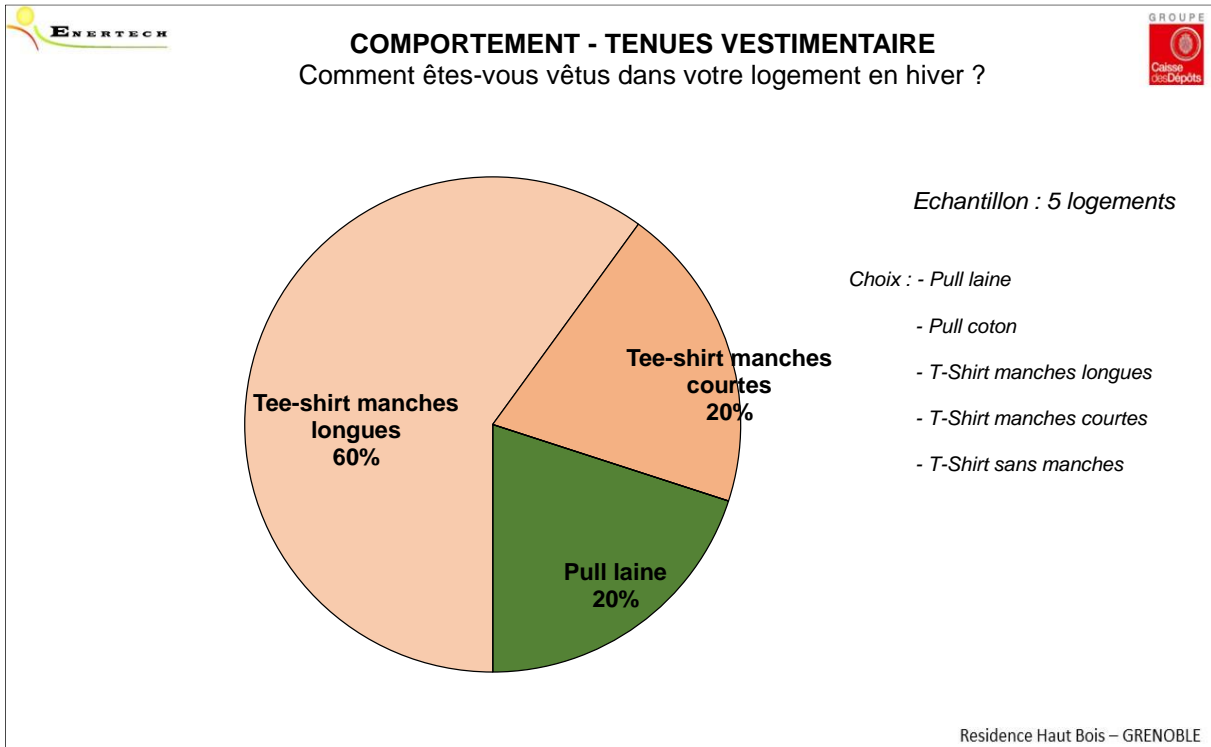




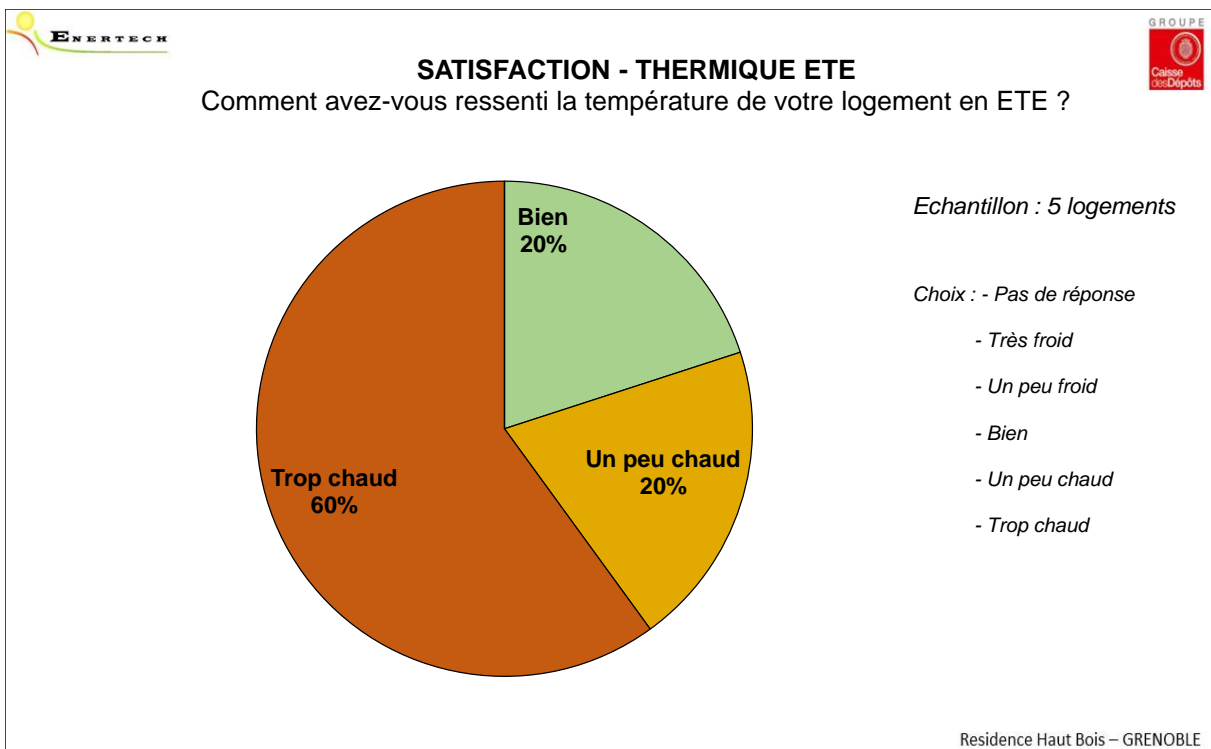
9.2 Confort hygrothermique et qualité d'air

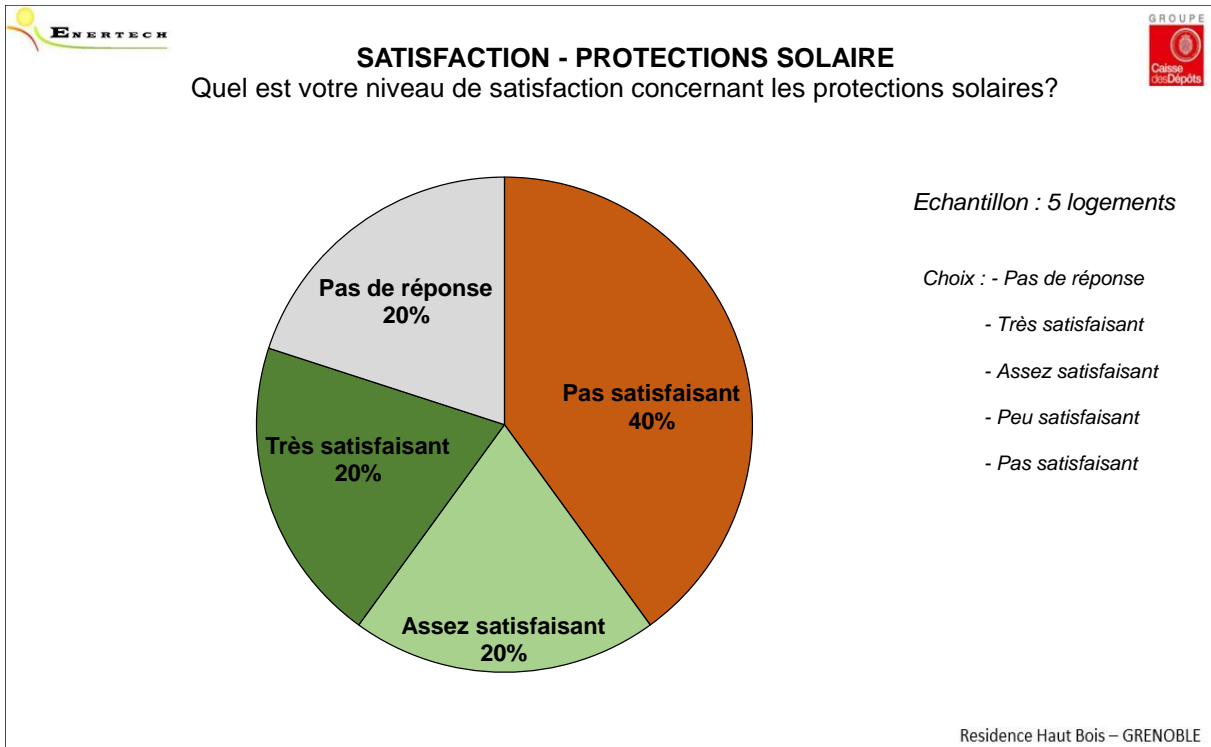
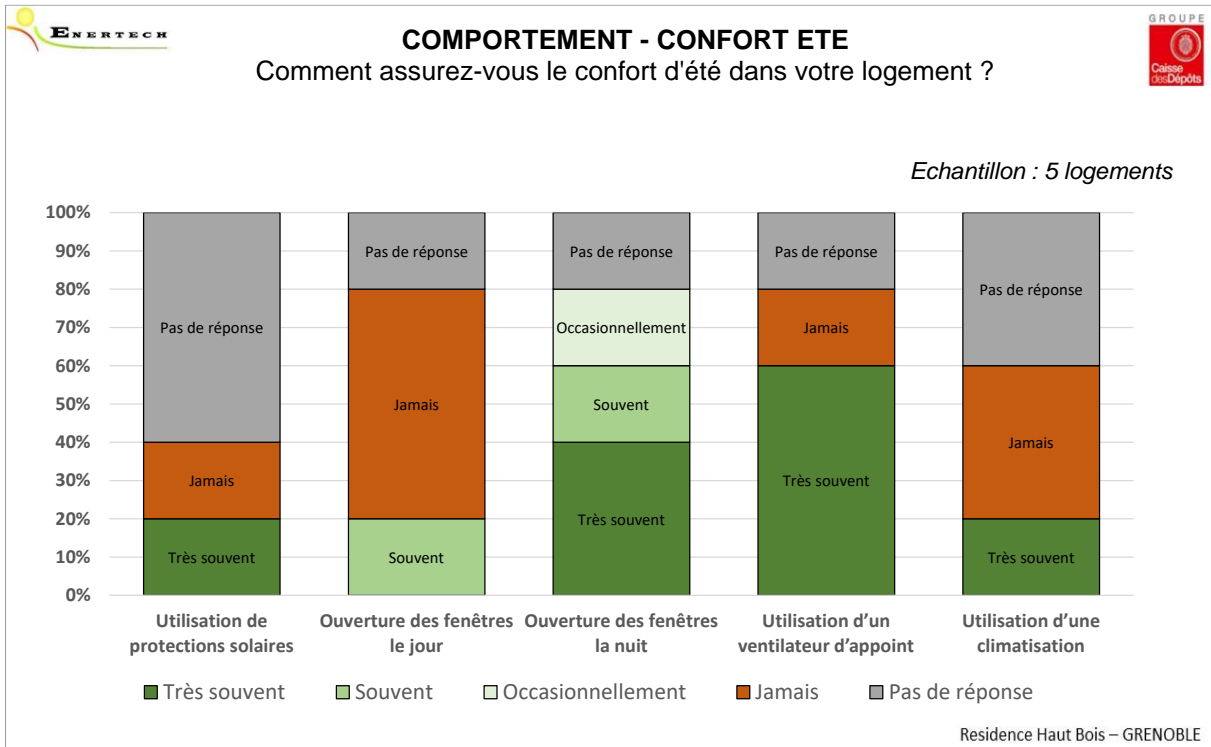
9.2.1 Hiver



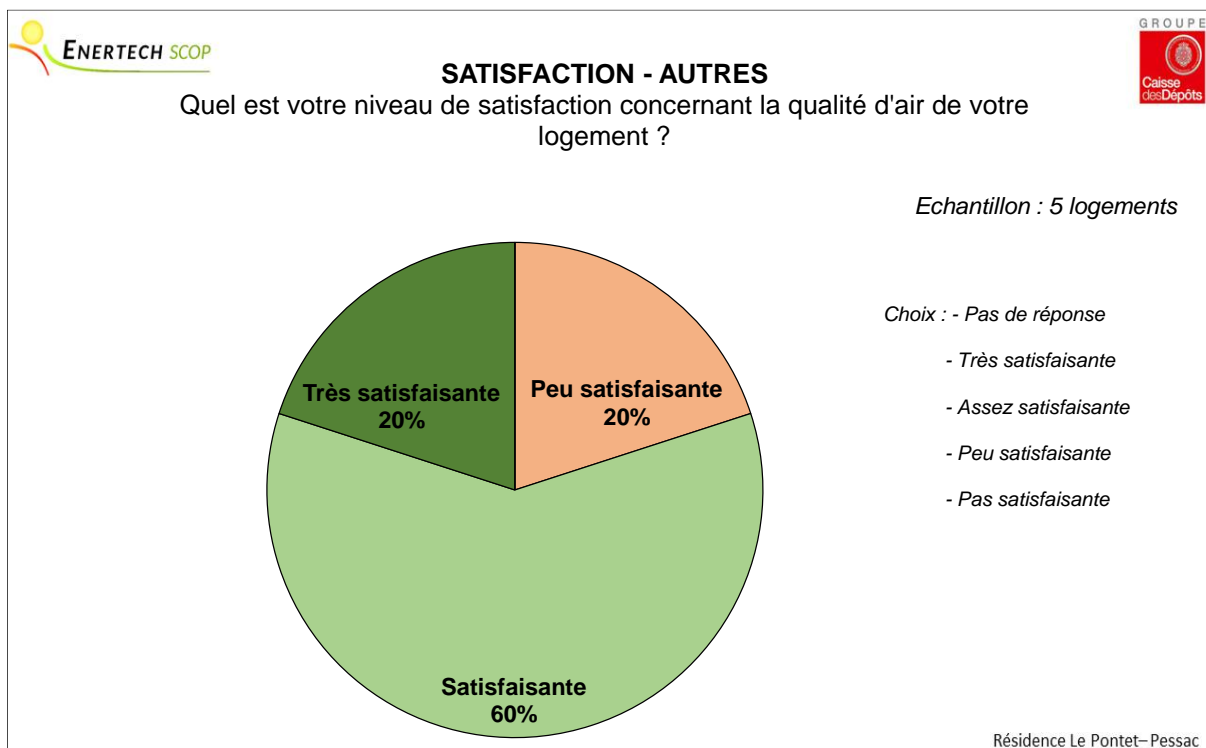


9.2.2 Eté



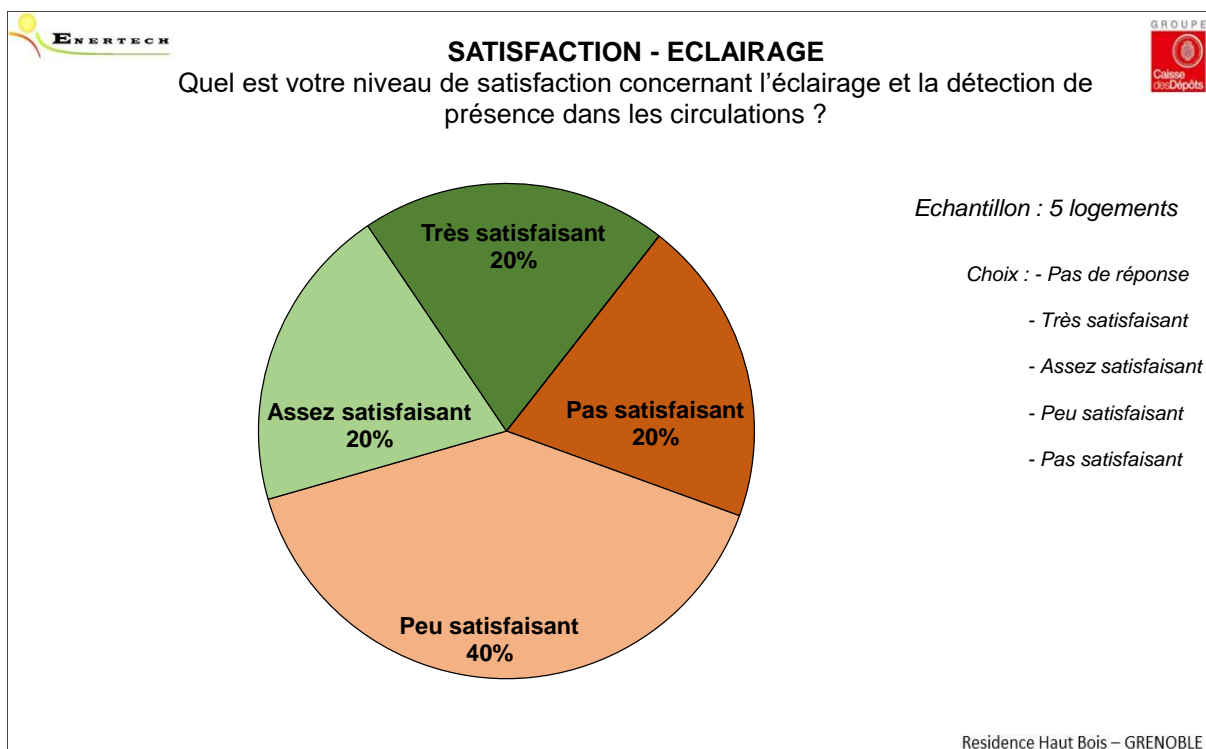


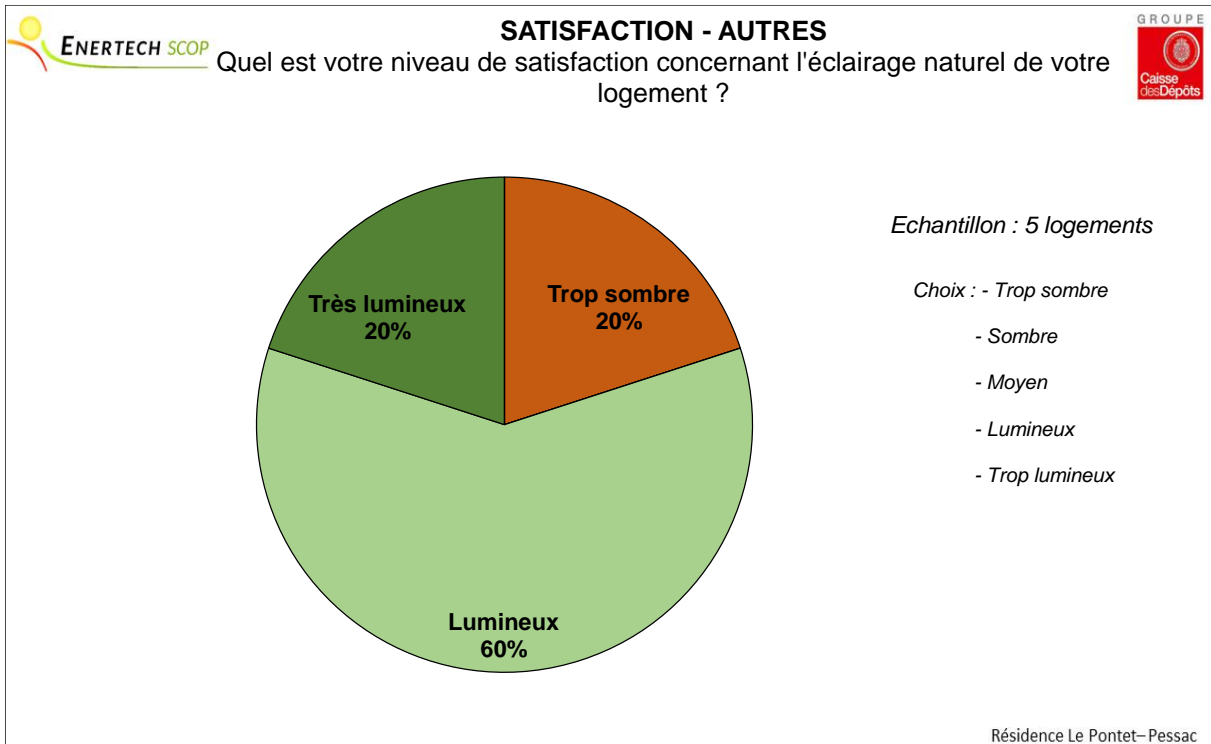
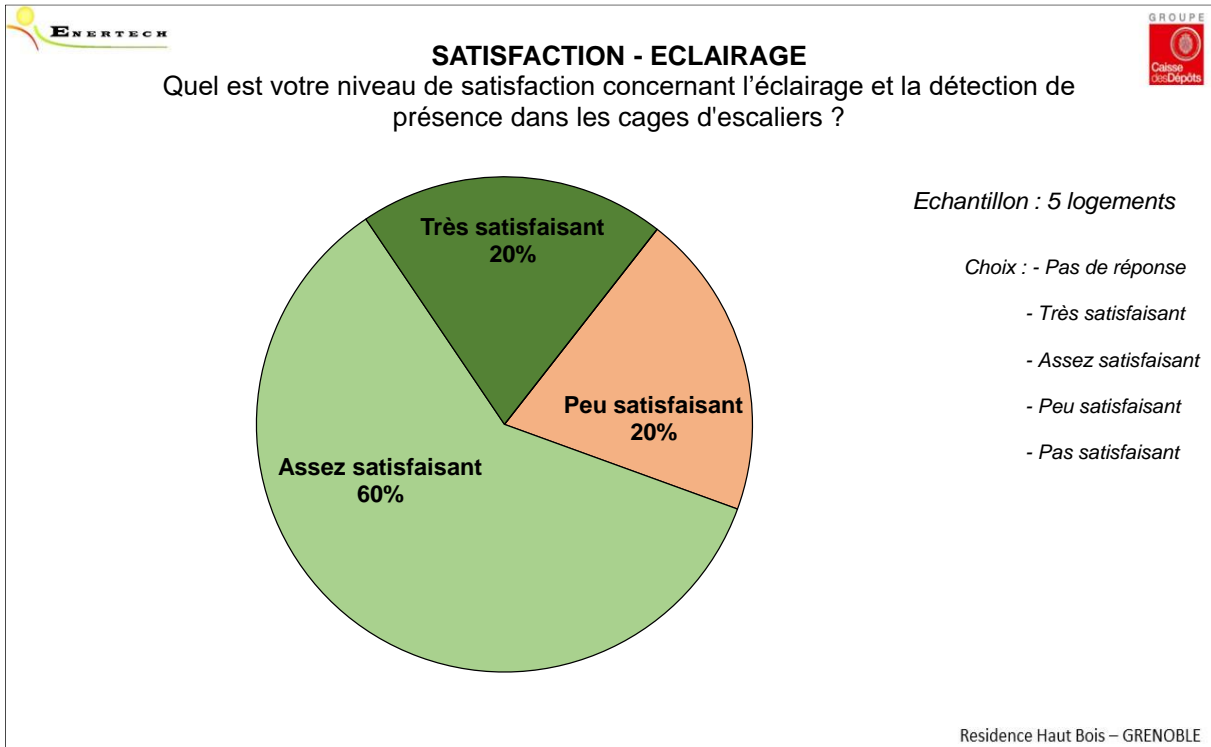
9.2.1 Qualité d'air intérieur



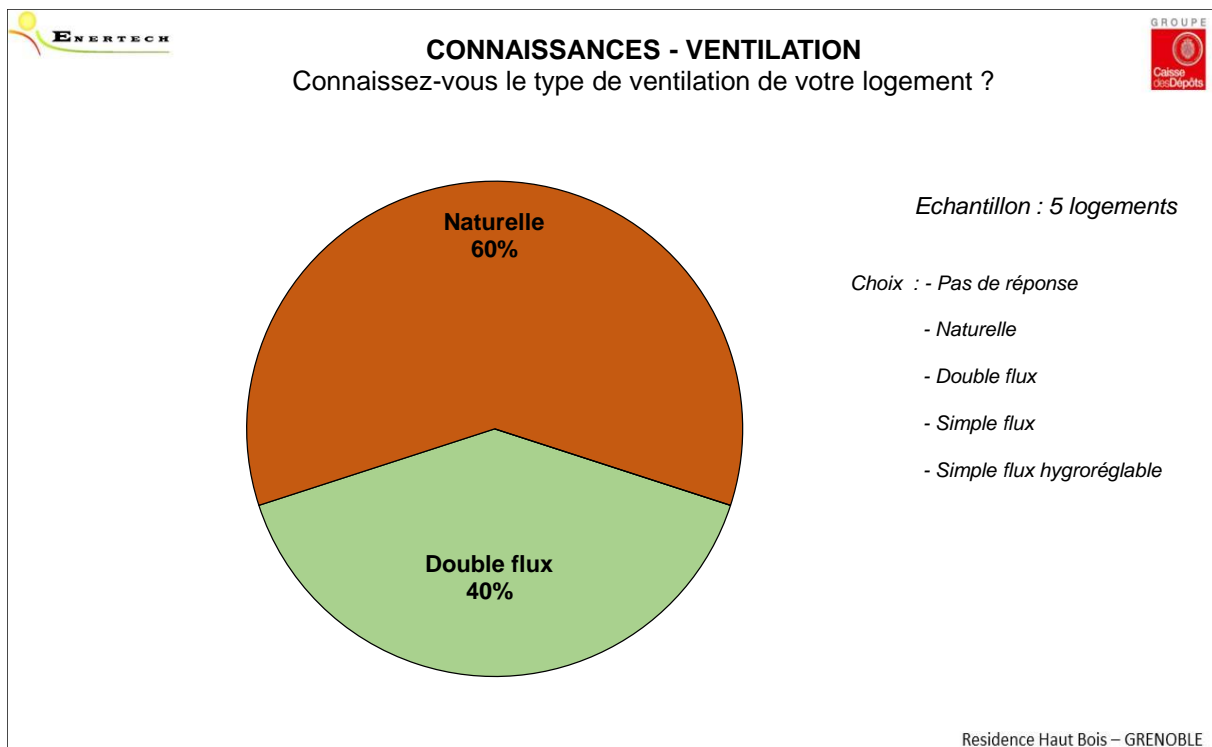
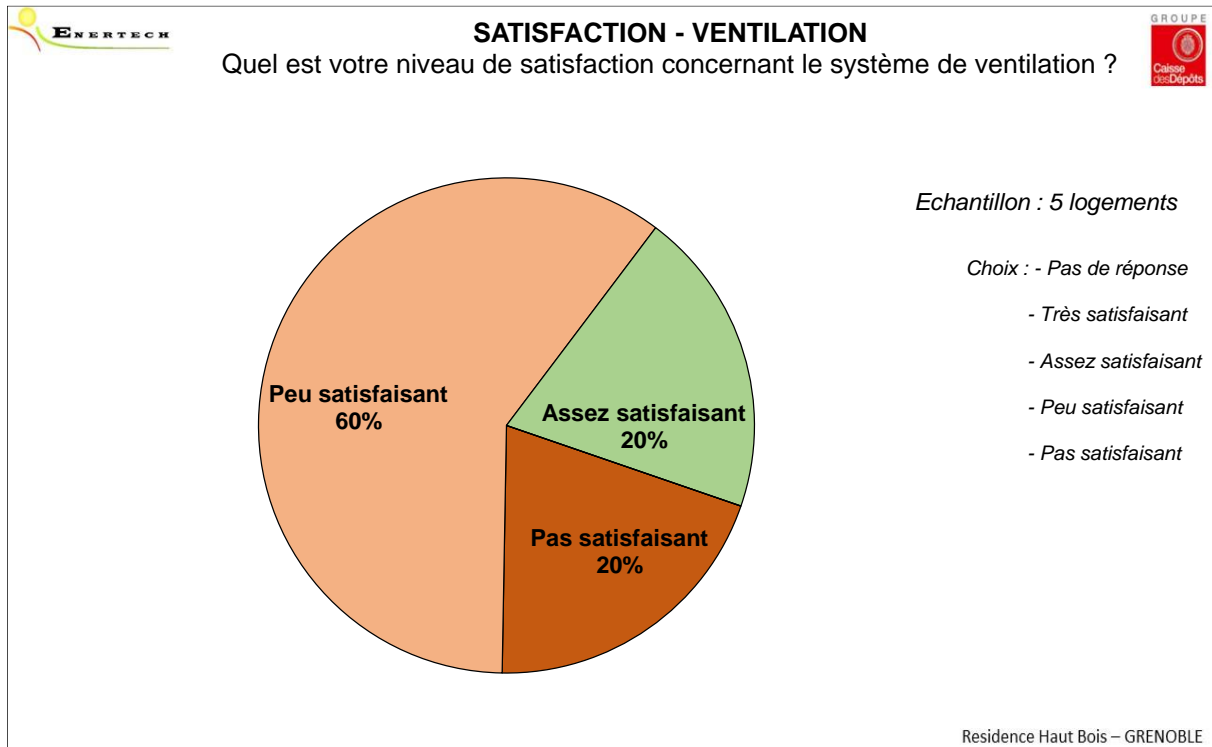
9.3 Equipements

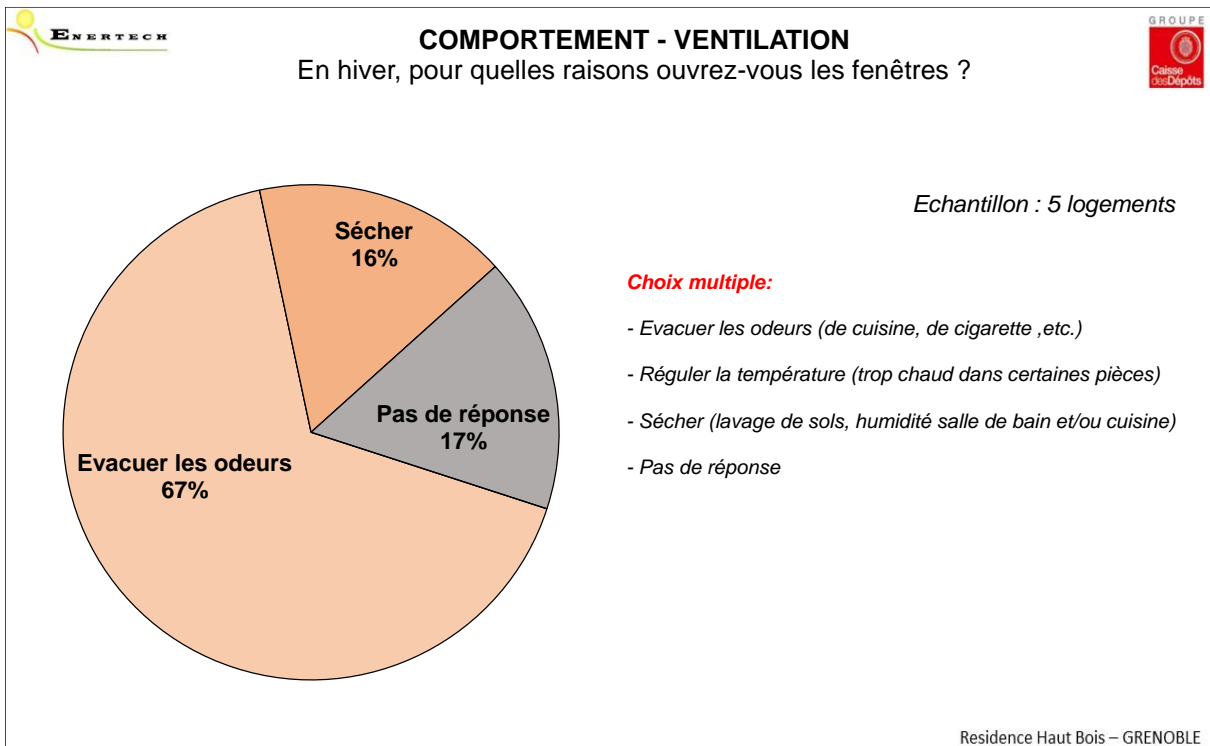
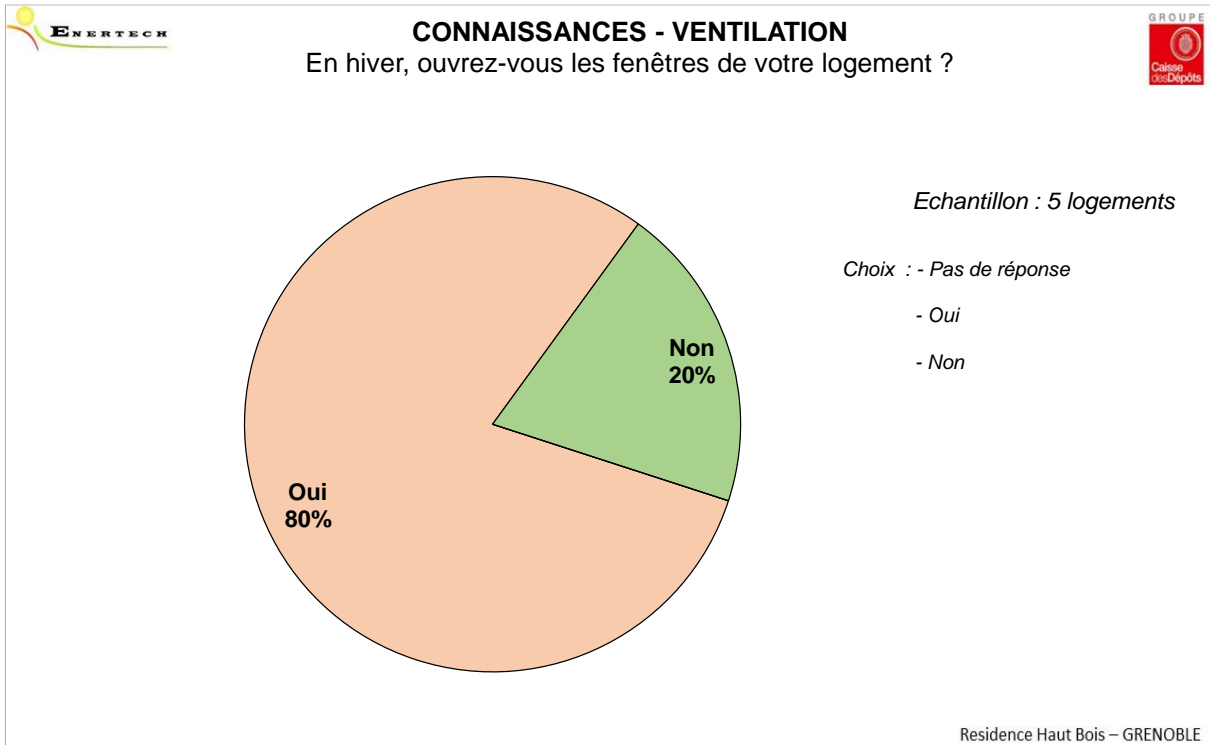
9.3.1 Eclairage



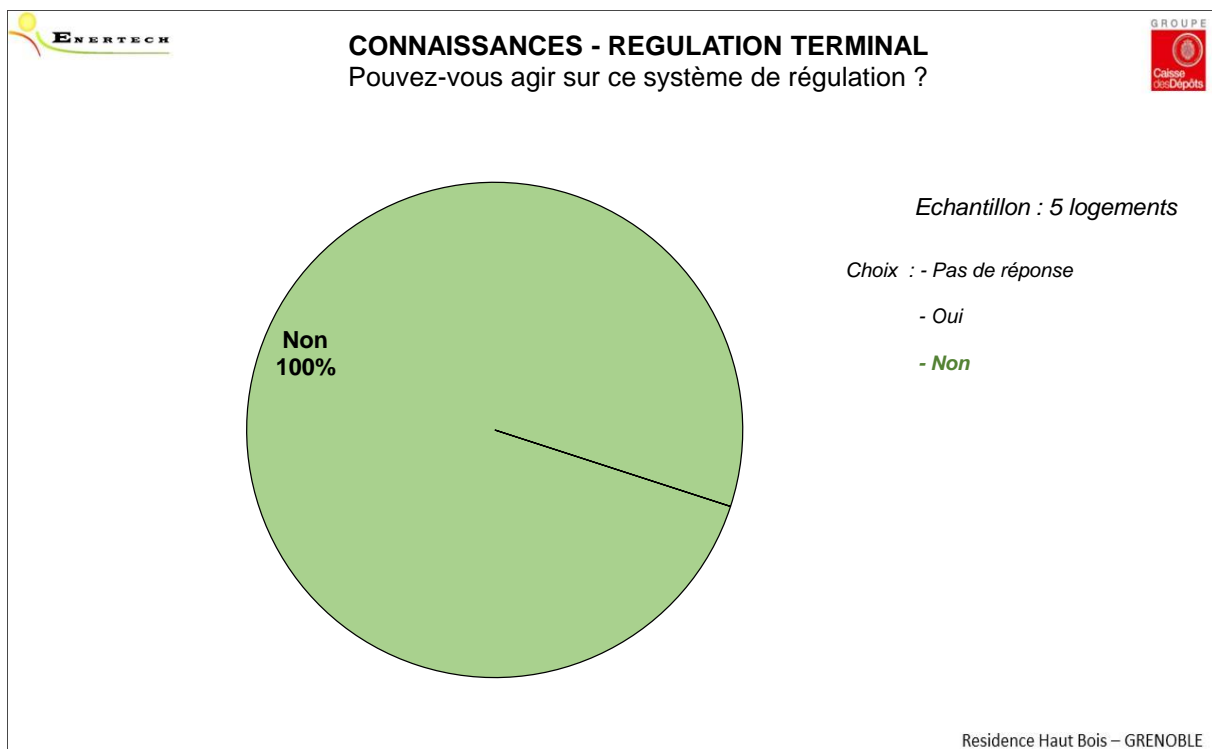
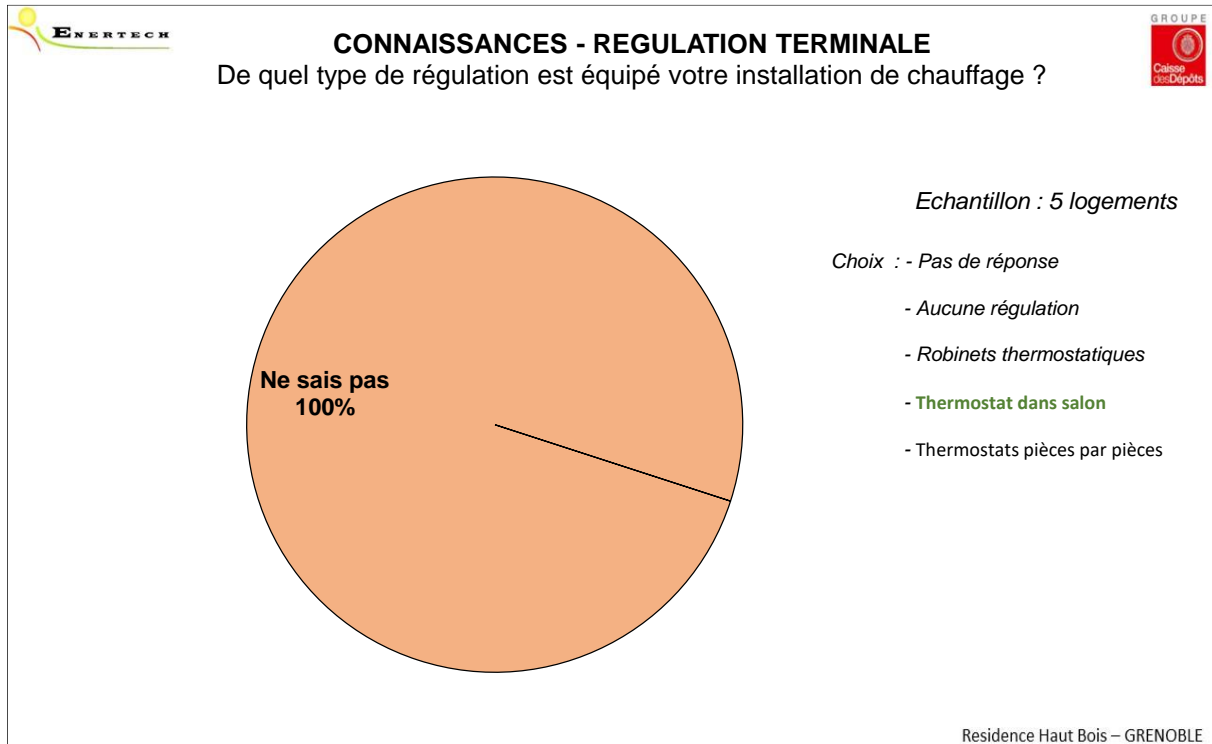


9.3.2 Ventilation

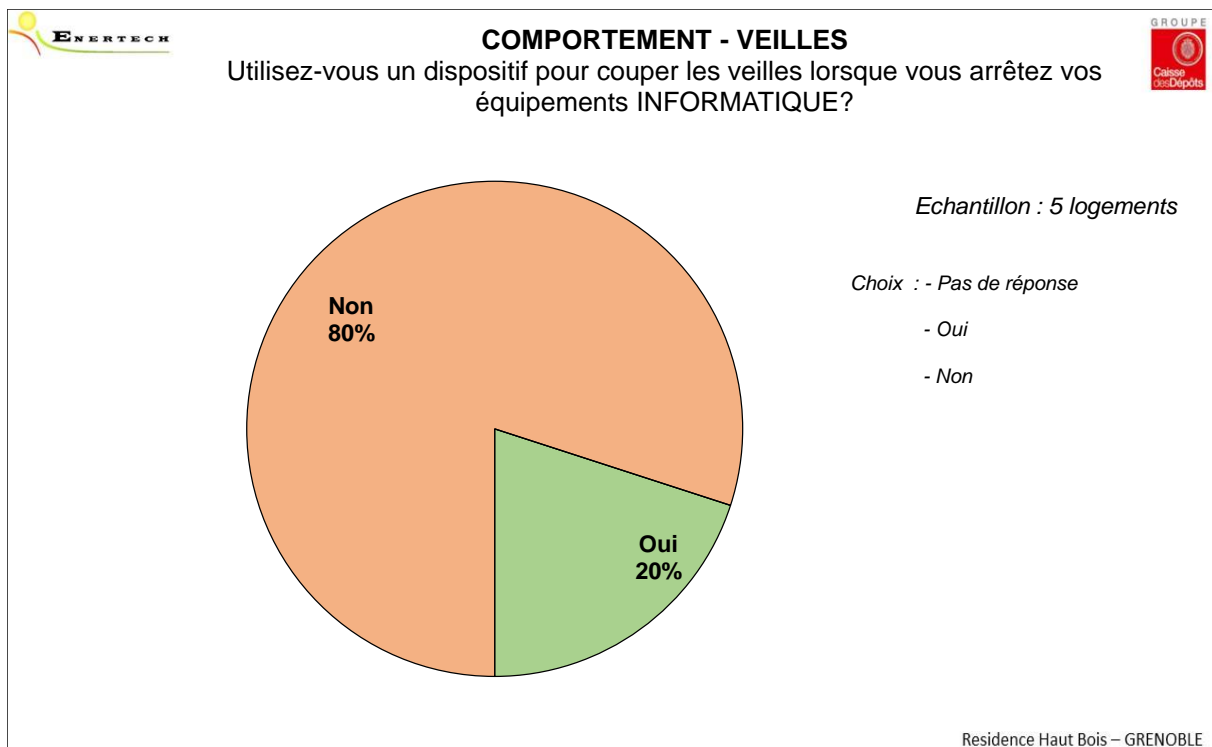
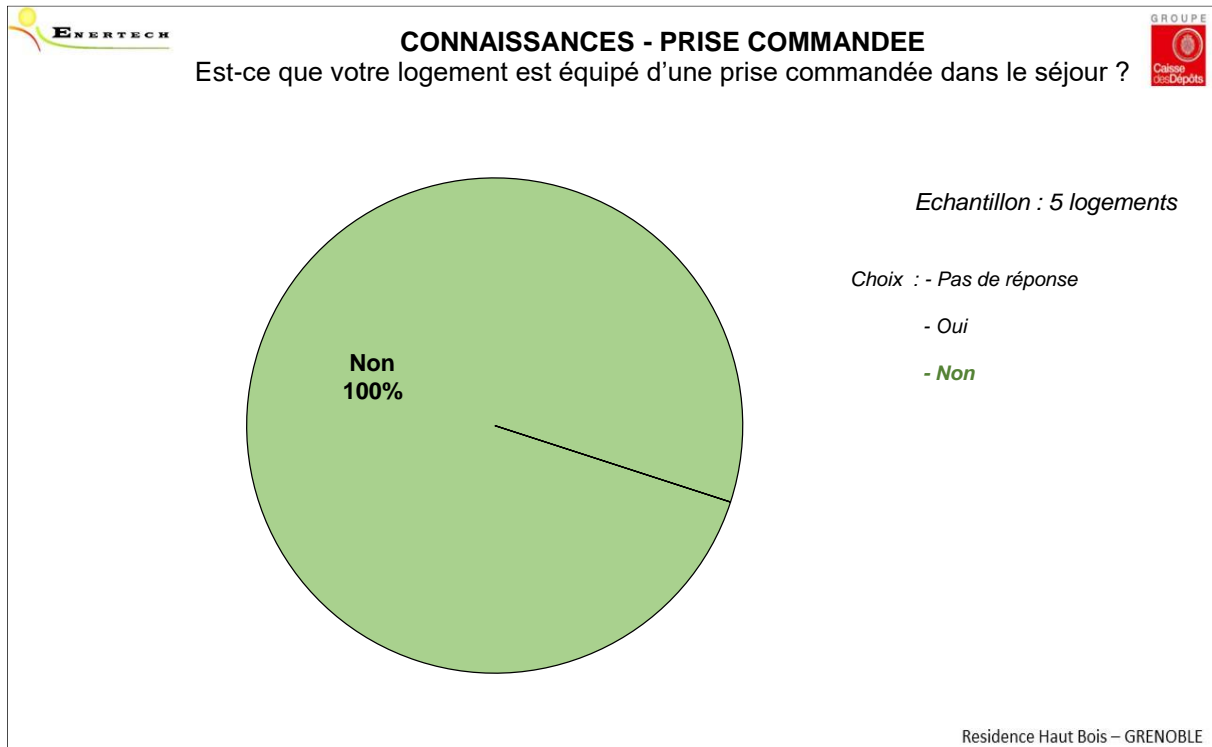


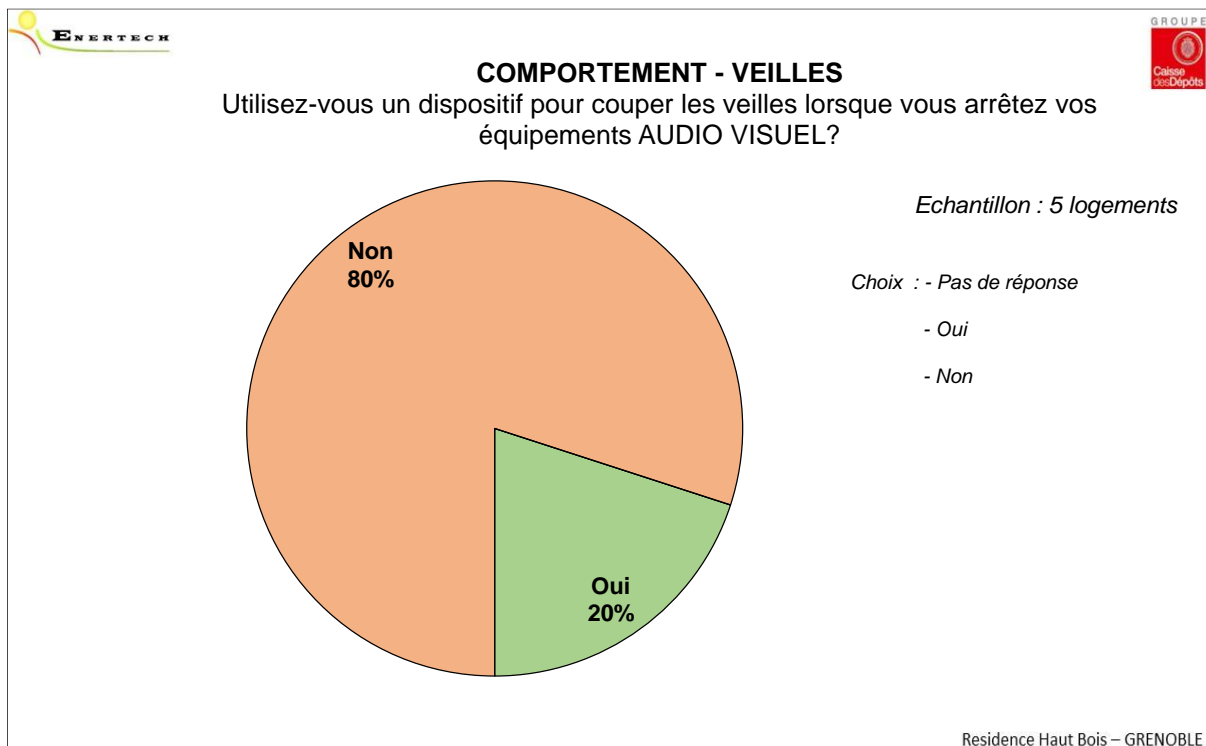


9.3.3 Régulation terminale

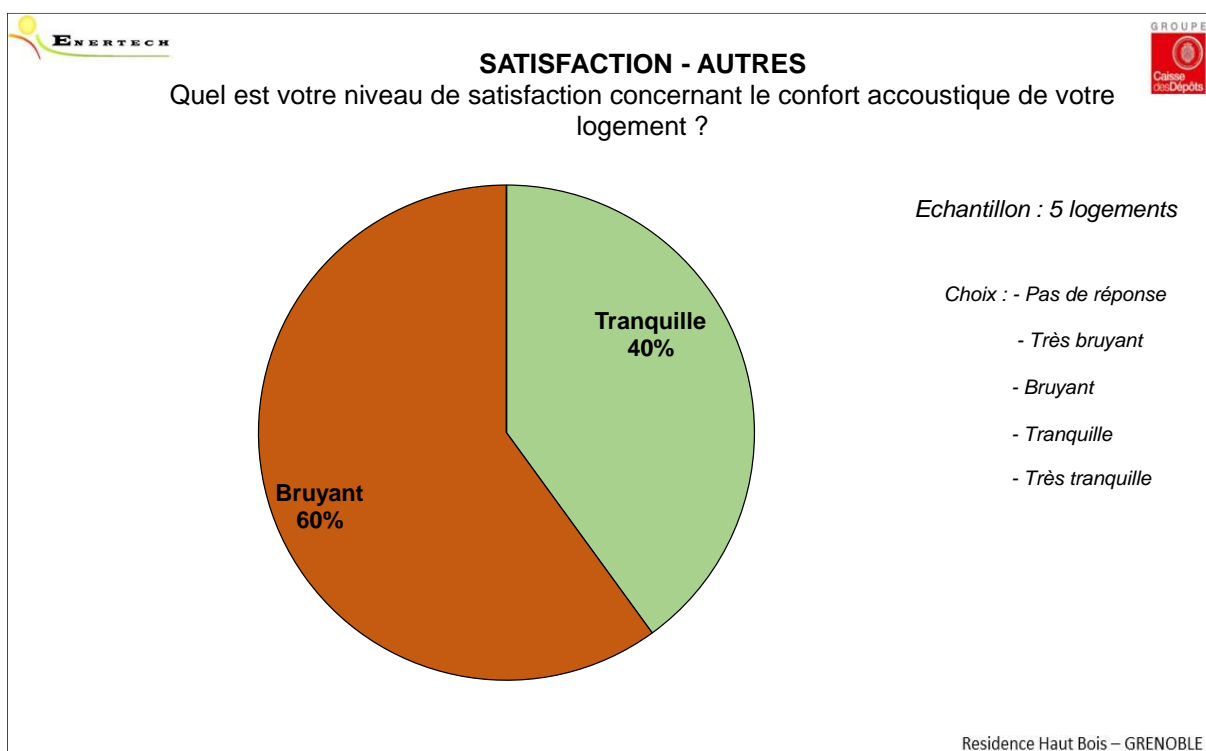


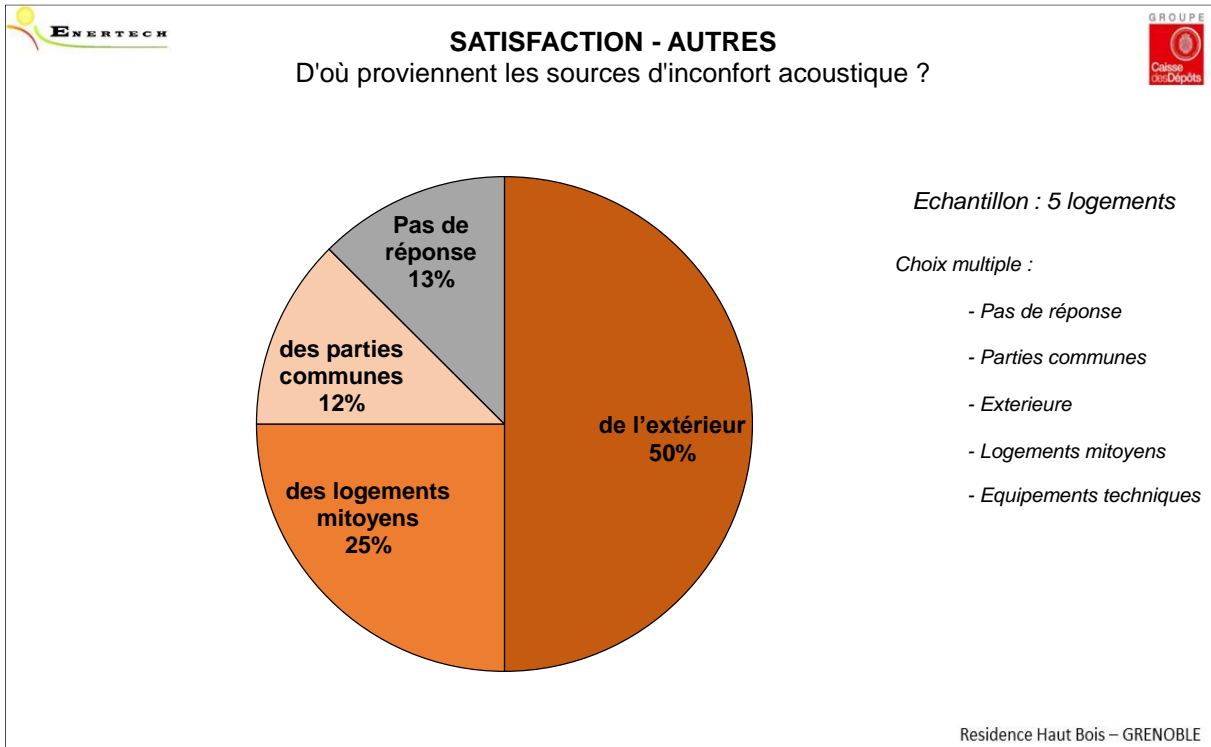
9.3.4 Veilles électriques





9.4 Confort acoustique





10 Conclusion

La résidence du Haut Bois atteint les objectifs très ambitieux qu'elle s'était fixés en termes de performance énergétique, notamment grâce à la réalisation d'une enveloppe thermique extrêmement poussée.

Les résultats sont plus nuancés sur le confort des occupants, en particulier sur le confort estival.

Au niveau des consommations d'énergie, nous pouvons retenir :

- Un besoin de chauffage de 5,7 kWh_{ut}/m²_{shab}/an, spectaculairement faible, reflet de l'excellente performance thermique de l'enveloppe du bâtiment. Ce besoin de chauffage est le plus faible jamais mesuré par Enertech en résidentiel collectif ;
- Une consommation d'ECS plus « mitigée » avec 28,5 kWh_{ef}/m²_{shab}/an, malgré des pertes de bouclage extrêmement faibles (3,5 kWh_{ef}/ m²_{shab}/an). Une optimisation pourrait résider dans une meilleure maîtrise des débits aux points de puisages dans les logements (dispersion constatée sur les mesures) ;
- Une consommation d'électricité des services généraux très performante avec 9,6 kWh_{él}/m²_{shab}/an. Des optimisations sont toutefois possibles, notamment sur les pompes en chaufferie et la ventilation ;
- Au global, une consommation mesurée sur les 5 usages réglementaires inférieure à 60 kWh_{ep}/m²_{shab}/an, qui figure parmi les plus performantes jamais mesurées en résidentiel collectif.

Concernant le confort des occupants, les éléments suivants sont ressortis :

- Les quelques occupants interrogés montrent une insatisfaction sur le confort des logements, en particulier sur le confort estival ;
- Une insatisfaction est remontée également sur le confort acoustique (bruit extérieur mais aussi inconfort lié à la ventilation) ;
- Enfin les deux tiers des personnes interrogées ont noté une insatisfaction sur l'éclairage des parties communes (gestion de la détection de présence).

Le principal motif d'inconfort nous semble être l'inconfort estival des logements. Il serait intéressant de renforcer la sensibilisation des occupants aux pratiques de base permettant de limiter cet inconfort :

- Suppression des apports solaires directs, mais aussi limitation des apports diffus à l'aides d'un bon usage des BSO ;
- Limitation des apports internes (cuisson, apports électriques en général) ;
- Maximisation de l'entrée d'air frais quand la température extérieure le permet, fermeture des baies dès qu'il fait plus chaud dehors.

Enfin au niveau du fonctionnement des équipements CVC, nous proposons les pistes d'améliorations suivantes :

- Abaisser à 15°C la température extérieure de coupure des pompes de chauffage, qui est la température de non chauffe de la V3V (sans quoi les pompes de chauffage tournent sur une V3V en recyclage lorsque $15^{\circ}\text{C} < T^{\circ}\text{C ext.} < 20^{\circ}\text{C}$) ;
- Améliorer le pilotage des pompes de charge ECS et des pompes de chauffage (détail dans le rapport) ;
- Réduire la vitesse des pompes bouclage ($\Delta T < 1^{\circ}\text{C}$ entre départ ECS et retour bouclage) ;
- Disposer d'un clapet anti-retour entre le retour chauffage après piquage V3V et le retour charge ECS ;
- Réparer/changer le « calorimètre » du powerpipe de la sous station Nord ;
- Rajouter le 4ème tube manquant sur le powerpipe de la sous station Sud ;
- S'assurer de la mise en place et du bon fonctionnement de chacun des servomoteurs des V2V, de la consigne de température des thermostats, de la position du shunt (sur *Ext. Sensor*) et de la bonne correspondance entre sonde T°C ambiante->Thermostat->Tête motorisée->V2V ;
- Investiguer sur la régulation des CTA afin de déterminer qui prend le contrôle entre la régulation Swegon (régulation interne) et l'automate Schneider (régulation externe) ;
- Reprendre les paramètres des CTA pour assurer le bon fonctionnement de l'échangeur à roue, l'équilibre des débits entre soufflage et extraction et de la surventilation ;
- Déplacer les sondes d'air neuf influencées par le fonctionnement des modules COOL DX et reprendre leurs paramètres (étages des limites d'air extérieur).