



INGENIEURS CONSEILS
26160 Félines sur Rimandoule
☎ 04 75 90 18 54 - contact@enertech.fr

Evaluation des performances énergétiques et environnementales de bâtiments démonstrateurs à haute performance énergétique en Région Rhône Alpes

Mars 2014

Synthèse pour les bâtiments résidentiels



Maître d'ouvrage de l'étude :
Direction régionale Rhône-Alpes de l'ADEME
Etude suivie par Hakim HAMADOU
hakim.hamadou@ademe.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
Introduction	4
CHAPITRE 1 : Présentation des opérations	5
1.1 ZAC FORT DE BRON – OPAC 69	6
1.2 LA TOUR DE SALVAGNY – OPAC 69.....	7
1.3 VAUGNERAY – Les Visitandines.....	8
1.4 EPAGNY – OPAC 74 – LE PERENNE	10
1.5 EPAGNY – SOGIMM – Jardins Républiques.....	11
1.6 REVEL – OPAC 38	12
1.7 ANCÔNE – DAH – Les Santolines	13
CHAPITRE 2 : Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure.....	14
2.1 Présentation de la campagne d'évaluation	14
2.2 Conventions de calculs	15
2.3 Méthodes de calculs	18
CHAPITRE 3 : Etude du chauffage.....	19
3.1 Caractéristiques des installations	19
3.2 Consommation annuelle	19
3.3 Paramètres influant sur la consommation	21
3.3.1 Influence des paramètres climatiques et durée de la saison de chauffe.....	21
3.3.2 Température intérieure.....	21
3.3.3 Puissance thermique et taux de charge	22
3.3.4 Apports gratuits	23
3.3.5 Impact de la ventilation	23
3.3.6 Comportement des occupants – Ouverture des fenêtres.....	24
3.3.7 Étanchéité à l'air.....	24
CHAPITRE 4 : Etude de l'Eau Chaude Sanitaire	25
4.1 Caractéristiques des installations	25
4.2 Consommation annuelle	25
4.3 Paramètres influant sur la consommation	27
4.3.1 Influence des paramètres climatiques	27
4.3.2 Niveaux de puisage d'eau chaude sanitaire	27
4.3.3 Fonctionnement de l'installation solaire.....	28
4.3.4 Fonctionnement de l'installation d'appoint ECS	29
4.3.5 Fonctionnement de la distribution ECS	29
CHAPITRE 5 : Electricité des services généraux.....	30
5.1 Consommation annuelle totale	30
5.2 Consommation par usage.....	31

5.2.1	Ventilation.....	31
5.2.2	Chaufferie	32
5.2.3	Eclairage.....	34
5.2.4	Ascenseur.....	35
CHAPITRE 6 :	<i>Electricité des parties privatives</i>	36
CHAPITRE 7 :	<i>Etude du confort d'été</i>	37
CHAPITRE 8 :	<i>RESULTATS – CHIFFRES CLES</i>	38
	Consommation totale	38
CHAPITRE 9 :	<i>Les enseignements stratégiques</i>	40
9.1	Réflexion sur l'évolution des réglementations et des labels	40
9.2	Réflexions sur les méthodes de calcul les plus pertinentes	42
9.2.1	Introduction	42
9.2.2	Comparaison des calculs réglementaires et des valeurs mesurées.....	44
9.2.3	La prévision de consommation est-elle possible ?	48
9.2.4	La simulation dynamique pour mieux évaluer la physique des phénomènes .	49
9.3	Comment améliorer les performances des installations livrées ?	51
9.3.1	Mieux préciser les objectifs et les moyens dans le cahier des charges	51
9.3.2	Améliorer la conception et la réalisation des bâtiments	52
9.3.3	Vers des suivis de chantier de qualité	55
9.4	Les éléments d'une bonne évaluation des performances	56
9.4.1	Adopter les bonnes méthodes de calcul	56
9.4.2	Faire une vérification par mesure des performances	57
BIBLIOGRAPHIE		59

Introduction

Dans le cadre de l'Appel à Projet « PREBAT – Bâtiments démonstrateurs », l'ADEME a souhaité mettre en place une évaluation des résultats effectifs sur les opérations lauréates. Notre bureau d'études a été missionné pour conduire une analyse approfondie des qualités techniques des bâtiments notamment au travers d'une campagne de mesures d'une durée de 2 ans.

Celle-ci consiste en un relevé précis des consommations, de la qualité de l'air, du confort hygrothermique et du fonctionnement des installations de ventilation, chauffage, eau chaude sanitaire (ECS) et électriques. À partir de ces mesures, des indicateurs généraux de consommation, confort et fonctionnement peuvent être dégagés. Une analyse de ces résultats permet de caractériser le bâtiment étudié et d'identifier les dysfonctionnements.

L'équipe se place dans une approche constructive, en partant de l'a priori que chaque maître d'œuvre a tenté de faire de son mieux, tout en sachant que les savoirs et les pratiques ne sont peut-être pas encore au niveau des ambitions qui sont les nôtres collectivement aujourd'hui.

Le présent rapport présente une synthèse des résultats issus de l'analyse des mesures pour les bâtiments de logements. Le lecteur intéressé se reportera avec profit sur les rapports particuliers de chacun des bâtiments pour davantage de détails.

CHAPITRE 1 : Présentation des opérations

La présente synthèse porte sur sept bâtiments de logements :

- 3 en banlieue lyonnaise (Bron-22 lgts, La Tour de Salvagny-29 lgts, Vaugneray-28 lgts), 2 autour d'Annecy (Epagny-51 et 15 lgts), 1 autour de Grenoble (Revel-7 lgts), 1 à proximité de Montélimar (Ancône-4 lgts)

Figure 1.1 Liste des bâtiments étudiés

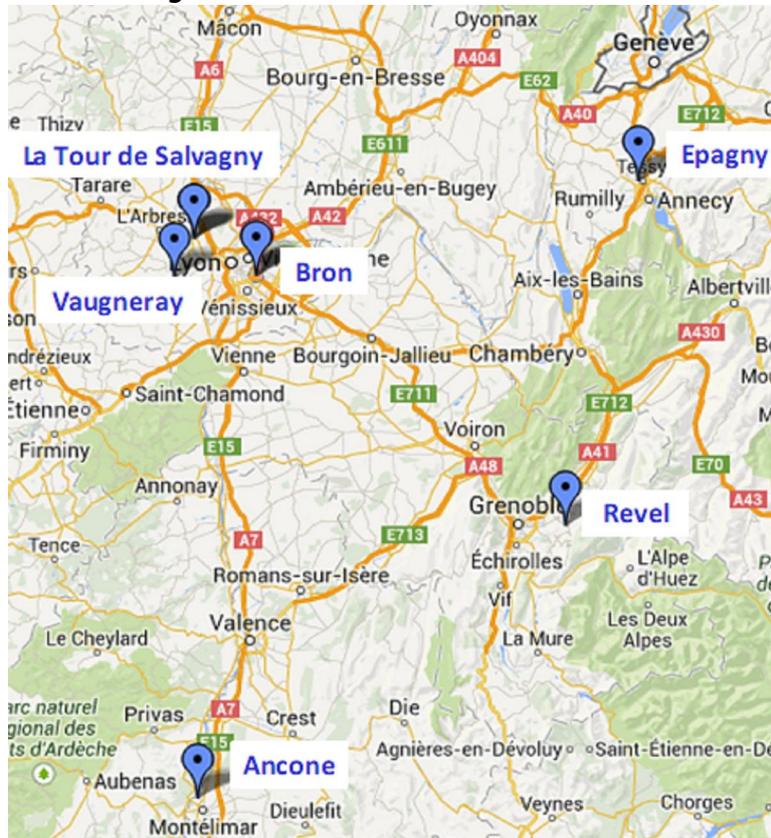


Figure 1.2 Localisation géographique des bâtiments étudiés

1.1 ZAC FORT DE BRON – OPAC 69

Le bâtiment abrite 22 logements sociaux commandités par l'OPAC du Rhône. Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques de l'opération :



Projet	Intitulé du projet	ZAC du Fort de Bron - Construction de 22 logements		
	Localisation	Bron (69)		
	Maître d'Ouvrage	OPAC 69		
	SHAB	1592 m ²	SHON	1965 m ²
	Nombre de lgts	22	Nombre d'étage	R+4
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	UNANIME		
	Economiste	GETCI		
	BE fluides	Cabinet O. SIDLER		
	AMO HQE	-		
Enveloppe	Procédé constructif	Monomur de terre cuite, charpente bois		
	Compacité	1,18 m ² de surface déperditive par m ² SHAB		
	Murs extérieurs	Monomur de 50cm		
		U =	0,26 W/m ² .K	
	Plancher bas	Flocage 11cm R=2,5 m ² .K/W		
		U =	0,36 W/m ² .K	
	Toiture	30 cm laine de verre en combles non aménagés (R=7,5 m ² .K/W)		
		12 cm de polyuréthane en toiture terrasse (R=5 m ² .K/W)		
		U =	Respectivement 0,13 et 0,20 W/m ² .K	
	Ponts thermiques	Traitement classique.		
Menuiseries	Vitrage	Double, peu émissif + argon	Cadre	PVC
	Occultations :	Volets roulants PVC et brise soleil terre cuite		
	Uw =	1,7 W/m ² .K	Surface en tableau	222 m ²
	A*	A2	Soit 14 % de la SHAB	
Systèmes	Chauffage	2 Chaudières Gaz condensation modulantes collectives		
		Puissance installée	120 kW soit 75 W/m ² (+87 kW en secours)	
		Emission	Radiateurs acier - Régime 50/40	
	Rafraîchissement	-		
		Puissance installée	- kW	
	Ventilation	Double flux. CTA collective à roue		
		Débit de pointe	3570 m ³ /h	Efficacité échangeur
	ECS	Gaz		
		Capteurs solaires	-	
	Photovoltaïque	-		
Performance	Objectif / label	THPE RT2000 (Cep ref -20%)		
	Calcul RT 2005	Cep = 101 kW.h _{ep} /m ² _{SHON} (C du calcul RT 2000 rapporté à la SHON)		
	Simulation dynamique	-		

Figure 1.3 Tableau de présentation ZAC DU FORT BRON

1.2 LA TOUR DE SALVAGNY – OPAC 69

Le bâtiment abrite 29 logements sociaux commandités par l'OPAC du Rhône. Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques de l'opération :



Projet	Intitulé du projet	La Tour de Salvagny – Place du marché			
	Localisation	La Tour de Salvagny (69)			
	Maître d'Ouvrage	OPAC du Rhône			
	Livraison	Juin 2011			
	SHAB	1985,26 m ²	SHON	2648,15 m ²	
	Nombre logements	29	Nombre d'étage	R+2 / R+3	
Equipe de maîtrise d'œuvre	Architecte	Atelier Thierry Roche & associés			
	Economiste	SLETEC			
	BE fluides	Cabinet Sidler - Enertech			
	AMO HQE	Tribu			
Enveloppe	Procédé constructif	Brique monomur			
	Compacité	1,84 m ² de surface déperditive par m ² SHAB			
	Murs extérieurs	Brique monomur 50 cm			
		U =	0,26 W/m ² .K		
	Plancher bas	LR 10 cm fond de coffrage ou fibrastyrène en sous face			
		U =	0,35 W/m ² .K		
	Toiture	LM 30 cm en combles			
		U =	0,13 W/m ² .K		
	Ponts thermiques	Traitement des nez de dalles			
	Menuiseries	Vitrage	Double vitrage peu émissif remplissage argon	Cadre	PVC / alu pour façades N/E du R+3 cage D
Occultations :			Volets roulants intégrés à lame		
Uw =		1,7 W/m ² .K	Surface en tableau	379 m ² soit 19,1 % de la SHAB	
A*		A3			
Systèmes	Chauffage	1 chaudière gaz à condensation + 1 chaudière gaz secours			
		Puissance installée	120 kW (+ 86 kW en secours) soit 60 W/m ² (+ 43 W/m ² en secours)		
		Emission	Radiateurs aciers		
		Régulation terminale	Vannes tout ou rien commandées par thermostat par pièce		
	Ventilation	Double flux, 3 CTA collectives avec échangeur à plaques			
		Débit de pointe	2550 m ³ /h	Efficacité échangeur	90 %
			990 m ³ /h 840 m ³ /h		
	ECS	Solaire + appoint gaz			
Photovoltaïque	Captteurs solaires	45 m ² sur deux sous ensemble en parallèle			
		-			
Performance	Objectif / label	Qualitel HPE 2000			
	Calcul RT 2005	Cep = 72,9 kWh _{EP} /m ² _{SHON} /an			
	Simulation dynamique	Besoins 54,5 kWh/m ²			

Figure 1.4 Tableau de présentation TOUR DE SALVAGNY

1.3 VAUGNERAY – Les Visitandines

Le bâtiment de logements Le Clos des Visitandines est le fruit d'un réaménagement et d'une réhabilitation du monastère de la Visitation. Une partie du monastère (cloître, chapelle) a été conservée par la commune (futurs locaux communaux).

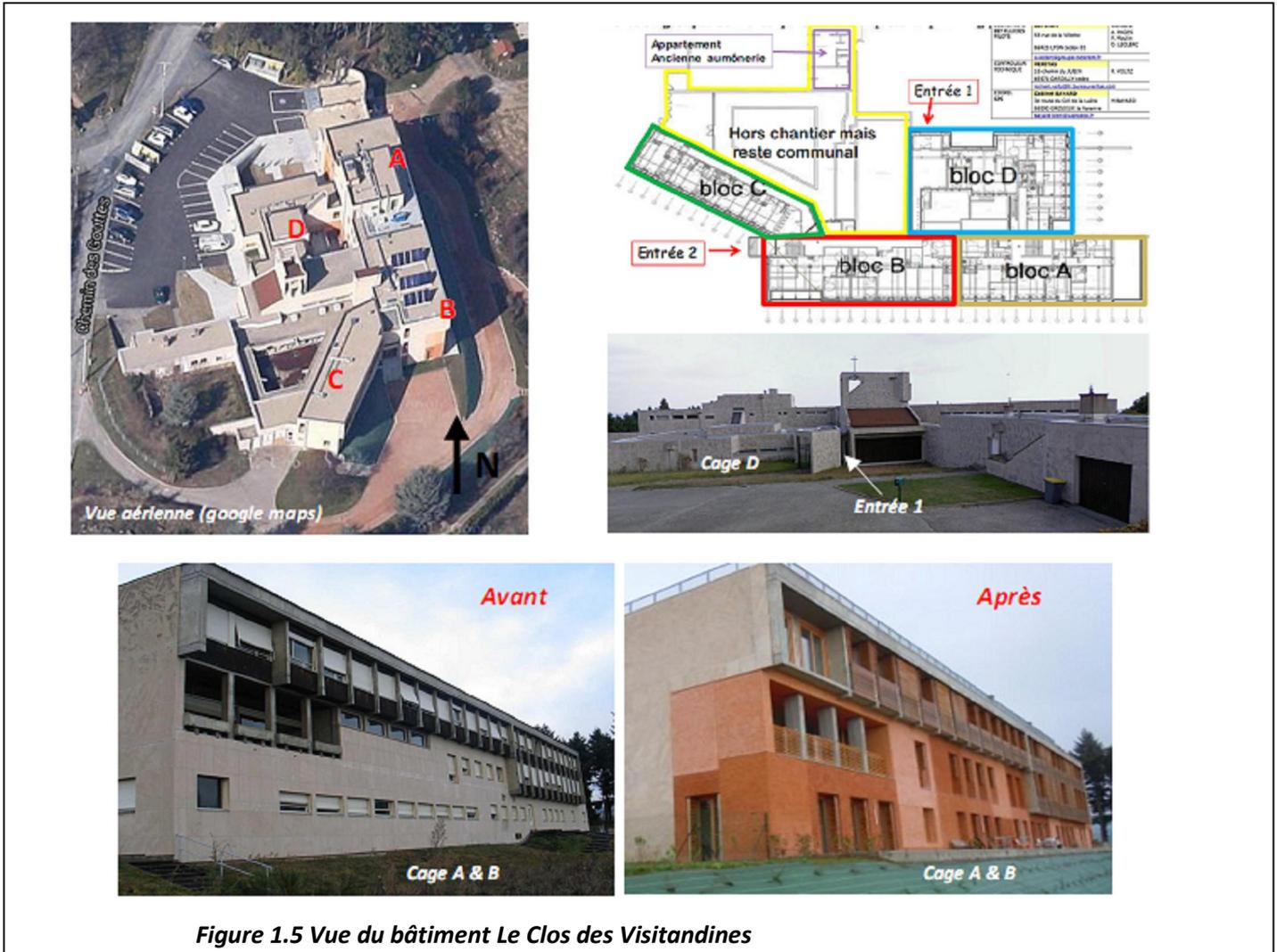


Figure 1.5 Vue du bâtiment Le Clos des Visitandines

Il comporte 28 logements (dont 12 logements sociaux, 15 logements en accession et 1 appartement d'urgence de la commune), pour un potentiel estimé de 74 locataires.

Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques de l'opération :

Projet	Projet	Réaménagement et réhabilitation du monastère de la Visitation en programme de logements (28 logements) Chemin des Gouttes 69670 Vaugneray		
	Localisation	Vaugneray (69)		
	Maître d'Ouvrage	Mairie de Vaugneray		
	Livraison	Juillet 2011		
	SHAB	1 829 m ²	SHON	2 521 m ²
	Volume habitable	4 952 m ³		
	Nombre logements	28	Nombre d'étage	R+2
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Luca LOTTI Architecte		
	Economiste	BETEREM Rhône Alpes Centre – Guy Desbruns		
	BE fluides	BETEREM Rhône Alpes Centre – Alain Pagès		
	AMO HQE	Association HESPUL – Julien Renucci		
Enveloppe	Procédé constructif	Mur en béton ou brique avec isolation extérieure-ITE ou intérieure-ITI		
	Compacité	0,67 m ² de surface déperditive par m ³ habitable		
	Murs extérieurs	isolation rapportée ITE avec PSE 15cm enduit ou laine de verre 15 cm sous bardage bois ou ITI 12cm		
		U =	0,23 / 0,21 / 0,28 W/m ² .K	
	Plancher bas	Dalle en béton avec isolation Fibrastyrene 12cm sur vide sanitaire / non isolé sur terre plein		
		U =	0,25 (sur vide sanitaire) et 3,4 (sur terre plein) W/m ² .K	
	Toiture	Terrasse : dalle en béton avec isolation PU 17cm		
		U =	0,17 W/m ² .K	
	Ponts thermiques	Traitement par ITE		
	Menuiseries	Vitrage	Double, 4/16/4	Cadre
peu émissif + argon				
Occultations :		Brise soleil bois ajouré		
	Uw =	1,6 W/m ² .K	Surface en tableau	350 m ²
	A*	A4		Soit 19 % de la SHAB
Systèmes	Chauffage	Chaudière bois + chaudière gaz		
		Puissance installée	80 kW (bois) + 120 kW (gaz)	
		Emission	Radiateurs acier - Régime 80/60	
		Régulation terminale	Robinets thermostatiques	
	Ventilation	CTA simple flux hygroB x 4		
		Débit	1 267 m ³ /h débit moyen hygro RT 2 020 m ³ /h débit de base hygiénique arrêté 1982	
	ECS	Chaudière gaz (60 kW)+ préchauffage solaire thermique		
Capteurs solaires		28 m ² capteurs plans en préchauffage ECS		
Photovoltaïque	/			
Performance	Objectif / label	BBC Effinergie rénovation		
	Calcul BBC Effinergie	Cep = 71,2 kWh _{ep} /m ² _{SHON} (C du calcul RT pour label BBC rapporté à la SHON)		
	Simulation dynamique	NON		

Figure 1.6 Tableau de présentation VAUGNERAY

1.4 EPAGNY – OPAC 74 – LE PERENNE

Le bâtiment abrite 15 logements sociaux commandités par l'OPAC 74.

Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques de l'opération :



Projet	Intitulé du projet	ZAC du centre : Bâtiment E			
	Localisation	EPAGNY			
	Maître d'Ouvrage	OPAC 74			
	SHAB	978 m ²	SHON	1213 m ²	
	Nombre de logements	15	Nombre d'étage	4	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	GALBE			
	Economiste	CE2T INGENIERIE			
	BE fluides	ADF			
	AMO HQE				
Enveloppe	Procédé constructif	Mur béton 16 cm			
	Compacité (Sdépér/Shab)	1,24			
	Murs extérieurs	160 mm polystyrène collé sous enduit mince U = 0,20 W/m ² .K			
	Plancher bas	120 mm de polystyrène type "Perimate" de Styrofoam U = 0,30 W/m ² .K			
	Toiture	300 mm de laine de verre			
		U = 0,13 W/m ² .K			
	Menuiseries	Vitrage	Double vitrage peu émissif + argon	Cadre	PVC
		Occultations :	Volets roulants PVC avec isolation ?		
		Uw =	1,7 W/m ² .K	Surface en tableaux	127 m ² soit 13% de la SHAB
		Classe d'étanchéité	A2		
Systèmes	Chauffage	Weishaupt Thermocondens chaudière à condensation			
		Puissance maximale estimée	80kW (80/60 °C)		
		Emission	Radiateurs avec robinets thermostatiques		
	Rafrâichissement	-			
		Puissance installée	- kW		
	Ventilation	Echangeurs individuels statiques Aldès (soufflage VIK 4000 Microwatt/ extraction : CVEC 2500 RV Microwatt)			
		Débit de pointe	2160 m ³ /h	Efficacité échangeur	90%
	ECS	Gaz			
Capteurs solaires		25 m ²			
Performance	Objectif / label	Obtention du label Minergie Standard			
	Calcul RT 2005	Ubat = 0,507, Créf-46% et Cep = 60,3 kWh/m ² shon.an, dont 19,3 pour le chauffage, 22,2 pour l'ECS, 10,4 pour les auxiliaires de ventilation, 7 pour l'éclairage et 1,5 pour les auxiliaires de chauffage - Performances respectant le niveau du label BBC 2005 (Cep < 65 kWh/m ² .an)			
	Simulation dynamique				

Figure 1.7 Tableau de présentation EPAGNY OPAC 74



1.5 EPAGNY – SOGIMM – Jardins Républiques

Le bâtiment abrite 51 logements + 4 locaux d'activité. Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques de l'opération :

Projet	Intitulé du projet	Jardins République - Construction de 4 bâtiments comportant 51 logements + 4 locaux d'activité		
	Localisation	Epagny (74)		
	Maître d'Ouvrage	SOGIMM		
	SHAB	3394 m ²	SHON	4081 m ²
	Nombre logements	51	Nombre d'étage	R+3
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Atelier Galbe		
	Economiste	CE2T Ingénierie		
	BE fluides	ADF – Agence des Fluides		
	AMO HQE	ETAMINE		
Enveloppe	Procédé constructif	Béton, charpente bois		
	Compacité	1,37 m ² de surface déperditive par m ² SHAB		
	Murs extérieurs	ITE polystyrène graphité 16 cm R= 5 m ² .K/W , Terrasse R=3 m ² .K/W et Hall : bardage stratifié LdV 10+7,5 (R = 5,4 m ² .K/W)		
		U =	U = Respectivement 0,19 et 0,21 W/m ² .K	
	Plancher bas	Flocage 15cm R=3,19 m ² .K/W		
		U =	0,35 W/m ² .K	
	Toiture	En combles non aménageables, LdR 30 cm (R=7,5 m ² .K/W) Terrasse bâtiments A, B et D : Polyuréthane 12 cm R=5 m ² .K/W Terrasse bâtiment C : Polyuréthane 24 cm R=10 m ² .K/W		
		U =	Respectivement 0,13 et 0,19 et 0,10 W/m ² .K	
	Ponts thermiques	Balcons désolidarisés en structure métallique		
	Menuiseries	Vitrage	Double 4-16-4 peu émissif remplissage argon	Cadre
Occultations :		Volets roulants PVC		
Uw = A*		1,7 W/m ² .K A2	Surface en tableau	809 m ² Soit 24 % de la SHAB
Systèmes	Chauffage	1 chaudière bois déchiqueté + 1 chaudière gaz BT en appoint et secours		
		Puissance installée	220 kW (bois) + 300 kW (gaz) soit 65 W/m ² (+88 W/m ² en secours)	
		Emission	Radiateurs basse température	
		Régulation terminale	robinets thermostatiques	
	Ventilation	Double flux : ventilateurs extraction et soufflage collectifs, échangeurs statiques individuels		
		Débit de pointe	7830 m ³ /h	Efficacité échangeur
	ECS	Bois en hiver, gaz en été		
		Capteurs solaires	-	
Photovoltaïque	-			
Performance	Objectif / label	MINERGIE		
	Calcul RT 2005	Cep = 81 kWh _{EP} /m ² _{SHON}		
	Simulation dynamique	-		

Figure 1.8 Tableau de présentation EPAGNY SOGIMM

1.6 REVEL – OPAC 38

Le bâtiment abrite 7 logements sociaux commandités par l'OPAC 38. Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques de l'opération :



Projet	Intitulé du projet	Résidence Le Claret - Construction de 7 logements		
	Localisation	Revel (38)		
	Maître d'Ouvrage	OPAC 38		
	Livraison	Juin 2008		
	SHAB	487 m ²	SHON	549 m ²
	Nombre logements	7	Nombre d'étage	R+1
Equipe de maîtrise d'œuvre	Architecte	DEDALES		
	Economiste	BETREC IG		
	BE fluides	GTI		
	AMO HQE	TERRE ECO - AGEDEN		
Enveloppe	Procédé constructif	Ossature bois (façade sud) / béton isolation par l'extérieur (autres façades)		
	Murs extérieurs	20 cm de laine de verre sous bardage en 2 couches croisées		
		U =	0,192 W/m ² .K. Même U pour les 2 types de parois	
	Plancher bas	12 cm polyuréthane continu sur terre plein		
		U =	0,164 W/m ² .K	
	Toiture	30 cm laine de verre en faux plafond donnant sur combles non aménagés		
		U =	0,132 W/m ² .K	
	Ponts thermiques	Traitement classique.		
Menuiseries	Vitrage	Triple	Cadre	Bois
	Occultations :			
	Uw =	1,1 W/m ² .K	Surface en tableau	65,2 m ²
	A*	Non connu		Soit 13,4 % de la SHAB
Systèmes	Chauffage	Chaudière Gaz condensation modulante collective		
		Puissance installée	12 à 65 kW soit 25 à 133 W/m ² SHAB	
		Emission	Radiateurs acier - Régime 65/55	
		Régulation terminale	robinets thermostatiques	
	Ventilation	Double flux. Echangeur à plaques		
		Débit de pointe	1000 m ³ /h	Efficacité échangeur
	ECS	Solaire avec appoint gaz par la chaudière		
		Capteurs solaires	12 m ²	
Photovoltaïque	7,3 kWc (54 m ²)			
Performance	Objectif / label	BBC Effinergie 2005		
	Calcul RT 2005	Cep = 58,1 kWh _{ep} /m ² SHON		

Figure 1.8 Tableau de présentation REVEL

1.7 ANCÔNE – DAH – Les Santolines

Le bâtiment abrite 4 logements sociaux commandités par Drôme Aménagement Habitat. Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques de l'opération :

Projet	Intitulé du projet	Les Santolines - Construction de 4 logements sociaux			
	Localisation	Ancône (26)			
	Maître d'Ouvrage	DAH			
	Livraison	Juillet 2010			
	SHAB	363 m ²	SHON	409.54 m ²	
	Nombre logements	4	Nombre d'étage	R+1	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Evelyne et Charles COLLOMB			
	Economiste	Betrec IG			
	BE fluides	Cabinet O. SIDLER			
	AMO HQE	-			
Enveloppe	Procédé constructif	Agglos de 20cm, structure béton			
	Compacité	1,84 m ² de surface déperditive par m ² SHAB			
	Murs extérieurs	200mm de polystyrène expansé			
		U =	0,18 W/m ² .K		
	Plancher bas	Polystyrène extrudé 13cm R=4 m ² .K/W			
		U =	0,23 W/m ² .K		
	Toiture	40 cm laine de verre (R=10 m ² .K/W)			
		U =	0.10 W/m ² .K		
	Ponts thermiques	Traitement classique.			
	Menuiseries	Vitrage	Double, peu émissif + argon au sud, Triple + argon ailleurs		Cadre
Occultations : Volets roulants PVC au sud, volets bois persiennés ailleurs					
Uw = A*		1,7 W/m ² .K pour le DV 0.9 W/m ² .K pour le TV A4	Surface en tableau	66 m ² Soit 18,2 % de la SHAB	
Systèmes	Chauffage	PAC eau/eau sur nappe			
		Puissance installée	12 kW soit 33 W/m ²		
		Emission	Radiateurs acier - Régime 45/35		
		Régulation terminale	Vanne TOR et thermostat d'ambiance		
	Ventilation	Double flux. CTA collective avec échangeur à plaques			
		Débit de pointe	720 m ³ /h	Efficacité échangeur	90%
	ECS	PAC eau/eau + appoint électrique			
Capteurs solaires		6.9 m ² Viessmann Vitosol 200 fSV2			
Photovoltaïque	-				
Performance	Objectif / label	THPE ENR 2005			
	Calcul RT 2005	Cep = 67.3 kW.h _{ep} /m ² _{SHON} (C du calcul RT 2000 rapporté à la SHON)			
	Simulation dynamique	STD réalisée avec Trnsys 16			

Figure 1.8 Tableau de présentation ANCÔNE

CHAPITRE 2 : Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure

2.1 Présentation de la campagne d'évaluation

Plus de 1 300 mesureurs ont été posés pour le suivi des bâtiments. Le détail par opération est donné dans le tableau ci-dessous :

Opération	Nombre de mesureurs posés
Bron	116
La Tour de Salvagny	216
Vaugneray	232
Epagny OPAC 74	149
Epagny Sogimm	336
Revel	148
Ancône	132
Total	1329

Figure 2.1 : Tableau du nombre de mesureurs posés par opération

Chaque mesureur effectue des mesures au pas de temps de 10 minutes, ce qui représente au final plus de 100 millions de données à traiter pour les deux années de mesures. Pour le traitement, ces données sont intégrées à des bases de données relationnelles qui sont ensuite interrogées avec un outil de traitement puissant développé en interne.

Les principaux postes suivis sont de manière générale :

- **Chauffage / Eau chaude sanitaire** : suivi des compteurs, des consommations de l'ensemble des auxiliaires ainsi que les températures des différents circuits
- **Ventilation** : suivi des débits, des consommations de l'ensemble des auxiliaires et températures des différents réseaux.
- **Electricité des services généraux** : suivi des différents usages électriques
- **Logements** : suivi détaillé des consommations d'électricité des parties privatives d'un échantillon de logements, suivi de la qualité de l'air (CO₂, Radon), suivi des températures/hygrométries intérieures
- **Données météo** : suivi des températures/hygrométries extérieures, ensoleillement

2.2 Conventions de calculs

La **performance des bâtiments** est usuellement caractérisée par un ratio en [kWh/m²/an], que ce soit dans les réglementations thermiques, les différents labels ou dans de nombreuses publications. Comme pour tout bilan énergétique, le choix des hypothèses et conventions de calculs sont des éléments déterminants qui peuvent orienter l'analyse et il convient de les préciser avec le plus grand soin.

Depuis le prélèvement à la source jusqu'à l'utilisation finale, au long de ce qui constitue les chaînes d'utilisation de l'énergie, un grand nombre de transformations et de pertes ont lieu. Les **consommations d'énergie** du bâtiment peuvent être exprimées à différents niveaux de transformation de ces chaînes énergétiques.

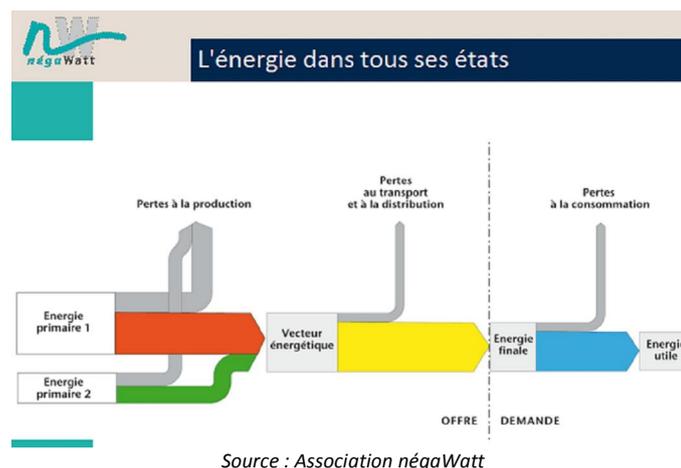


Figure 2.2 Représentation d'une chaîne énergétique

- **l'énergie utile** correspond à la forme terminale de l'énergie, celle qui procure le service énergétique recherché, comme par exemple les pertes de chaleur par les parois et le renouvellement d'air qui constituent les besoins de chauffage. C'est cette valeur qui permet de caractériser la performance du bâtiment et l'usage qu'en font les occupants, hors efficacité des systèmes.

→ moyen de mesure : il n'est pas possible de mesurer rigoureusement l'énergie utile. On utilisera donc des compteurs de chaleur installés au niveau des logements ou à proximité – le point de comptage devant être soigneusement précisé.

- **l'énergie finale** correspond à l'énergie disponible « aux bornes du bâtiment », facturée au client. Elle exprime la quantité d'énergie consommée en tenant compte des différents rendements ou efficacités des systèmes installés.

→ moyen de mesure : compteurs énergétiques de combustible ou d'électricité (ou factures)

- **l'énergie primaire** correspond à l'énergie brute prélevée dans la nature, elle permet de rendre compte de l'impact du bâtiment sur l'environnement et de la pression exercée sur les ressources naturelles. On s'intéresse par la suite l'énergie primaire non-renouvelable. C'est cette valeur qui se révèle pertinente pour comparer la performance globale des bâtiments entre eux dans une optique de développement soutenable.

→ moyen de mesure : on exprime l'énergie primaire à partir de l'énergie finale en appliquant des coefficients de conversion, qui peuvent être conventionnels (réglementation thermique) ou se rapprochant davantage de la réalité physique.

Nous utiliserons dans l'ensemble des analyses qui suivent les coefficients de conversion du tableau de la figure 2.3. Ils représentent au mieux la réalité physique. A titre d'information nous rappelons ici les coefficients de conversion conventionnels utilisés dans la réglementation thermique.

Coefficients de conversion énergie finale --> énergie primaire (non renouvelable) utilisés pour l'analyse		Coefficients conventionnels
Electricité	3,27	2,58
Gaz naturel	1,16	1
Bois déchiqueté	0,09	1 / 0,6*
Solaire thermique	0	0
<i>Source : Valeurs des coefficients "physiques" calculées à partir: -des inventaires du cycle de vie (ICV) ecoinvent v2.2 valides pour la France ou adaptés au contexte français par Cycleco, -de la méthode d'évaluation d'impact Cumulative Energy Demand telle qu'implémentée par ecoinvent center dans ecoinvent v2</i>		<i>* "1" selon le calcul RT, "0,6" dans le cas d'une labellisation BBC Effinergie</i>

Figure 2.3 Coefficients de conversion en énergie primaire

Unité d'énergie

L'unité choisie pour l'analyse est le kilowattheure (kWh). Nous précisons à chaque fois s'il s'agit d'une consommation exprimée :

- en énergie utile (kWh_{eu}),
- en énergie finale (kWh_{ef} ou kWh_{él} pour les usages électriques)
- en énergie primaire, non-renouvelable (kWh_{ep}).

D'autre part, pour les combustibles, il est nécessaire de transformer l'unité de vente (m³, tonnes, litres, etc) en contenu énergétique (kWh). Pour effectuer cette conversion il est possible de considérer soit le PCI (pouvoir calorifique inférieur) soit le PCS (pouvoir calorifique supérieur), ce dernier étant davantage conforme à la réalité physique des phénomènes puisqu'il inclut la chaleur latente récupérable par condensation dans les fumées. L'utilisation du PCI pour exprimer les rendements des chaudières conduit à des rendements supérieurs à 100% pour les chaudières à condensation, ce qui n'a pas grand sens physique. Par ailleurs, si la condensation est d'utilisation courante pour les chaudières gaz (sur les factures de gaz, les consommations sont d'ailleurs exprimées en kWh PCS), elle apparaît aussi sur les chaudières fioul et sur certaines chaudières bois, notamment certains modèles brûlant des granulés.

Par convention, nous considérerons dans l'analyse le pouvoir calorifique supérieur (PCS) pour l'ensemble des combustibles.

Unité de surface

Les consommations étant usuellement ramenées au m^2 , il est important de bien définir la valeur et la nature de la surface utilisée. En effet la surface considérée peut être la surface habitable (SHAB) ou surface utile (SU), qui correspond le mieux au service « rendu » aux usagers, mais aussi la surface hors d'œuvre nette (SHON), voire d'autres surfaces (surface hors d'œuvre au sens de la RT – SHORT, surface de référence énergétique – SRE pour le label suisse Minergie, surface thermique – Sth, etc).

Par convention, nous considérerons dans l'analyse la surface habitable (m^2_{SHAB}).

Conclusion

Pour chaque **usage thermique** du bâtiment (chauffage, eau chaude sanitaire, rafraîchissement), nous exprimerons les consommations mesurées : en **énergie utile** ($kWh_{eu}/m^2_{SHAB}/an$), en **énergie finale** - en considérant le PCS pour les combustibles ($kWh_{ef}/m^2_{SHAB}/an$) et en **énergie primaire non-renouvelable** ($kWh_{ep}/m^2_{SHAB}/an$) – en utilisant des coefficients de conversion « physiques ».

Pour les **usages électriques**, nous exprimerons les consommations par poste en **énergie finale** ($kWh_{ei}/m^2_{SHAB}/an$), que nous ramènerons, pour le bilan global du bâtiment, en **énergie primaire** ($kWh_{ep}/m^2_{SHAB}/an$).

Remarque : Les consommations conventionnelles du bâtiment (« calcul RT ») sont exprimées en énergie finale ou primaire, en utilisant le pouvoir calorifique inférieur (PCI) et en ramenant les consommations à la surface hors d'œuvre nette (SHON). Les coefficients de conversion « conventionnels », qui diffèrent des coefficients « physiques », sont utilisés pour le calcul de l'énergie primaire. Les hypothèses de calcul ne sont donc pas comparables à celles explicitées ci-dessus. On ne peut confronter une mesure qu'à une valeur prévisionnelle or la méthode « RT » n'est pas une méthode prévisionnelle mais seulement une méthode conventionnelle. **Par conséquent nous ne comparerons pas les consommations d'énergie du bâtiment, établies au cours des années de mesure, avec les valeurs conventionnelles du calcul RT, ce qui n'aurait aucun sens physique.**

A titre informatif, nous rapprocherons cependant, dans un paragraphe dédié à la fin du rapport, les valeurs du calcul conventionnel utilisé avec les consommations d'énergie mesurées en considérant les mêmes hypothèses (qui seront explicitées en détail).

2.3 Méthodes de calculs

Etablissement des consommations d'énergie utile

Les consommations d'énergie utile sont relevées au niveau des compteurs de chaleur situés en aval des équipements de génération de chaleur.

Dans la plupart des cas, ces compteurs sont situés en chaufferie sur les circuits de chauffage ou d'eau chaude sanitaire. Nous considérerons par la suite l'énergie utile comme **l'énergie disponible en sortie de chaufferie**. Elle n'est donc pas représentative des besoins de chauffage (établis par exemple en simulation dynamique) puisque ne prenant pas en compte les rendements d'émission, de régulation et de distribution en aval des compteurs. Pour les cas où l'énergie utile serait mesurée à d'autres endroits qu'en sortie chaufferie (plus en aval sur la distribution), la valeur sera ramenée, en vue d'homogénéisation entre les différents bâtiments, à une valeur estimée en sortie chaufferie à l'aide du rendement-type de distribution suivant : 85% (cas d'Epagny SOGIMM).

Etablissement des consommations d'énergie finale

Les consommations d'énergie finale sont calculées à l'aide des factures d'énergie en utilisant les méthodes de calcul détaillées ci-dessous :

Gaz naturel : mesure au compteur volumétrique (m^3) et utilisation des coefficients de conversion ($m^3 \rightarrow kWh_{PCS}$) mentionnés sur les factures de gaz (moyenne des coefficients pour la période de mesure, en vérifiant la cohérence)

Bois déchiqueté :

→ Suivi des quantités livrées et du taux d'humidité t_h déclaré (ou contrôlé)

→ Si livraison en volume (MAP), conversion en poids (tonnes) à l'aide de la littérature¹

→ Etablissement du PCI anhydre (PCI_a) à l'aide de la littérature²

Moyennes retenues résineux/feuillus durs/feuillus tendres = 5293 / 5083 / 4856 kWh_{PCIa}/t

→ Etablissement du PCS anhydre (PCS_a) à l'aide de la formule $PCS_a = PCI_a + 61,2 \times h$ (h en %)³ et de la littérature⁴ pour le taux d'hydrogène.

Moyennes retenues résineux/feuillus = 5710 / 5450 kWh_{PCSa}/t

→ Calcul du PCS au prorata de la matière sèche : $PCS_a \times (1 - t_h)$

¹ Voir http://franche-comte.ademe.fr/administration/modules/ged/download_public.php?mod=ged&code=081226042930.pdf&nom=pouvoir_calorifique_du_bois

² Voir rapport "REFERENTIEL COMBUSTIBLE BOIS ENERGIE : LES PLAQUETTES FORESTIERES DEFINITION ET EXIGENCES, Ademe, 25 avril 2008"

³ La différence entre PCS_a et PCI_a est la chaleur latente d'évaporation de l'eau formée lors de la combustion du bois. On a donc :

$$PCI_a = PCS_a - \frac{h}{100 \times 2} \times 18,02 \times 2,447 \quad (MJ/kg)$$

Où : h est la teneur en masse en hydrogène de la molécule de bois (%)
 2 la masse molaire de l'hydrogène dans une molécule d'eau (g/mole)
 18,02 est la masse molaire de l'eau (g/mole)
 2,447 est la chaleur latente d'évaporation de l'eau (MJ/kg)

⁴ voir La base de données Biobib de la Technische Universität Vienne en Autriche <http://cdmaster2.vt.tuwien.ac.at/biobib/wood.html>

CHAPITRE 3 : Etude du chauffage

3.1 Caractéristiques des installations

Les systèmes de génération de chaleur rencontrés sont les suivants :

- **Chaudière gaz à condensation** pour Bron, La Tour de Salvagny, Epagny OPAC 74 et Revel.
- **Chaudière au bois déchiqueté** pour Vaugneray et Epagny Sogimm, avec en appoint/secours une chaudière gaz à condensation pour Vaugneray et une chaudière gaz basse température pour Epagny Sogimm
- **PAC eau (nappe)/eau** pour Ancône, avec appoint électrique

Les émetteurs de chaleur sont tous des radiateurs acier.

3.2 Consommation annuelle

Notes méthodologiques :

- Les différentes consommations d'énergie pour le chauffage sont établies selon les méthodes et conventions explicitées au chapitre 2
- Les consommations correspondent aux moyennes des deux années de mesure

Consommations surfaciques de chauffage	Energie utile (kWh _{eu} /m ² _{SHAB})	Energie finale (kWh _{ef} /m ² _{SHAB})	Energie primaire (kWh _{ep} /m ² _{SHAB})	Rendement moyen de génération
Ancône	23,8	4,5	14,7	529%
Epagny SOGIMM	48,6	72,6	23,4	67%
Vaugneray	68,0	95,5	31,9	71%
Revel	41,5	66,5	77,2	62%
Epagny OPAC74	64,0	70,8	82,1	90%
La Tour de Salvagny	53,1	73,9	85,7	72%
Bron	53,8	75,8	87,9	71%

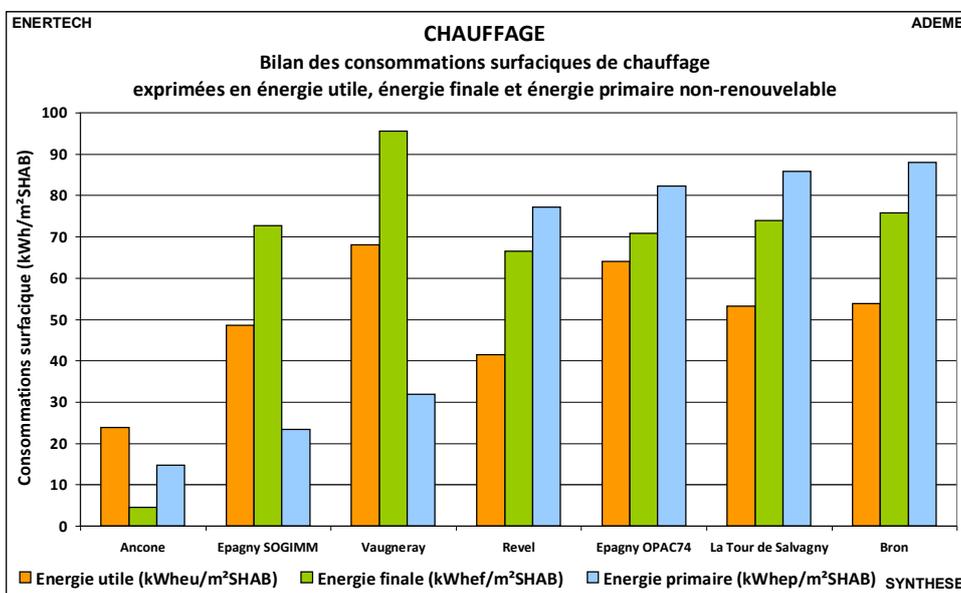


Figure 3.1 : Consommations de chauffage

Les résultats sont bien sûr variables selon les bâtiments. Un grand nombre de paramètres permettent d'expliquer ces différences : la performance de l'enveloppe (compacité et niveau d'isolation) et des systèmes installés (génération/distribution/régulation/émission), mais aussi le climat entre les différents sites et la météo lors de l'année de mesure, les déperditions dues au renouvellement de l'air (par le système de ventilation et par les inétanchéités), le comportement des occupants en terme de choix de consigne de température, apports internes, gestion des ouvrants et des occultations, etc. Ces paramètres explicatifs seront détaillés dans le paragraphe 3.3.

Quelques grandes lignes d'analyse peuvent cependant être tirées à partir des chiffres présentés ci-dessus :

- la **hiérarchie des labels énergétiques est bien respectée**. En énergie primaire ou en énergie finale les bâtiments « THPE » (Bron et La Tour de Salvagny) sont plus énergivores que les bâtiments « BBC » (Epagny OPAC 74, Revel) puis « Minergie » (Epagny Sogimm) et enfin « passif » (Ancône).
- Lorsque le bilan est exprimé en **énergie utile**, ce qui caractérise uniquement les besoins effectifs du bâtiment hors génération de chaleur, on note l'écart important entre le bâtiment d'Ancône ($24 \text{ kWh}_{\text{eu}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$) très performant, et les autres qui présentent des consommations d'énergie utile en sortie chaufferie comprises entre 40 et $70 \text{ kWh}_{\text{eu}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$.
- Le **seul bâtiment rénové (Vaugneray)** a des consommations en énergie finale notablement plus importantes, mais qui sont fortement minorées en énergie primaire du fait de l'utilisation du bois comme moyen de chauffage.
- Le **bâtiment passif d'Ancône présente un bilan extrêmement favorable**, du fait de faibles besoins de chauffage et d'une efficacité impressionnante de la pompe à chaleur sur nappe phréatique installée (COP compresseur annuel de 6,6).
- Comme expliqué au chapitre 2, le **choix de l'état énergétique** (utile/finale/primaire) pour la présentation des résultats est **déterminant** et les conclusions peuvent en être fortement affectées. A titre d'exemple, les besoins (représentées par l'énergie utile) des bâtiments Revel et Epagny Sogimm apparaissent très similaires, en revanche le bilan en énergie primaire de Revel (chauffé au gaz, avec de mauvais rendements) est près de quatre fois plus important que celui d'Epagny Sogimm (chauffé au bois).
- Les **rendements de génération** sont variables mais leurs valeurs oscillent autour de 60-70% seulement, ce qui est très peu, à l'exception du bâtiment d'Epagny OPAC 74 (90%) et bien sûr celui d'Ancône avec le COP exceptionnel obtenu pour la pompe à chaleur. La principale explication à ce phénomène sera donnée par le tableau de la figure 3.4 au chapitre suivant : les chaudières ont presque toutes été surdimensionnées d'un facteur 2, d'où une dégradation profonde et très marquée du rendement annuel d'exploitation.

3.3 Paramètres influant sur la consommation

3.3.1 Influence des paramètres climatiques et durée de la saison de chauffe

La météo durant les années de mesure et la localisation des différents bâtiments (notamment en altitude) ont bien évidemment un impact sur les consommations de chauffage. La durée de la saison de chauffe (période de fonctionnement des pompes de chauffage) est fonction de la rigueur de l'hiver, mais également de la consigne de température (plus elle est élevée, plus la saison de chauffe sera longue) et des apports internes (qui abaissent la température de non-chauffage). **Les durées mesurées des saisons de chauffe varient de 200 à 270 jours, soit de 6 mois ½ à près de 9 mois.**

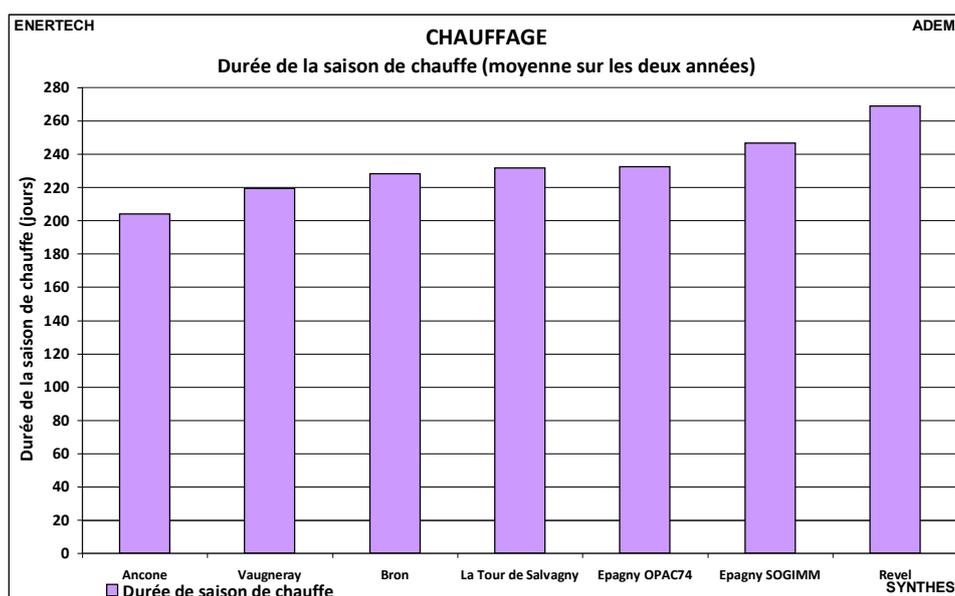


Figure 3.2 : Durées de la saison de chauffage

3.3.2 Température intérieure

Notes méthodologiques :

- Dans ce paragraphe, on définit l'hiver comme la période allant du **01 décembre au 28 ou 29 février**. En effet, il s'agit de la période la plus froide de l'année pendant laquelle le chauffage fonctionne et nous nous intéressons aux températures maintenues dans le bâtiment « sous charge ».

La température intérieure dans les bâtiments a un impact direct sur la consommation de chauffage. **Rappelons que 1 °C de température de chauffage supplémentaire entraîne dans un bâtiment performant une surconsommation de chauffage de l'ordre de 10 à 15 %.**

La température réglementaire de chauffage est de 19 °C ; sans le respect de cette consigne il est très difficile d'atteindre les objectifs de consommation de chauffage. Or on constate que les températures intérieures mesurées présentent systématiquement des dépassements : **de 20,4°C pour le bâtiment le plus sobre, on obtient des valeurs qui se rapprochent des 23°C de moyenne sur la période hivernale pour Revel**, soit près de 4°C de dépassement par rapport à la température réglementaire. Les températures moyennes des autres bâtiments sont comprises entre 21°C et 22°C.

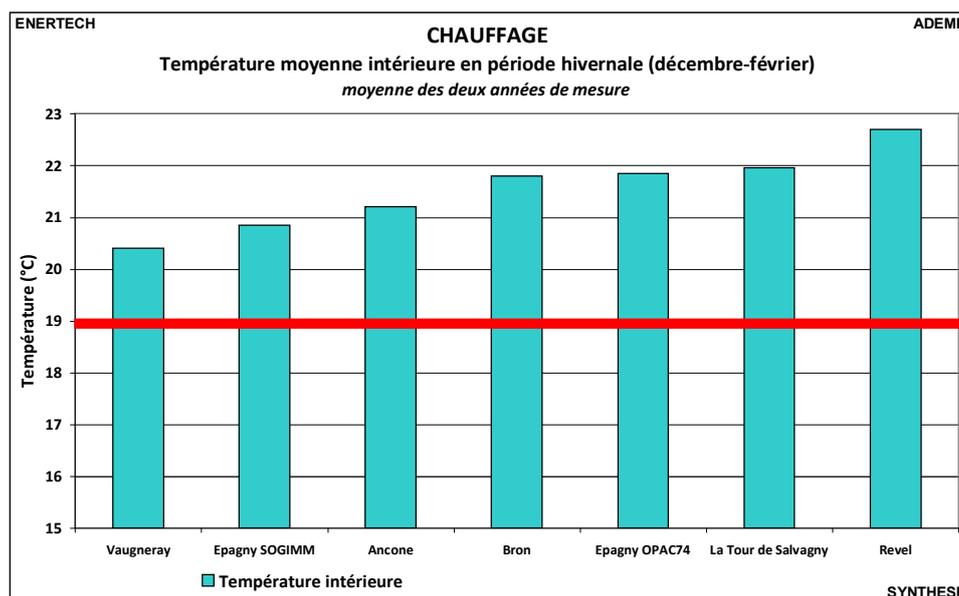


Figure 3.3 : Températures intérieures moyennes pendant l'hiver

3.3.3 Puissance thermique et taux de charge

Dimensionnement Génération (chauffage + ECS)	Puissance installée (W/m^2_{SHAB})	% du temps où taux de charge > 50%	Taux de charge moyen	Taux de charge max horaire
Ancône	50	12%	25%	100%
Epagny SOGIMM	65	8%	17%	65%
Bron	75	<1%	19%	75%
Epagny OPAC74	82	<1%	14%	53%
La Tour de Salvagny	104	<i>compteur de chaleur non fonctionnel</i>		
Vaugneray	109	<1%	13%	34%
Revel	133	<1%	11%	43%

Figure 3.4 : Caractérisation du dimensionnement des équipements

Le tableau 3.4 ci-dessus nous montre globalement un **surdimensionnement des équipements de génération de chaleur**, à l'exception notable du bâtiment d'Ancône, ainsi que dans une moindre mesure celui d'Epagny Sogimm. Dans tous les autres cas, le taux de charge ne dépasse 50% de la puissance installée qu'épisodiquement, ce qui montre que l'on aurait pu avec profit diminuer d'un facteur 2 la puissance installée.

On rappelle que ces surdimensionnements ont un gros impact financier pour l'achat des systèmes et sur les coûts d'abonnement, alors qu'un juste dimensionnement permet de compenser en partie les surinvestissements sur la performance du bâtiment. Ces surdimensionnements, qui conduisent à des taux de charge moyens inférieurs à 20 %, ont aussi un impact énergétique avec une dégradation du rendement de génération du fait d'un nombre de cycles marche-arrêt plus important et donc plus de pertes liées à la remise en température du circuit primaire.

3.3.4 Apports gratuits

Les apports gratuits, c'est-à-dire les apports internes dus aux consommations énergétiques et aux occupants ainsi que les apports solaires participent à la diminution des besoins de chauffage pour une température intérieure donnée. Cette contribution peut se mesurer en écart de température de non-chauffage, ce qui correspond à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur qui ne nécessite pas de chauffage. Cette valeur dépend directement de la puissance des apports gratuits et des valeurs des déperditions (par les parois et par le renouvellement de l'air). Elle est donc dépendante de l'occupation et du fonctionnement de la ventilation. Mis à part Vaugneray (rénovation, contrainte en terme d'apports solaires), les autres bâtiments **présentent des ΔT° de non-chauffage compris entre 5 et 7°C voire presque 8°C, ce qui est très conséquent et illustre l'importance de ces apports gratuits.**

Opération	ΔT° non-chauffage (°C)	Svit/Shab	Conso élec privative moy (kWh/lgt)
Vaugneray	2	19%	1888
Bron	5	14%	1617
Epagny OPAC74	5	13%	1678
Ancône	7	18%	4096
Epagny SOGIMM	7,7	24%	2112

Figure 3.5 : Delta de température de non-chauffage

3.3.5 Impact de la ventilation

Le taux de renouvellement d'air a un impact direct sur la consommation énergétique, majoritairement en simple flux où il faut réchauffer totalement l'air neuf, mais également en double flux où il faut finir de monter en température l'air en sortie de l'échangeur. Avec des taux de renouvellement d'air variant dans des proportions considérables (voir figure 3.6 ci-dessous) au cours des mois de mesure ou entre les différents bâtiments, **l'impact sur les consommations de chauffage est important.**

Opération	Ventilation	Taux de renouvellement d'air (Vol/h)
Revel	DF collective à plaque	0,14
La Tour de Salvagny	DF collective à plaque	0,40
Bron	DF à roue	0,48
Vaugneray	SF hygroB	0,48
Ancône	DF collective à plaque	0,69
Epagny SOGIMM	DF collective à caissons échangeurs individuels	1,26
Epagny OPAC74	DF collective à caissons échangeurs individuels	/

DF=double flux SF=simple flux

Figure 3.6 : Taux moyen de renouvellement d'air

3.3.6 Comportement des occupants – Ouverture des fenêtres

Il n'est pas impossible d'ouvrir les fenêtres dans un bâtiment étanche et performant, au contraire, il est parfaitement possible et conseillé à tous les habitants d'ouvrir les fenêtres un quart d'heure par jour. Ceci permet de renouveler rapidement l'air d'une pièce, sans présenter d'inconvénients pour la consommation de chauffage. En revanche, si la fenêtre est ouverte pendant une durée plus importante, la qualité de l'air n'en est pas améliorée pour autant mais l'air sert de caloporteur et refroidit méthodiquement le bâtiment et ses structures. Cette situation dégrade considérablement la consommation de chauffage et elle doit être évitée à tout prix. La figure 3.7 montre que le comportement des occupants a de forts impacts sur les consommations de chauffage, avec *en moyenne* plusieurs heures d'ouvertures des fenêtres chaque jour.

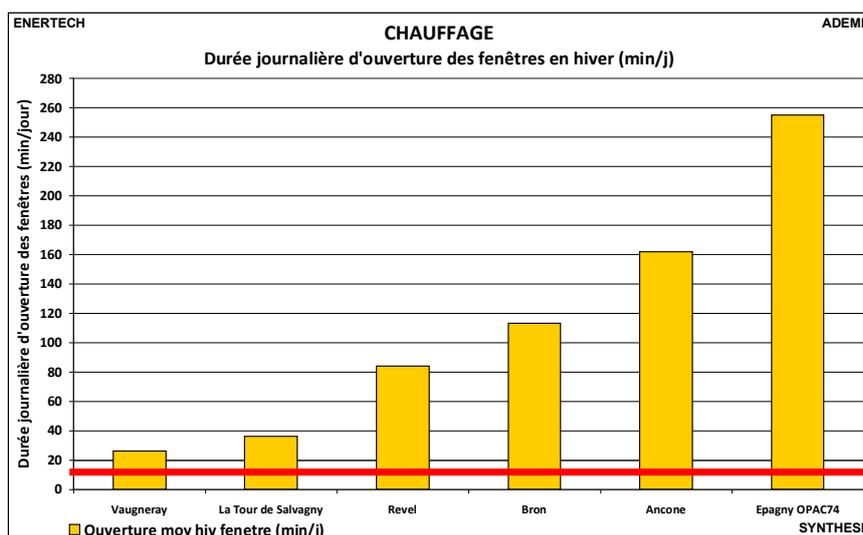


Figure 3.7 : Durée d'ouverture des fenêtres en hiver

3.3.7 Étanchéité à l'air

Moins l'étanchéité à l'air est bonne (valeurs de n_{50} et Q4 élevées), plus la consommation de chauffage sera importante du fait du réchauffement de ces flux d'air parasites. Cela est d'autant plus valable avec des systèmes de ventilation double flux où ces flux d'air ne passent pas par le récupérateur de chaleur. Rappelons que le label Passivhaus exige un n_{50} inférieur à 0,6 Vol/h tandis que le label BBC Effinergie fixe un objectif Q4 de 1 m³/h/m². On note **qu'aucun bâtiment ne respecte le standard passif mais que tous atteignent l'objectif BBC Effinergie.**

Etanchéité à l'air	n_{50} (Vol/h)	Q4 (m ³ /h/m ²)
Ancône	0,8	0,3
Epagny SOGIMM	1,0	0,4
Epagny OPAC74	1,1	0,8
Bron	1,5	0,8
La Tour de Salvagny	1,7	0,8
Revel	2,4	0,9
Vaugneray	3,6	1,0

Figure 3.8 : Résultats du test d'infiltrométrie

CHAPITRE 4 : Etude de l'Eau Chaude Sanitaire

4.1 Caractéristiques des installations

Les systèmes de génération de chaleur pour l'ECS sont les suivants :

- **Capteurs solaire thermique / Appoint chaudière gaz à condensation** pour La Tour de Salvagny, Vaugneray, Epagny OPAC 74, Revel.
- **Capteurs solaire thermique / Appoint PAC eau/eau** pour Ancône
- **Chaudière gaz à condensation** pour Bron
- **Chaudière au bois déchiqueté avec appoint chaudière gaz basse température** pour Epagny Sogimm

4.2 Consommation annuelle

Notes méthodologiques :

- Les différentes consommations d'énergie pour l'eau chaude sanitaire sont établies selon les méthodes et conventions explicitées au chapitre 2
- Les consommations correspondent aux moyennes des deux années de mesure

Consommations surfaciques d'ECS	Energie utile appoint (kWh _{eu} /m ² _{SHAB})	Energie utile solaire (kWh _{eu} /m ² _{SHAB})	Energie finale (kWh _{ef} /m ² _{SHAB})	Energie primaire (kWh _{ep} /m ² _{SHAB})	Rendement moyen de génération appoint
Ancône	14,9	?	6,1	19,9	245%
Epagny SOGIMM	24,8	/	58,6	35,1	42%
Epagny OPAC74	27,7	?	32,7	37,9	85%
La Tour de Salvagny	23,7	5,2	34,9	40,5	68%
Vaugneray	32,9	?	36,9	42,8	89%
Bron	29,8	/	46,9	54,4	64%
Revel	28,1	2,0	47,0	54,5	60%

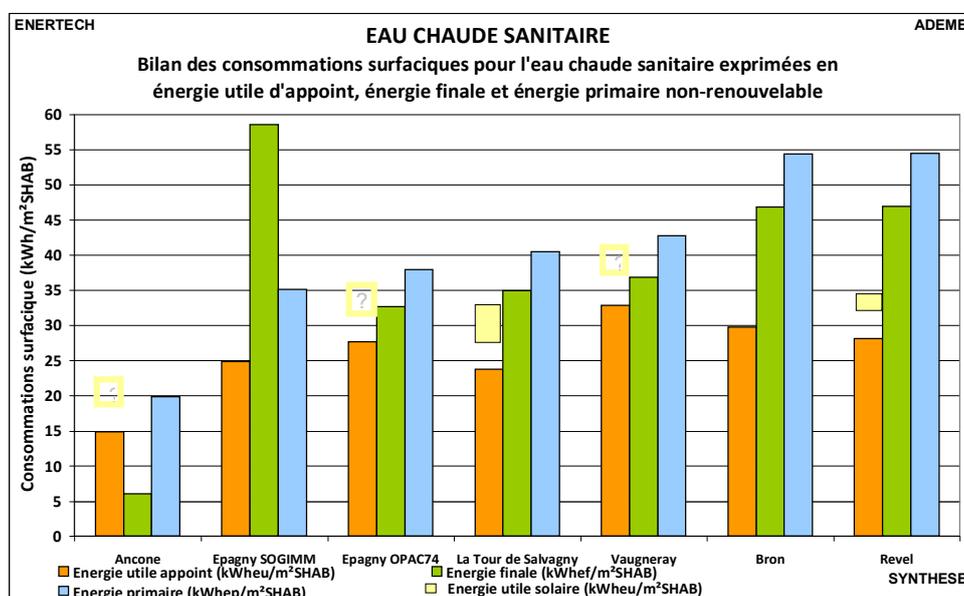


Figure 4.1 : Consommations d'eau chaude sanitaire

Les résultats sont bien sûr variables selon les bâtiments. Les paramètres influant sur les consommations d'eau chaude sanitaire sont nombreux et il est délicat de les quantifier précisément. Ils peuvent être liés à la qualité ou aux (dys)fonctionnements des systèmes ou matériaux installés, à des mauvais réglages comme à des comportements inappropriés des occupants.

Quelques grandes lignes d'analyse peuvent cependant être tirées à partir des chiffres présentés ci-dessus :

- L'étude des **besoins en énergie utile** est délicate du fait des difficultés pour quantifier les apports solaires, inconnus dans 3 cas sur 5.
- En énergie finale ou primaire, on retrouve les **mêmes tendances que pour le chauffage**, démontrant que le soin apporté à la performance énergétique d'un bâtiment se retrouve dans l'ensemble des postes de consommations.
- Le bâtiment d'Ancône présente à nouveau assez nettement les meilleurs résultats, avec **2,5 fois moins de consommations (d'énergie primaire) que les bâtiments de Revel ou Bron.**

4.3 Paramètres influant sur la consommation

4.3.1 Influence des paramètres climatiques

Le niveau d'ensoleillement (pour le solaire thermique) et la température d'eau froide sont des paramètres ayant une influence importante sur les consommations d'eau chaude sanitaire. En particulier, comme dans toutes les campagnes de mesure réalisées, on observe **que la température de l'eau froide réelle est systématiquement supérieure à la température d'eau froide moyenne prise en compte notamment pour le dimensionnement des installations solaires** (jusqu'à plusieurs degrés d'écart en moyenne sur l'année).

4.3.2 Niveaux de puisage d'eau chaude sanitaire

Note méthodologique :

- 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. On a donc rapporté les volumes mesurés à la température de référence de 55°C. On s'appuie pour cela sur les températures d'eau froide et de départ d'eau chaude mesurées.

Niveau de puisage ECS	MESURES			CALCULS THEORIQUES		
	Volume ECS puisée à 55°C (en L _{55°C} /jour/lgt)	Débit horaire de pointe (en L _{55°C} /heure/lgt)	Volume de pointe à 10min (en L _{55°C} /10min/lgt)	Volume ECS puisée à 55°C (en L _{55°C} /jour/lgt)	Débit horaire de pointe (en L _{55°C} /heure/lgt)	Volume de pointe à 10min (en L _{55°C} /10min/lgt)
La Tour de Salvagny	64	?	?	91		
Vaugneray	65	?	?	70		
Ancone	73	52	27	88	90	38
Revel	79	43	22	104	70	29
Epagny SOGIMM	80	35	13	91	58	24
Bron	87	19	7	167	48	20
Epagny OPAC74	102	56	17	82	95	52

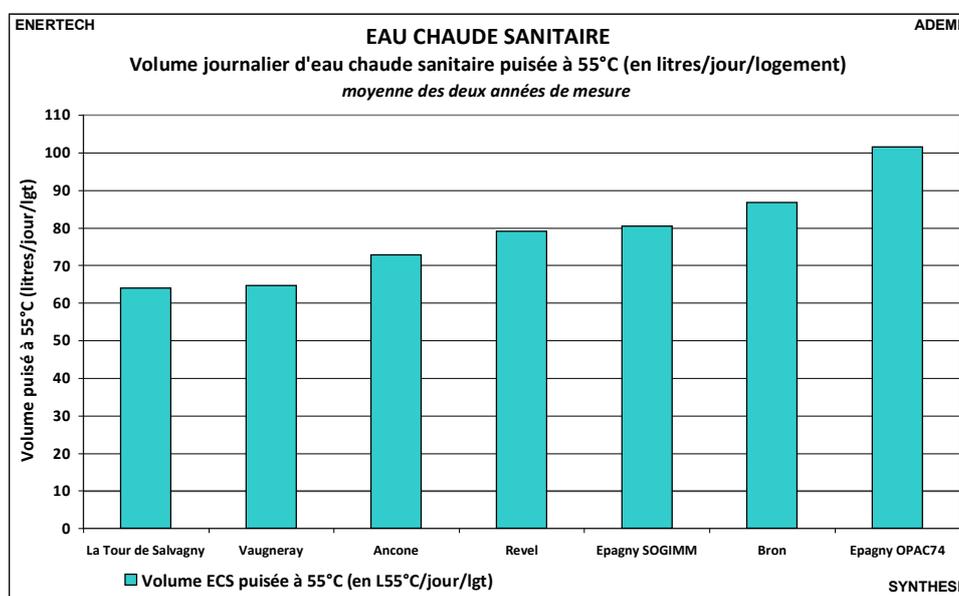


Figure 4.2 : Volumes d'eau chaude sanitaire puisés

Les volumes puisés, rapportés à une température de 55°C, diffèrent sensiblement suivant les bâtiments (consommation comprise entre 60 et 105 litres/jour/logement en moyenne sur le bâtiment). Ces variations peuvent être liées à des aspects comportementaux, à la densité d'occupation du logement, aux éventuels dispositifs de limitation de débit sur les installations terminales, à la configuration des réseaux de distribution ou encore à des dysfonctionnements de la régulation des installations (par exemple sur le bâtiment d'Epagny OPAC 74 où notamment une mauvaise programmation de la pompe de bouclage obligeait les usagers à « vider les tuyaux » afin d'obtenir de l'eau chaude). A noter que nous avons rencontré, au cours de précédentes campagnes de mesures, plusieurs bâtiments présentant des volumes journaliers puisés compris entre 40 et 50 litres_{55°C}/jour/logement (en logement social comme en accession).

Les débits de pointes théoriques sont systématiquement largement surestimés par rapport à la réalité (tableau 4.2), c'est une constatation récurrente de nos campagnes de mesure. Sachant que ces débits de pointe sont déterminants pour le (sur)dimensionnement des installations, il est urgent de revoir les méthodes de calculs prévisionnels. Encore faut-il préciser que ceci concerne un événement unique au cours de l'année. Si on se préoccupait du débit maximum observé pendant 99% de l'année, les valeurs mesurées seraient inférieures d'un facteur 4 à 7 par rapport au débit théorique.

4.3.3 Fonctionnement de l'installation solaire

Note méthodologique :

- Le taux de couverture solaire est ici défini comme le ratio de l'énergie utile solaire mesurée par l'énergie utile totale (appoint + solaire)

Opération	Surface installée par logement (m ² /lgt)	Productivité moyenne (kWh _{eu} /m ² _{capteurs})	Taux de couverture solaire (% _{énergie utile})
Ancône	1,7	522	44%
La Tour de Salvagny	1,6	228	18%
Revel	1,7	82	7%
Vaugneray	1,0	?	?
Epagny OPAC74	1,7	?	?
Bron	/	/	/
Epagny SOGIMM	/	/	/

Figure 4.3 : Comparaison des résultats de la production solaire

Cinq des bâtiments présentent une installation solaire thermique, au dimensionnement similaire (1,6-1,7 m²_{capteurs}/logement) excepté le cas de Vaugneray (1,0 m²_{capteurs}/logement). Dans deux cas nous ne connaissons pas la production solaire du fait de dysfonctionnements de comptage.

Les **résultats sont très mitigés**. Mis à part le cas d'Ancône qui présente une très bonne productivité de capteurs et une bonne couverture solaire, dans tous les autres cas la production solaire a été handicapée par des dysfonctionnements (conception défectueuse, débits parasites d'appoint, mauvaise programmation, probable encrassement de l'échangeur, puisages inférieurs aux hypothèses de dimensionnement, etc). Les **marges d'amélioration sont considérables** et devront être mises en œuvre au plus vite (voir détails pour chaque rapport).

4.3.4 Fonctionnement de l'installation d'appoint ECS

Les puissances thermiques maximales appelées sur le circuit d'appoint ECS confirment les conclusions précédentes liées au **surdimensionnement généralisée des installations**, d'autant plus que l'inertie importante des bâtiments autorise à couper le chauffage pour mettre la priorité sur l'ECS. Il n'est donc pas nécessaire de prévoir une surcapacité pour la production d'eau chaude sanitaire (à valider au cas par cas).

Les **consommations d'appoint (en énergie utile) par m³ d'ECS délivrée à 55°C**, qui illustrent l'efficacité de la production d'appoint ECS, sont **extrêmement variables** suivant les cas (voir figure 4.4 ci-dessous). Avec des valeurs autour de 50 kWh_{eu}/m³_{55°C} pour les meilleures opérations, ces consommations volumiques peuvent dériver d'un facteur supérieur à 3 pour les opérations qui dysfonctionnent fortement (mise en œuvre défectueuse, mauvaise maintenance, pertes importantes, etc).

Consommation volumique	Consommation volumique appoint (kWh _{eu} /m ³ _{55°C})
Epagny SOGIMM	48
Epagny OPAC74	49
Ancône	51
Revel	68
Bron	68
La Tour de Salvagny	139
Vaugneray	182

Figure 4.4 : Comparaison des résultats de l'appoint ECS

4.3.5 Fonctionnement de la distribution ECS

Le tableau 4.5 ci-dessous présente les résultats moyens sur les deux années de mesure des températures de distribution ECS, mais ces moyennes cachent trop de disparités au sein de chaque opération pour pouvoir en tirer des conclusions (se reporter à chaque rapport pour plus de détails). A noter que pour l'opération de Vaugneray les pertes de bouclages mesurées représentent plus de 60% de l'énergie utile d'appoint fournie au système, ce qui montre l'importance du soin à apporter à la conception et au calorifugeage de ce réseau de bouclage.

Températures de distribution ECS	T°C moyenne départ ECS (°C)	T°C moyenne retour bouclage (°C)
Revel	56,5	54,9
Vaugneray	53,3	51,7
Bron	53,1	47,3
Epagny OPAC74	53,0	/
La Tour de Salvagny	52,9	50,2
Epagny SOGIMM	52,9	/
Ancône	48,9	47,5

Figure 4.5 : Comparaison des températures de distribution ECS

CHAPITRE 5 : Electricité des services généraux

5.1 Consommation annuelle totale

Note méthodologique :

- Le graphique de la figure 5.1.1 présente la consommation électrique annuelle, ramenée à la surface habitable, moyennée pour les deux années de mesure.
- En cas d'arrêt des installations (notamment de ventilation) durant certaines périodes des années de mesure, des consommations extrapolées pour établir une consommation annuelle ont été définies par opération, ce sont ces valeurs qui ont été considérées ici.

ELECTRICITE SG	Conso annuelle moyenne (kWh _{él} /m ² _{SHAB} /an)
Revel	6,0
Bron	11,3
Vaugneray	11,8
Ancone	13,5
La Tour de Salvagny	13,8
Epagny OPAC74	15,1
Epagny SOGIMM	19,2

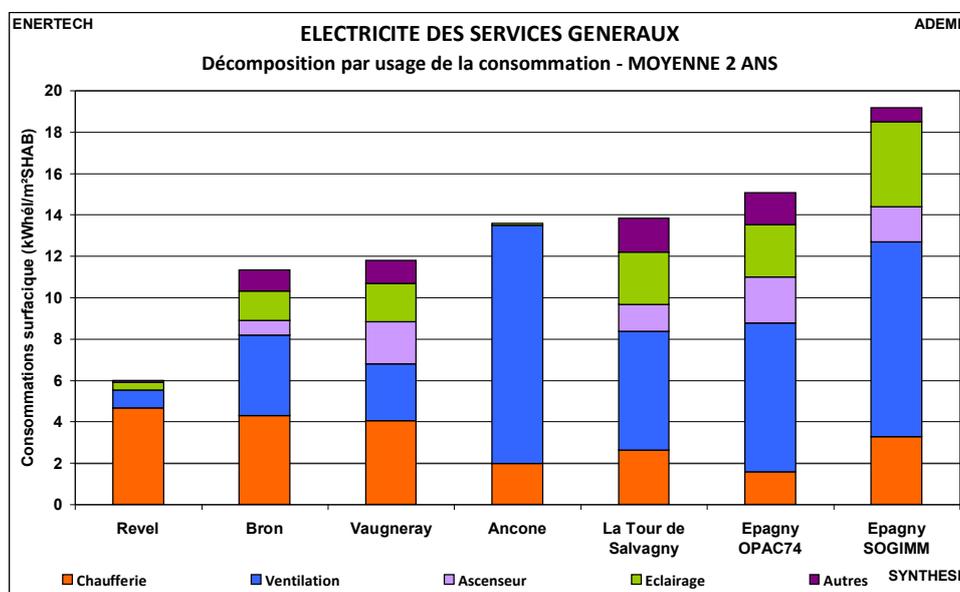


Figure 5.1 : Consommation électrique des services généraux

Les **consommations totales d'électricité des services généraux sont variables entre les bâtiments** (facteur de 1 jusqu'à 5) voir figure 5.1 ci-dessus. Les causes de ces variations sont multiples (parking, éclairage extérieur, type de ventilation, matériel utilisé, réglages, maintenance de certains composants, etc). A titre d'exemple, la ventilation n'a pas fonctionné à Revel, ce qui explique ses très faibles consommations.

Le poste chaufferie est constitué des pompes pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, les armoires de commandes ainsi que la consommation électrique des chaudières. La consommation d'éclairage regroupe tous les éclairages y compris extérieur et parkings s'ils existent. On observe la **très grande disparité de répartition des différents usages** entre les bâtiments. La ventilation est le principal poste de consommation.

L'analyse détaillée de chacun de ces postes sera effectuée dans la section suivante.

5.2 Consommation par usage

5.2.1 Ventilation

Ce poste est important. Il s'agit en général du premier poste de consommation des usages électriques (voir figure 5.1). Comme le montre le tableau 5.2 ci-dessous, la ventilation représente jusqu'à 85% du total des consommations des services généraux pour l'opération d'Ancône (en moyenne entre 35 et 50% pour les autres opérations double flux). La ventilation à Revel n'a pas fonctionné correctement, ce qui explique les consommations quasi-nulles (pas de service rendu).

Ventilation	Type de ventilation	Consommation ventilation annuelle (kWh _{él} /m ² _{SHAB})	% des consommations d'électricité SG (moyenne 2 ans)	Taux moyen de renouvellement d'air (Vol/h)	Taux moyen de CO2 mesuré (ppm)
Revel	Double flux	0,9	15%	(0,14)	/
Vaugneray	HygroB	2,8	23%	0,48	569
Bron	Double flux	3,9	34%	0,48	653
La Tour de Salvagny	Double flux	5,8	42%	0,40	658
Epagny OPAC74	Double flux	7,2	48%	?	630
Epagny SOGIMM	Double flux	9,4	49%	1,26	571
Ancône	Double flux	11,5	85%	0,69	/

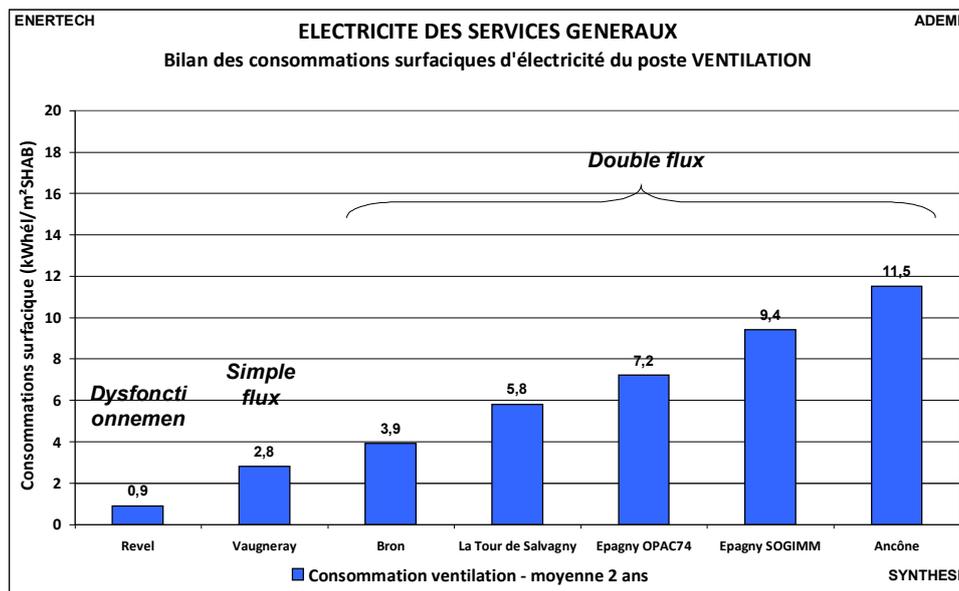


Figure 5.2 : Consommation électrique de la ventilation

La ventilation de Vaugneray est de type simple flux, le reste des opérations étant en double flux. En l'état actuel des techniques utilisées, les consommations électriques surfaciques des double-flux devraient se situer autour de 4-5 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an pour des débits sanitaires respectés en permanence (0,5-0,6 Vol/h), et autour de 1,5-2 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an pour les simple-flux (correspondant aux meilleurs opérations observées).

On voit que **les consommations mesurées dépassent de beaucoup ces valeurs-cibles**. Pourtant **il est tout à fait possible de mettre en œuvre des systèmes de ventilation double flux consommant peu, comme c'est le cas de l'opération Bron** : optimisation des réseaux (faibles pertes de charge), matériel correctement choisi pour travailler à rendement maximal, débits et régulation soigneusement réglés, maintenance etc.

Les **dérapages de consommation** sur les autres opérations sont liées à de multiples facteurs (voir les rapports particuliers de chaque bâtiment pour plus de détails) :

- réseaux à fortes pertes de charge
- réseaux non-équilibrés aérauliquement
- sur-débits importants
- défauts d'étanchéité importants impliquant des infiltrations ou exfiltrations massives tout au long des réseaux aérauliques (constatation récurrente)
- encrassement du filtre d'air neuf (l'impact de ce phénomène très fréquent lié à un déficit de maintenance est particulièrement important)
- absence ou erreur de réglage ou régulation déficiente
- mauvais choix de matériel
- multiples défauts de maintenance aux conséquences importantes (clapets fermés, inversion du sens du ventilateur, courroie cassée, etc)
- etc

Ces dysfonctionnements ne sont pas rédhibitoires, mais demandent un soin particulier dans la conception, la mise en œuvre et la maintenance des installations double-flux.

De nombreux dysfonctionnements affectent également les ventilations simple-flux (similaires pour la plupart à ceux rencontrés pour les double-flux). Une constatation notable des campagnes de mesure concerne la **ventilation hygroB qui ne joue absolument pas son rôle** et se comporte dans la réalité comme une ventilation autoréglable (pas de variations de débit au caisson), ce qui est positif d'un point de vue sanitaire (débits hygiéniques suffisants respectés en permanence) mais qui n'apporte **aucune réduction de consommation d'énergie de chauffage**.

Les mesures de CO₂ dans les logements montrent des résultats satisfaisants (voir tableau 5.2 ci-dessus). En moyenne tous les bâtiments sont classés dans la catégorie d'excellente qualité d'air, mais ces moyennes recouvrent des situations diverses, qui sont détaillées dans chaque rapport particulier.

5.2.2 Chaufferie

Ce poste regroupe la consommation de(s) chaudière(s), des pompes pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire solaire ou appoint, les différents systèmes de régulation et de commande. La figure 5.3 présente les consommations observées sur les différentes opérations.

Chaufferie	Consommation chaufferie annuelle ($\text{kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$)	% des consommations d'électricité SG (moyenne)
Epagny OPAC74	1,6	10%
Ancône	2,0	15%
La Tour de Salvagny	2,7	19%
Epagny SOGIMM	3,3	17%
Vaugneray	4,0	34%
Bron	4,3	38%
Revel	4,7	78%

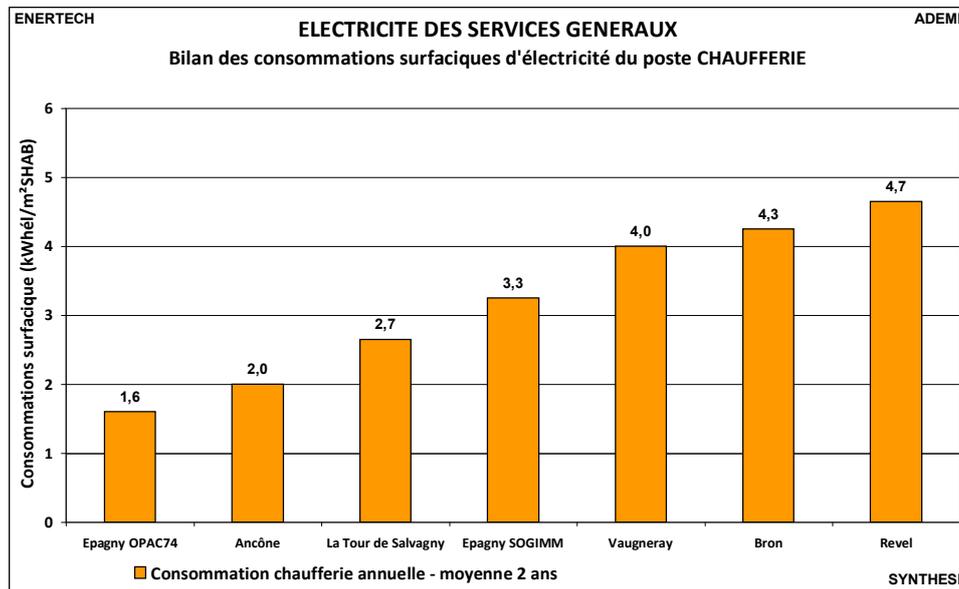


Figure 5.3 : Consommation d'électricité des chaufferies

Les consommations surfaciques des chaufferies varient du simple au triple et représentent une part très variable de la consommation des services généraux (de 10% à 78% des consommations !).

Il est délicat de comparer ces cas particuliers entre eux, les dysfonctionnements ayant conduit à des surconsommations sont nombreux et variés (à titre d'exemple : surdimensionnement des pompes de bouclage ECS, pas d'asservissement des pompes de production ECS, fonctionnement permanent (pas de fonction ECO) des pompes de chauffage, absence de réglage malgré des régulations terminales autorisant les variations de débit, etc).

En dehors de gros dysfonctionnements, les consommations surfaciques de la chaufferie semblent comprises entre 2 et 4 $\text{kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ (en ordre de grandeur autour de 0,5 $\text{kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ pour les pompes de chauffage, 1 à 1,5 $\text{kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ pour les pompes d'appoint ECS, contre 0,1 à 0,2 $\text{kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ pour les pompes solaires et 0,2 à 0,4 $\text{kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ pour la pompe de bouclage, le reste pour la génération, la régulation et la commande).

5.2.3 Eclairage

Eclairage	Consommation éclairage annuelle (kWh _{él} /m ² _{SHAB})	% des consommations d'électricité SG (moyenne)
Ancône	0,1	0%
Revel	0,4	6%
Bron	1,4	13%
Vaugneray	1,8	16%
La Tour de Salvagny	2,6	18%
Epagny OPAC74	2,6	17%
Epagny SOGIMM	4,1	21%

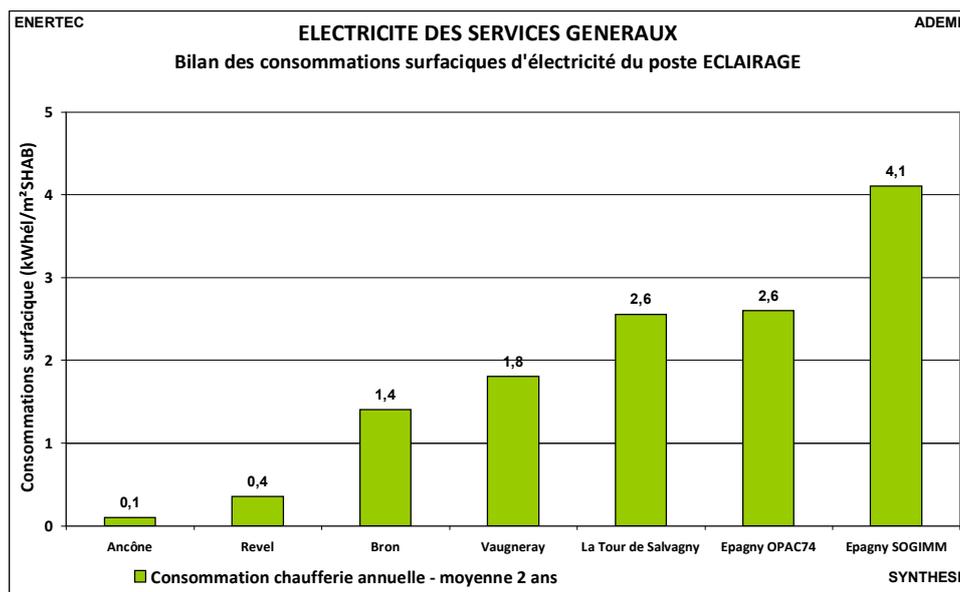


Figure 5.4 : Consommation d'électricité de l'éclairage

Les consommations d'éclairage sont très variables selon les bâtiments, de nombreux facteurs impactent cette consommation : distribution du bâtiment, présence d'un parking, présence d'éclairage extérieur, puissance installée, durée de temporisation, durée d'utilisation, etc... Nous renvoyons à chaque rapport pour plus de détails selon les bâtiments. Les usages les plus importants en proportion étant la consommation du parking et de l'éclairage extérieur (le cas échéant).

5.2.4 Ascenseur

Ascenseur	Consommation ascenseur annuelle (kWh _{el} /m ² _{SHAB})	% des consommations d'électricité SG (moyenne)
Revel	/	0%
Ancône	/	0%
Bron	0,7	6%
La Tour de Salvagny	1,3	9%
Epagny SOGIMM	1,7	9%
Vaugneray	2,1	17%
Epagny OPAC74	2,2	15%

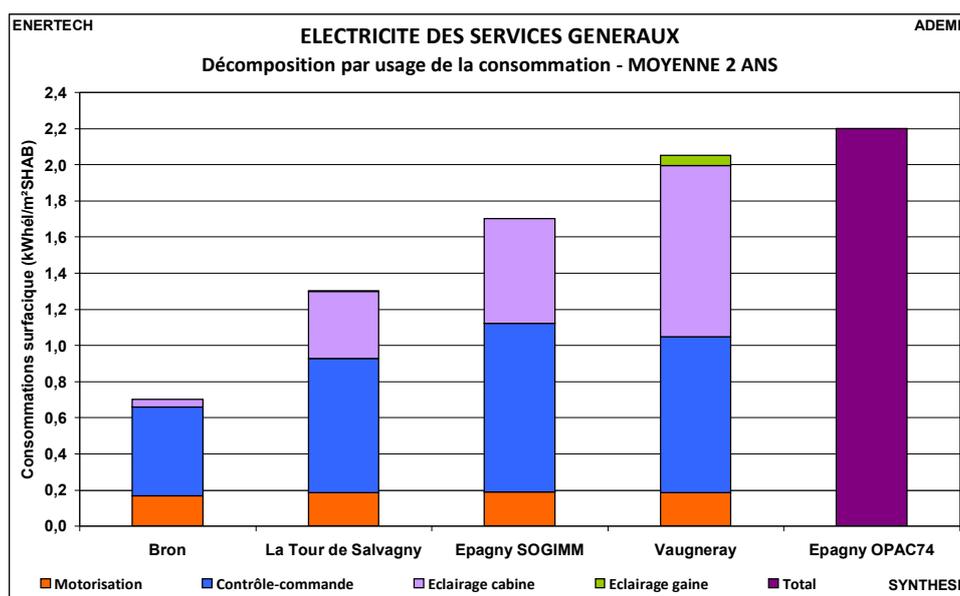


Figure 5.5 : Consommation d'électricité des ascenseurs

Les consommations surfaciques du poste ascenseur varient du simple au triple selon les bâtiments. Le matériel choisi ou le type d'asservissement de l'éclairage cabine sont à l'origine de ces différences.

Le graphique 5.5 montre à nouveau qu'après avoir fait d'énormes progrès sur la motorisation, les **fabricants d'ascenseurs doivent maintenant s'attaquer au problème de la veille de leurs armoires de contrôle-commande**. En effet la motorisation représente au maximum 24% des consommations, tandis que le poste régulation-commande en absorbe au minimum 42%. **L'éclairage de cabine non-asservi à la présence d'utilisateurs coûte également cher en terme de consommation (jusqu'à 46% du total !)**.

CHAPITRE 6 : Electricité des parties privatives

Note méthodologique :

- *L'ensemble des compteurs des logements instrumentés ont été suivi au pas de temps 10 minutes, ainsi que la plupart des usages des tableaux électriques. Des mesureurs ont également été posés spécifiquement sur les appareils de froid, audiovisuel et informatique.*

Les consommations d'électricité des parties privatives sont très variables au sein des différents logements suivis dans chaque bâtiment. Et comme on le voit sur le tableau 6.1 ci-dessous, la moyenne des consommations par bâtiment varie également grandement entre les différentes opérations.

A noter que la consommation d'électricité privative à Ancône est complètement en dehors des moyennes habituellement observées dans les autres logements (et dégrade d'ailleurs entièrement le bilan par ailleurs exceptionnel du bâtiment).

Electricité des parties privatives	Consommation privative annuelle (kWh _{el} /logt)
Bron	1617
Epagny OPAC74	1678
Vaugneray	1888
Revel	1919
Epagny SOGIMM	2112
La Tour de Salvagny	2207
Ancône	4096

Figure 6.1 : Consommations d'électricité des parties privatives

CHAPITRE 7 : Etude du confort d'été

Note méthodologique :

- Dans ce paragraphe on définit l'été comme la période allant du **15 juin au 15 septembre**.
- La période d'été considérée est par conséquent : du 15/06/2011 au 15/09/2011
- Pour chaque logement, la T°C moyenne du logement est calculée comme la moyenne des températures des pièces instrumentées : séjour + chambre(s)

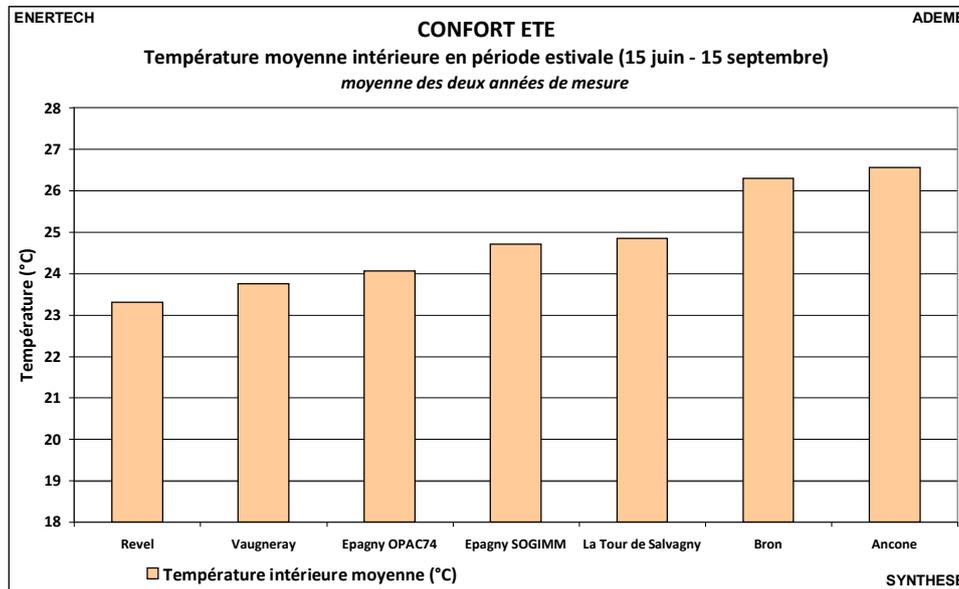


Figure 7.1 : Températures intérieures moyennes pendant l'été

De manière générale, le confort d'été est plutôt satisfaisant dans les bâtiments suivis. Seuls deux bâtiments connaissent des problèmes de surchauffe estivale, avec des dépassements notables des températures au-delà de 28°C : Bron et Ancône (respectivement 177 et 418 heures annuelles au dessus de 28°C en moyenne sur les deux années). Pour les autres, les températures moyennes sont situées entre 23°C et 25°C pendant l'été et ne connaissent des températures au-dessus de 28°C qu'épisodiquement. Mais ce sont aussi des bâtiments qui sont situés en altitude ou en zone de montagne. Bron (banlieue lyonnaise) et Ancône (sud Drôme) sont beaucoup plus enclins aux surchauffes du fait de leur localisation géographique, ce qui se traduit logiquement par des températures moyennes et extrêmes plus élevées.

Mais le climat n'est pas le seul facteur, les **apports internes dues aux consommations électro-domestiques** ont un fort impact, par exemple à Ancône où elles sont particulièrement élevées.

Le bon usage des **outils de gestion du confort d'été** (aération nocturne, occultation diurne) installés sur tous les bâtiments est également déterminant : au sein des bâtiments les températures entre logements peuvent varier sensiblement de ce fait.

CHAPITRE 8 : RESULTATS – CHIFFRES CLES

Consommation totale

Note méthodologique :

- On considère les consommations en énergie primaire non-renouvelable exprimée avec des coefficients physiques de conversion (voir paragraphe 2.2)
- On considère les moyennes des deux années de mesure

BILAN EN ENERGIE PRIMAIRE (kWh _{ep} /m ² _{SHAB})	Chauffage	Eau chaude sanitaire	Electricité des services généraux	Sous-total hors consommation électrodomestique	Electricité domestique	TOTAL
Vaugneray	31,9	42,8	38,5	113	94,5	208
Epagny SOGIMM	23,4	35,1	62,7	121	103,8	225
Ancône	14,7	19,9	44,2	79	147,6	226
Revel	77,2	54,5	19,6	151	90,2	241
Bron	87,9	54,4	37,0	179	73,1	252
Epagny OPAC74	82,1	37,9	49,2	169	84,1	253
La Tour de Salvagny	85,7	40,5	45,2	171	105,4	277

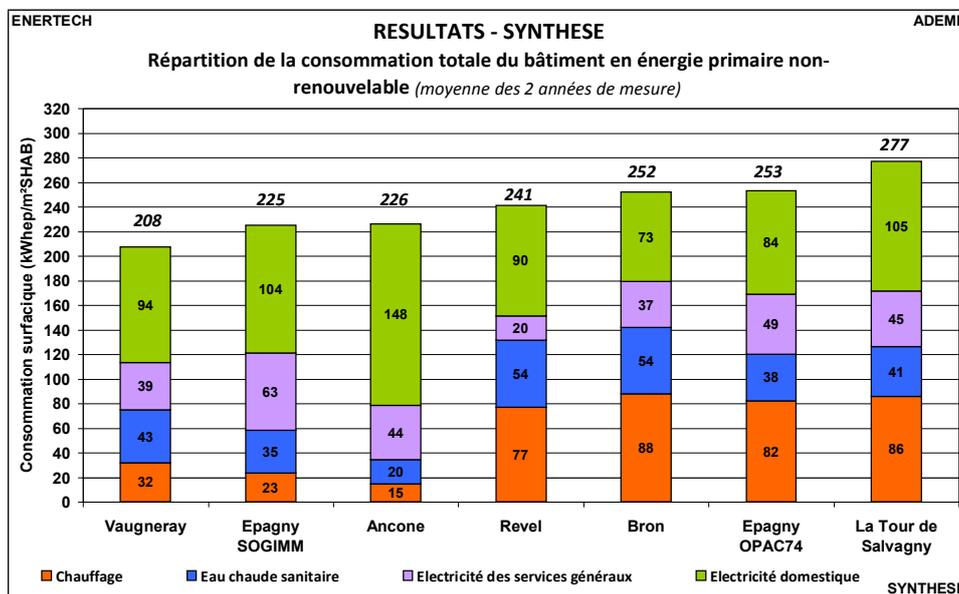


Figure 8.1 : Consommations totales en énergie primaire

Le bilan exprimé en énergie primaire non-renouvelable représente l'impact environnemental du bâtiment et la pression exercée sur les ressources naturelles. Malgré de très fortes disparités dans la décomposition par poste, **les consommations totales en énergie primaire apparaissent finalement relativement proches entre les différents bâtiments.**

A noter que l'on considère alors représentatives du bâtiment les consommations électrodomestiques de l'échantillon de logements suivis.

Hors consommation électrodomestique, le bâtiment d'Ancône présente de très loin le meilleur bilan (79 kWh_{ep}/m²_{SHAB}/an), avec des consommations environ deux fois moindres que

les bâtiments chauffés au gaz (entre 151 et 179 kWh_{ep}/m²_{SHAB}/an), et encore 30% de moins que les deux bâtiments chauffés au bois malgré le coefficient de conversion en énergie primaire très favorable, de façon logique, à l'usage bois (113-114 kWh_{ep}/m²_{SHAB}/an). **Malheureusement ce bilan exceptionnel est intégralement gommé par de catastrophiques consommations électrodomestiques** (60% supérieures aux moyennes nationales en logement collectif). Ces consommations électrodomestiques représentent presque le double du total des consommations du logement hors parties privatives.

En énergie primaire, l'électricité domestiques est le premier poste de consommation dans quasi tous les bâtiments et représentent jusque 10 fois la consommation de chauffage, ce qui montre l'urgence d'agir sur l'explosion de ces consommations électrodomestiques.

Mis à part Ancône, les **consommations de chauffage sont encore trop élevées**, autour de 80 kWh_{ep}/m²_{SHAB}/an pour les bâtiments chauffés au gaz et entre 20 et 30 kWh_{ep}/m²_{SHAB}/an pour les bâtiments utilisant le combustible bois⁵. **Même constat pour l'eau chaude sanitaire**, avec 32 kWh_{ep}/m²_{SHAB}/an pour le bâtiment utilisant du bois et entre 38 et 54 kWh_{ep}/m²_{SHAB}/an pour les bâtiments utilisant le gaz en appoint.

Les **consommations d'électricité des services généraux varient du simple au triple** selon les bâtiments, avec des moyennes autour de 40 kWh_{ep}/m²_{SHAB}/an. D'importantes marges de manœuvre existent pour réduire ces consommations des services généraux.

⁵ Rappelons que le choix du combustible bois n'exonère pas d'un travail soigné au niveau de la qualité des enveloppes des bâtiments ainsi qu'au niveau des systèmes de chauffage et production d'eau chaude sanitaire. Car d'une part le bois reste une ressource rare et donc précieuse, et d'autre part on ne peut pas préjuger du devenir du chauffage au bois mis en place. Si demain il est remplacé par un chauffage par hydrocarbure, la faiblesse de l'enveloppe ne sera pas modifiable et la consommation en énergie primaire du bâtiment sera considérable (13 fois plus élevée avec du gaz).

CHAPITRE 9 : Les enseignements stratégiques

9.1 Réflexion sur l'évolution des réglementations et des labels

Les bâtiments suivis ont tous été soumis soit à la RT 2000, soit à la RT 2005. Aucun n'a été construit sous RT 2012. Aujourd'hui, avec la mise en application de cette dernière, l'évolution réglementaire (majeure) a donc déjà eu lieu. L'étape suivante est la réglementation de 2020 dont on sait déjà qu'elle ne sera pas qu'énergétique mais incorporera des contraintes acoustiques, de qualité de l'air, d'énergie grise, etc.

Quels sont les aspects saillants qui apparaissent à la lumière de ce travail de suivi ?

En préalable à tout ce qui suit, il faut rappeler la taille plutôt réduite de l'échantillon d'observation, ce qui nécessite de la prudence lors de l'interprétation des résultats, même si les résultats obtenus apparaissent assez homogènes.

Au regard de la réglementation et les labels, ces premières observations permettent de conclure que :

- il y a une logique hiérarchique bien respectée entre la performance réelle et la performance réglementaire définie au travers les exigences des différents labels.
- Lorsque les besoins sont exprimés en énergie utile, on observe également une bonne hiérarchie puisque le bâtiment passif est celui qui a les plus faibles valeurs.
- Il n'y a pas une bonne corrélation entre les consommations réglementaires et les consommations réelles (ce point fera l'objet de l'analyse présentée au paragraphe 9.2.2).
- le choix d'exprimer les bilans en énergie primaire non renouvelable (ce caractère non renouvelable est implicite, mais il faut le rappeler), choix acté pour la première fois dans la RT 2012, apparaît ici comme une évidence de bon sens. En exprimant le poids des consommations, non pas sur l'énergie finale ce qui ne constituerait que la moitié du chemin parcouru, mais sur l'énergie primaire non renouvelable, on fournit une image exacte de l'impact de chaque bâtiment sur les ressources naturelles. Que le bois ait un impact faible sur la ressource primaire est dès lors bien normal puisque c'est une énergie renouvelable. Ceci n'est pour l'instant pas le cas du gaz dont l'origine actuelle est fossile, mais qui pourra demain être lui-même une énergie renouvelable produite à partir de méthanisation ou de méthanation. En revanche, il ne faudra pas que les réglementations futures permettent au bois de dégrader la consommation finale des bâtiments (en isolant moins) au motif de son faible impact en énergie primaire. Il faut ménager la ressource, fût-elle renouvelable, et cette règle est essentielle pour le futur.

Mais ce qui précède met en évidence une autre caractéristique intéressante. On aurait pu croire que, dans l'expression de la performance du bâtiment, le passage en énergie primaire handicape l'électricité du fait du coefficient de conversion primaire/finale proche de 3 (notamment dans cette étude où nous avons utilisé le coefficient de conversion réel et non

conventionnel). Or il n'en est rien. Au contraire, **dans le panel des bâtiments suivis, la seule opération à l'électricité est ici, de très loin, la plus performante.** Et ce cas n'est pas une exception, c'est la règle. Certes le bâtiment est de type passif, mais surtout, l'électricité a été utilisée pour ses spécificités, celles qui lui confèrent son rang de noblesse et en font un vecteur énergétique à part. Dans cette opération a été mise en œuvre une PAC sur nappe phréatique avec un différentiel faible entre températures des sources chaude et froide, ce qui garantissait *ipso facto* un coefficient de performance très élevé (mesuré à 6,6 sur un an). Cette technique bien connue, si elle est correctement mise en œuvre, permet d'utiliser l'énergie très abondante présente dans l'air, l'eau ou le sol environnants, bien qu'elle soit à une température insuffisante. En effet, grâce à un cycle de transformations thermodynamiques astucieux, la pompe à chaleur est le seul dispositif existant permettant de relever le niveau de température d'une énergie, et donc d'améliorer la qualité thermodynamique de cette énergie. Le chauffage des locaux devient possible. Avec le coefficient de performance atteint sur l'opération d'Ancône, 85 % de la chaleur du chauffage provient de la nappe phréatique et 15 % de l'électricité consommée.

Cet exemple confirme avec force tout le bien-fondé de la nouvelle expression de la performance énergétique des bâtiments en énergie primaire et non en énergie finale telle qu'elle a été adoptée dans la RT 2012 (et dans tous les textes sur l'énergétique des bâtiments depuis 2007). En exprimant les résultats en énergie finale, on ne considère qu'une partie du problème énergétique nationale : celui de la qualité thermique du bâtiment et des systèmes. En exprimant les consommations en énergie primaire, on inclut dans la réflexion et l'approche la question de la chaîne énergétique en amont, ce qui permet de découpler, comme dans le cas de la pompe à chaleur, l'efficacité réelle de la chaîne énergétique complète. A titre d'exemple, en énergie finale il faudrait 320 kWh d'énergie primaire pour fournir par chauffage électrique direct 100 kWh de chaleur à un bâtiment. Mais avec la pompe à chaleur du projet d'Ancône, il n'en faut plus que 48, soit 6,6 fois moins. Cet exemple montre à lui seul qu'**il serait suicidaire et irrationnel, comme le réclament certains, de revenir à une expression en énergie finale de la performance énergétique des bâtiments.** Nous devons considérer que l'expression en énergie primaire est la seule qui poussera chaque technologie dans ses « retranchements » en l'obligeant à exploiter ce qu'elle recèle de spécifique et d'exceptionnel. Ce choix pousse chacun vers l'excellence plutôt que le maintenir dans la médiocrité. C'est précisément cette approche qui a conduit il y a plus de trente ans les générateurs à combustible vers la condensation. Dans la situation de crise énergétique et climatique mondiale actuelle, nous avons l'obligation d'être exigeants envers les technologies afin qu'elles produisent ce qu'elles ont de meilleur. A défaut, on risque de reconduire et de pérenniser des situations de rente ou de monopole confortables certes, mais parfaitement contre productives pour la nation.

Dernier élément de compréhension à verser au débat : le coefficient de conversion de l'électricité en énergie primaire est parfois perçu comme un coefficient « ajustable » ou négociable, une sorte de taxe politique dont on a affublé l'électricité de manière arbitraire. Lourde erreur. Il s'agit d'un coefficient purement physique traduisant la réalité des transformations énergétiques permettant le passage d'énergie primaire en électricité, notamment lorsqu'on procède à la transformation de chaleur en travail (cas des centrales thermiques, quelle que soit la source de chaleur) et qu'on est soumis, qu'on le veuille ou non, au second principe de la thermodynamique et au rendement de Carnot. De façon conventionnelle, ce coefficient de conversion vaut 2,58. Mais la valeur réelle et physique de ce

coefficient est en France de l'ordre de 3,2 (il peut fortement varier d'un pays à l'autre en fonction des modes de production de l'électricité). La principale cause de cette valeur élevée est à chercher dans la production de l'électricité à partir de chaleur, quel que soit le mode de production de chaleur (gaz, fioul, tourbe, charbon, nucléaire, solaire, etc). Le rendement thermodynamique de cette transformation, défini par Carnot, est toujours assez médiocre, car il dépend de la température de la source chaude (en gros il s'agit de celle de la chaudière), si bien qu'il s'étend d'environ 30% pour les centrales nucléaires à environ 50 % pour les centrales au gaz. Notre production d'électricité étant majoritairement d'origine nucléaire, cela signifie qu'il faut 3,2 kWh de chaleur (produit à partir d'énergie primaire) pour obtenir 1 kWh d'électricité, le reste de cette énergie étant évacué par les tours de refroidissement qui évapore l'eau des rivières avec cette énergie résiduelle.

On comprend immédiatement l'importance du maintien de ce coefficient de conversion pour stimuler les producteurs d'électricité. Pour réduire ce coefficient, il faudrait augmenter le rendement général de la production d'électricité, ce qui serait une bonne chose, et pourrait se faire de deux manières vertueuses :

- en récupérant dans des réseaux de chauffage urbain même très éloignés (il s'agit d'énergie de toute façon perdue !) tout ou partie de cette chaleur actuellement évacuée dans l'atmosphère,
- Ou en recourant à des modes de production d'électricité par **conversion directe** (photopile, éolienne, hydraulique, etc).

Faire évoluer la valeur du coefficient de conversion électricité/énergie primaire ne pourra donc jamais se faire dans le calcul réglementaire indépendamment de l'évolution des techniques de production de l'électricité. On entend parfois circuler l'idée selon laquelle le chauffe eau électrique pourrait par exemple bénéficier d'un coefficient de 2, voire même de 1. Ce serait totalement absurde et ferait perdre toute cohérence à ce coefficient de conversion « vérité » dont nous avons tous besoin pour orienter nos approches de recherche technologique. Il a longtemps été reproché à la réglementation énergétique du bâtiment d'être décorrélée de la réalité, et bien qu'elle ait un caractère conventionnel par essence, chacun aspire à ce qu'elle constitue le plus possible un reflet de la réalité. Dans cette logique, il semblerait absurde et totalement contre performant de supprimer la référence à l'énergie primaire, ou de réévaluer de manière politique le coefficient de conversion de l'électricité en énergie primaire en lui ôtant ainsi son caractère de réalité physique intangible.

9.2 Réflexions sur les méthodes de calcul les plus pertinentes

9.2.1 Introduction

Depuis leur création en 1974, les différentes réglementations thermiques ont su jouer leur rôle, à savoir de permettre aux pouvoirs publics de vérifier que les bâtiments projetés à la construction étaient bien conformes aux exigences énergétiques générales en vigueur. Il faut se souvenir qu'on est parti d'assez loin puisqu'au début des années 70 la consommation de chauffage des bâtiments dépassait allègrement 300 kWh/m²/an.

Mais avec l'arrivée des bâtiments BBC et de la RT 2012 on assiste à deux changements majeurs :

- les besoins des bâtiments deviennent très faibles, et la part des apports gratuits représente environ la moitié des besoins d'origine. On conçoit qu'il devienne délicat de déterminer avec précision le niveau des consommations futures. En effet, lorsque dans le passé on commettait une erreur de 10 kWh/m²/an sur une consommation de l'ordre de 150 à 200 kWh/m²/an, l'impact relatif n'était même pas visible. Mais quand l'objectif est d'atteindre 50 kWh/m²/an il n'en est plus de même. On peut alors légitimement se poser la question de savoir quels sont les bons outils pour déterminer les consommations résultantes.

- On assiste à une « judiciarisation » accrue dans le secteur du bâtiment, notamment autour de la question énergétique. Il n'a échappé à personne que des spécialistes du droit ont réussi à placer la RT 2012 dans la garantie décennale au motif que les 50 kWh/m²/an spécifiés dans la loi leur apparaissaient comme une obligation de résultat. Cette interprétation toute personnelle se heurte pourtant à une prérogative majeure du calcul réglementaire, rappelée en première page du document, qui précise que ce dernier n'est en rien une méthode de prévision des consommations mais seulement une méthode conventionnelle de détermination de celles-ci.

Ces deux observations portent à penser qu'il est nécessaire de réfléchir en profondeur à la nature des méthodes de calcul des évaluations de consommation des bâtiments futurs. Les professionnels utilisent aujourd'hui abondamment des méthodes conventionnelles, alors que les utilisateurs pensent acquérir des bâtiments dont la consommation leur serait garantie.

Avant d'aller plus loin dans cette prospective, on ne peut qu'être surpris par l'évolution qui s'empare actuellement du bâtiment si on la compare à la situation de l'automobile. Toutes les voitures mises en vente doivent depuis de nombreuses années afficher des consommations conventionnelles. Pourtant il ne vient à l'esprit de personne de vérifier que ces consommations sont réellement atteintes, et encore moins d'attaquer en justice les fabricants de voitures, même lorsqu'il est constaté un écart entre les valeurs mesurées et les consommations conventionnelles. Alors comment le même citoyen devenu propriétaire d'un logement peut-il s'imaginer qu'on va lui garantir une consommation de chauffage et d'eau chaude sanitaire ? Il a bien compris que la consommation de sa voiture dépendait de sa façon de conduire, mais il n'a pas encore compris que la consommation de son logement dépendait également de son comportement et de ses choix en équipements. C'est bien là le problème.

9.2.2 Comparaison des calculs réglementaires et des valeurs mesurées

Comparer les consommations obtenues par le calcul réglementaire et celles obtenues par mesure n'est pas souhaitable, même si c'est une pratique très courante. En effet, le calcul réglementaire est un calcul conventionnel fait de centaines d'hypothèses : la température en journée et celle de la nuit sont fixées, les taux de ventilation en grand et en petit débit le sont également, etc. On conçoit très bien qu'un tel calcul ne peut conduire à la réalité. Il est rendu nécessaire, et cela se comprend bien, afin que l'État puisse contrôler la qualité thermique générale des bâtiments neufs construits. Il est donc hors de question de le remettre en cause.

A-t-il pour autant une légitimité à prévoir ou anticiper les consommations futures ? Certainement pas, car les conditions réelles de fonctionnement d'un bâtiment n'ont rien à voir avec celles du calcul réglementaire. L'analogie évoquée précédemment avec l'automobile permet immédiatement de comprendre cette différence : les usagers ne cherchent pas à comparer leurs consommations réelles aux valeurs de consommations conventionnelles. Il faudrait rapidement arriver à ce qu'il en soit de même dans le bâtiment afin qu'on arrête de comparer à tort la consommation du calcul réglementaire et les mesures qui pourraient être faites. Cette erreur est actuellement commise à peu près par tous les acteurs de la construction. Très peu savent que le calcul réglementaire ne constitue pas une prévision de consommation.

L'idée même de vouloir comparer les deux, conformément au cahier des charges de cette étude, nous semble devoir entretenir cette confusion, ce qui est dommage.

Car le rapprochement des deux grandeurs comporte un certain nombre de difficultés qui ne sont la plupart du temps jamais prises en compte :

1 – il y a bien sûr très peu de chances pour que la climatologie de l'année de mesures corresponde à celle, normalisée, du calcul réglementaire. Mais ceci est presque un détail.

2 - La consommation normalisée est exprimée en énergie primaire, mais avec des coefficients de conversion entre énergie primaire et énergie finale qui sont conventionnels. En d'autres termes il existe une distorsion entre une consommation d'énergie primaire calculée au plus juste de la physique, et la consommation d'énergie primaire du calcul conventionnel. Par exemple, la valeur réelle de la conversion entre énergie primaire et électricité est de 3,27 alors que la valeur prise par convention n'est que de 2,58 ce qui constitue un avantage considérable pour l'électricité et **créé un déséquilibre entre les énergies**. De même prendre la valeur de 1 pour le gaz suppose que du fond du puits jusqu'au lieu de consommation, on n'a consommé aucune énergie pour acheminer ce gaz, l'épurer, etc. Evidemment faux.

Entreprendre de comparer les consommations réelle et réglementaire suppose une correction de ces coefficients de conversion.

3 – Lorsque l'énergie utilisée est un combustible, le calcul réglementaire exprime la consommation en fonction du pouvoir calorifique inférieur de cette énergie. Alors que l'approche physique, réaliste, prendra bien évidemment en compte pour référence le pouvoir calorifique supérieur intégrant l'énergie que l'on peut récupérer par condensation de la vapeur des produits de combustion. Il est totalement incompréhensible, aujourd'hui où les chaudières à condensation sont quasiment devenues la norme, que le calcul réglementaire s'appuie encore sur des références conduisant à utiliser des rendements pouvant être supérieurs à 100 %. **Nous**

recommandons dans les prochaines versions du calcul réglementaire d'adopter définitivement la référence au pouvoir calorifique supérieur.

Mais ce choix rend encore plus compliquée la comparaison entre calcul réglementaire et mesure. En effet les distributeurs de gaz facturent toujours leur énergie en l'exprimant sur le pouvoir calorifique supérieur, ce qui signifie une conversion supplémentaire pour celui qui voudrait comparer sa consommation à celle fournie par le calcul réglementaire.

4 - La référence surfacique du calcul réglementaire est la SHON (pour les réglementations allant jusqu'à la RT 2012, et la SHONRT pour la RT 2012). Mais cette référence n'a qu'un seul mérite : abaisser les consommations spécifiques et laisser penser que les bâtiments sont de bonne qualité. Car la Shon inclut évidemment à chaque étage la surface due à l'épaisseur des murs, mais aussi la surface de locaux non chauffés comme les patios ! Il s'ensuit que la consommation spécifique ainsi exprimée n'a plus aucun sens. *A contrario*, toute l'approche du contrôle métrologique visant à se rapprocher le plus possible de la physique et de la réalité se réfère à la surface correspondant au service rendu, c'est-à-dire la surface habitable pour le logement et la surface utile pour les bâtiments de bureaux.

Comparer le calcul réglementaire et la mesure suppose donc à nouveau une correction imposée par les différences de référence surfacique.

5 – Enfin, les usages de l'électricité pris en compte dans le calcul réglementaire sont difficiles à mesurer car ils ne recouvrent qu'une partie des services généraux, et même sur les usages thermique/ventilation, ils ne prennent en compte que les « auxiliaires » dont la définition n'est pas des plus précise, alors que la seule mesure disponible est celle du total des services généraux. Seules des mesures détaillées discriminant les usages de l'éclairage, isolant la consommation des ascenseurs, n'incluant que la consommation des moteurs de pompes et de ventilateurs à l'exclusion des systèmes régulants pourraient se rapprocher de l'ensemble des usages pris en compte dans le calcul réglementaire.

Enfin, lorsque les grandeurs mesurées auront été converties dans les mêmes unités que les grandeurs réglementaires, il subsistera d'autres raisons pouvant expliquer un écart significatif entre mesures et calcul réglementaire. Pour ne retenir que ce cas particulier, la consommation d'eau chaude sanitaire dépend fortement des habitudes des usagers. On connaît bien la moyenne nationale de consommation. En revanche lorsqu'on s'intéresse à un logement particulier cette valeur moyenne n'a aucun intérêt car les consommations sont distribuées selon une gaussienne et on ignore où se trouve le logement étudié sur cette gaussienne.

Donc, en résumé, pour pouvoir comparer les valeurs réglementaires aux valeurs que nous avons mesurées et traitées, il faut faire subir à celles-ci les opérations suivantes :

Pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, il faut :

- les multiplier par le coefficient de conversion conventionnel énergie primaire/énergie finale de l'énergie concernée,
- les diviser par le coefficient de conversion réel énergie primaire/énergie finale de l'énergie concernée,
- les multiplier par le rapport des surfaces S_{hab}/S_{hon} ,
- les diviser par le rapport « pcs/pci » des pouvoirs calorifiques supérieur et inférieur de l'énergie concernée s'il s'agit d'un combustible.

Pour convertir au format réglementaire les consommations d'électricité mesurée, il faut :

- les multiplier par le coefficient conventionnel énergie primaire/énergie finale de l'électricité (2,58),
- les multiplier par le rapport des surfaces S_{hab}/S_{hon} .

Exemple : sur l'opération de Bron, pour passer d'une consommation de chauffage mesurée de 87,9 en [$kWh_{ep}/m^2S_{hab}/an$] (voir § 3.2, tableau 3.1 4^{ème} colonne) à la valeur de 55,3 [$kWh_{ep}/m^2S_{hon}/an$] figurant dans le tableau de synthèse qui suit, il faut multiplier 87,9 par 1 (coefficient conventionnel pour le gaz), diviser par 1,16 (coefficient réel de conversion), multiplier par 0,8102 (rapport S_{hab}/S_{hon}) et diviser par 1,11 (rapport pcs/pci du gaz).

Pour convertir, sur la même opération, la consommation mesurée de ventilation de 3,9 $kWh_{el}/m^2S_{hab}/an$ (voir § 5.2, tableau 5.2) à la valeur de 8,1 [$kWh_{ep}/m^2S_{hon}/an$] figurant dans le tableau de synthèse qui suit, il faut multiplier 3,9 par 2,58 (coefficient de conversion conventionnel pour l'électricité), et multiplier par 0,8102 (rapport S_{hab}/S_{hon}).

On constate que sans ces corrections de base, il est totalement faux de rapprocher les valeurs de calcul réglementaire et de mesure. Mais même après ces corrections, le rapprochement reste hasardeux....

NB : Dans le tableau qui suit, ce qui est intitulé « Mesures » correspond aux valeurs mesurées et traitées corrigées comme indiqué page précédente.

BILAN EN ENERGIE PRIMAIRE RT (kWh _{epRT} /m ² _{SHON} /an)	Chauffage			Eau chaude sanitaire			Ventilation			Auxiliaires chaufferie			Sous-total hors éclairage		
	Mesures	Calcul RT	Différence mesures/RT	Mesures	Calcul RT	Différence mesures/RT	Mesures	Calcul RT	Différence mesures/RT	Mesures	Calcul RT	Différence mesures/RT	Mesures	Calcul RT	Différence mesures/RT
Bron	55,3	59,2	-7%	34,2	27,5	24%	8,1	2,8	187%	8,9	2,8	216%	106,6	92,4	15%
La Tour de Salvagny	49,9	24,0	108%	23,6	17,0	39%	11,1	25,1	-56%	5,1	0,8	503%	89,7	67,0	34%
Vaugneray	62,0	53,1	17%	24,1	20,0	20%	5,2	7,4	-30%	7,6	3,8	99%	98,8	84,3	17%
Epagny OPAC74	51,4	19,3	167%	23,7	22,2	7%	15,0	10,4	44%	3,3	1,5	117%	93,4	53,4	75%
Epagny SOGIMM	53,7	28,4	89%	43,7	31,8	37%	20,2	12,3	64%	7,0	2,2	219%	124,6	74,7	67%
Revel	53,2	/	/	37,5	/	/	2,0	/	/	10,7	/	/	103,4	/	/
Ancône	10,3	9,3	10%	13,9	10,7	30%	26,3	11,9	121%	4,5	5,2	-13%	55,0	37,1	48%

L'analyse du tableau précédent montre que, une fois l'ensemble des conversions faites, les consommations du calcul réglementaire, quel que soit l'usage, sont toujours, à quelques exceptions près, beaucoup plus faibles que la réalité. En d'autres termes le calcul réglementaire (versions RT 2000 et RT 2005 ici, rappelons-le) est toujours très optimiste.

- Chauffage

L'écart entre valeur mesurée et valeur réglementaire varie de - 7 % à + 168 %. En moyenne l'écart est de + 64 %.

- Eau chaude sanitaire

L'écart entre valeur mesurée et valeur réglementaire varie de + 7 % à + 39 %. En moyenne l'écart est de + 22 %.

- Ventilation

L'écart entre valeur mesurée et valeur réglementaire varie de - 56 % à + 187 %. En moyenne l'écart est de + 55 %.

- Auxiliaires

L'écart entre valeur mesurée et valeur réglementaire varie de - 13 % à + 503 %. En moyenne l'écart est de + 190 %.

- Eclairage

L'écart entre valeur mesurée et valeur réglementaire varie de + 15 % à + 67 %. En moyenne l'écart est de + 43 %.

Au vu de ces résultats, on peut s'interroger sur les causes d'un écart aussi important. Il y a bien sûr la différence méthodologique évoquée dès l'origine (approche conventionnelle, approche par mesure), mais il y a aussi les dysfonctionnements qui ont été observés d'une part, et peut-être surtout la question des comportements et des choix des usagers d'autre part.

9.2.3 La prévision de consommation est-elle possible ?

Il est bien sûr très séduisant de chercher à prévoir les consommations d'un bâtiment. Mais nous avons déjà montré (Rapport Enertech « Ineed – Evaluation des performances énergétiques » – ADEME – Mai 2010) que cet exercice était totalement vain malgré la qualité des outils de modélisation dont nous disposons aujourd'hui. Un bâtiment est extrêmement sensible à la qualité de son enveloppe et de ses équipements, c'est certain, mais il est aussi très sensible au choix et aux comportements de ses usagers. Si la température augmente d'un degré par rapport à la modélisation, la consommation du chauffage peut augmenter de 15 %. Si les usagers se dotent d'équipements électroménagers de mauvaise qualité et surtout les font fonctionner en permanence, l'ensemble des équilibres énergétiques en sera lourdement affecté. Si ces mêmes usagers ouvrent leurs fenêtres pendant plusieurs heures par jour en hiver (ce qui est assez fréquent) on voit mal comment on pourrait prévoir la consommation induite par ce comportement irrationnel.

A la limite, une prévision de consommation au moyen d'un outil performant serait envisageable à condition de connaître avec une très grande précision l'ensemble des paramètres durant une année complète. Autrement dit, on pourrait prévoir une consommation, mais seulement...*a posteriori* ! Oublions donc ce concept et acceptons définitivement l'idée qu'on peut seulement remettre aux usagers un bâtiment capable de

fonctionner à très basse consommation, mais à condition qu'il soit piloté avec la mesure et la sobriété qui s'imposent.

Reste effectivement à mettre en oeuvre tout ce qui permettra de réaliser de tels bâtiments. Et les campagnes de mesures qui viennent d'être faites sont là pour contribuer à cet objectif.

Enfin, de la prévision de consommation à la garantie de performance énergétique il n'y a qu'un pas et nous voudrions en conséquence réitérer notre mise en garde face à ces « garanties de performances énergétiques ». Car elles se fondent sur une prévision de consommation. Or celle-ci se heurte à quelques obstacles majeurs :

- le concepteur ne maîtrise absolument pas certains paramètres déterminants de la consommation d'énergie. Pour le chauffage, c'est la température de consigne. Chaque degré au-delà de la valeur réglementaire de 19°C augmente la consommation de chauffage de 15 %, voire même 20 % et plus pour les BEPOS.

- il ne maîtrise pas non plus les apports internes constitués par les appareils électriques. Or ces consommations électriques finissent presque intégralement en chaleur, si bien que leur volume a un impact direct et important sur la consommation de chauffage (des variations de 10 à 15 kWh/m²/an de celles-ci ont déjà été observées).

- lorsque les installations de ventilation, comme c'est de plus en plus le cas, fonctionnent à vitesse (et débit) variable, il ne connaît pas les régimes exacts et donc les charges afférentes de chauffage,

- il ne dispose évidemment pas de données météo propres au site lui-même, et des écarts très importants ont déjà été observés entre les centres villes et les stations météo pourtant les plus proches. Alors sur quelle base prévoir quelque chose ?

- Etc.

Ces éléments pour montrer la difficulté à laquelle confine la prévision, donc la garantie de consommation, qui s'avère une opération illusoire. Il serait donc fortement préjudiciable d'engager des procédures contractuelles autour de ces garanties, car elles se termineront toutes devant les tribunaux, les acteurs ne parlant pas de la même chose et n'ayant pas la même conscience physique du sujet. Et le risque le plus important vient du juge qui aura lui aussi une idée et une vision de la chose, malheureusement probablement totalement déconnectée de la réalité....

9.2.4 La simulation dynamique pour mieux évaluer la physique des phénomènes

Avant de répondre à cette question, il est intéressant d'observer les pratiques actuelles des maîtres d'œuvre et les résultats auxquels ils arrivent :

- dans l'immense majorité des cas, le seul outil d'aide à la conception qu'utilisent les maîtres d'œuvre est le calcul réglementaire. Tout le projet est construit autour de ce calcul, et l'optimisation de l'enveloppe et des systèmes est entièrement faite à partir des réponses de ce calcul. L'industrie automobile, soumise elle aussi à des consommations normalisées (qui sont devenues des arguments de vente efficaces) en est arrivée aux mêmes pratiques, mais en ayant conscience de ce qu'elle faisait : les constructeurs optimisent les moteurs autour des exigences des parcours normalisés, mais ils savent pertinemment que cette

manière de faire dégrader la consommation réelle des véhicules par la suite. Comme leur priorité est de vendre et non de garantir une consommation, ils n'ont pour l'instant pas d'inquiétude à avoir.

Mais la situation n'est pas la même dans le bâtiment. Nombreux sont ceux qui souhaitent une garantie sur la performance annoncée, ce qui est probablement une chimère totale. Mais que l'on s'engage ou non dans cette voie, on doit s'interroger sur les risques de la pratique actuelle des maîtres d'œuvre « fluides ». Le calcul réglementaire n'est ni une aide à la conception, ni un outil de prévision de la consommation. Il constitue plutôt une vérification de la bonne conception du bâtiment.

D'autres outils, plus proches de la réalité, paramétrables en fonction du mode réel de fonctionnement et d'occupation du bâtiment (ce qu'un calcul conventionnel ne peut pas faire par définition), devraient être utilisés par les concepteurs, ce qui leur donnerait une démarche plus physique, plus réaliste.

■ Dans l'état actuel des pratiques, on observe trois faits marquants :

1 - dans l'esprit des concepteurs, et donc de leurs maîtres d'ouvrage, le calcul RT constitue une prévision de consommation. C'est même l'outil officiel et idéal pour cela puisqu'il a l'agrément du Ministère. La conséquence de cette confusion est l'immense *quiproquo* existant autour de la « vérification des prévisions de consommations » que chaque maître d'ouvrage cherche désormais à mettre en place. *Quiproquo* pouvant même aller, comme on l'a vu, vers des plaintes et des actions en justice. On peut se demander sur quelle base le juge tranchera face à un problème aussi technique et d'apparence si simple (la RT fixe un niveau de consommation : il doit donc être respecté !).

2 - il existe désormais, et de façon de plus en plus marquée, une décorrélation flagrante entre le projet « théorique » et le projet « réel », entre le fonctionnement « réglementaire » (c'est à dire tel que décrit dans le calcul réglementaire) et le fonctionnement constaté et mesuré. Une des leçons importantes de toutes ces campagnes de mesure est de constater à quel point les bâtiments suivis « marchent mal », ne sont pas aux points de fonctionnement auxquels ils devraient être. C'est très vrai pour les équipements de ventilation, fréquent sur les installations solaires, mais c'est aussi une constante sur tout ce qui est asservissement (voire pilotage) de fonctionnement et sur la maîtrise de la consommation d'électricité.

3 - les concepteurs maîtrisent encore très mal les consommations des usages spécifiques de l'électricité. C'est inquiétant. Car ces consommations, si elles sont déjà dominantes dans la consommation globale, auront une contribution encore plus écrasante dans le futur. Il faudrait que les concepteurs se forment en urgence sur ce sujet

Alors quel outil pour le concepteur ? Aujourd'hui, la majorité des bureaux d'études conçoit tous ses projets avec un outil unique : le calcul réglementaire. Or celui-ci n'est en rien un outil d'aide à la conception. Ce n'est qu'un outil de validation d'un projet qui aura été par ailleurs bien conçu avec les outils performants qui permettent cette conception.

Ce qui a été montré précédemment, à savoir qu'il existait des écarts très importants entre le calcul réglementaire et la réalité des consommations milite également pour une approche plus physique des échanges d'énergie au moment de la conception. Et s'il n'est pas

envisageable de prévoir la consommation, comme cela vient d'être expliqué, l'intérêt des outils de simulation dynamique du bâtiment n'en reste pas moins majeur.

Les outils qui existent et dont l'utilisation devrait être généralisée sont les outils de simulation thermique, et ceux de la simulation de la migration de vapeur (qui reste un sujet jamais étudié et pourtant majeur). Rien ne les remplacera. Ils permettent d'approcher à la fois les aspects de besoins et la thermique d'été. Mais leur utilisation systématique dans les projets d'une certaine taille, pose des problèmes de rémunération et de délai d'études qu'il faudra revoir, ce pour quoi les maîtres d'ouvrage ne sont pas toujours bien préparés aujourd'hui.

La simulation thermique dynamique est un formidable outil d'aide à la conception. Elle permet d'étudier l'impact des choix de conception sur les consommations de chauffage et sur le confort d'été. Elle aide donc l'équipe de maîtrise d'œuvre dans le processus complexe et lent de la conception. Elle lui permet de faire varier les paramètres autour d'une solution de référence (celle dessinée initialement par l'architecte et qui sert de « point de départ » à l'équipe) afin de mettre en évidence les solutions technico-architecturales acceptables par toutes les composantes de la maîtrise d'œuvre et satisfaisant le programme.

Il serait donc souhaitable que progressivement les équipes de concepteurs abandonnent le calcul réglementaire en tant qu'aide à la conception pour adopter la simulation dynamique qui constitue quant à elle un véritable outil d'ingénieur fondé sur une approche physique alimentée par les données les plus précises qu'il soit.

Il faut en effet rappeler que la qualité des résultats d'un outil de simulation dépend évidemment de la qualité des données qu'on lui fournit. On n'insistera jamais assez sur ce point, et la relecture de très nombreuses simulations dynamiques prouve que les bureaux d'études ne sont pas assez exigeants avec eux-mêmes, utilisant de façon un peu trop fréquente des valeurs par défaut ou très approximatives, ce qui évidemment appauvrit considérablement la qualité des résultats obtenus.

9.3 Comment améliorer les performances des installations livrées ?

9.3.1 Mieux préciser les objectifs et les moyens dans le cahier des charges

Le point de départ de n'importe quel projet est son cahier des charges. Or bien souvent la partie énergétique de celui-ci est plutôt mal traitée. Les objectifs sont au mieux définis à partir de la réglementation thermique. Cela se traduit souvent par une formule comme «RT – 20% ». On doit comprendre alors qu'il faut que le calcul réglementaire conduise à une valeur du coefficient C_{ep} inférieur de 20 % à celle fixée par le calcul réglementaire. Mais puisque celle-ci n'est en rien une prévision de consommation, et qu'elle a même tendance à fournir des valeurs très sous-évaluées des consommations réelles, on voit mal comment un tel objectif pourrait faire l'objet d'un contrôle sur des bases claires lorsque le bâtiment sera construit. Sans compter qu'il y a très peu de chances que les intervenants pratiquent les conversions d'unité permettant de rapprocher consommation réglementaire et consommation mesurée, telles qu'elles ont été développées précédemment. On observe alors un conflit opposant l'équipe de maîtrise d'oeuvre, le maître d'ouvrage, voire les utilisateurs, chacun brandissant ce qu'il considère comme la valeur de consommation le liant à ses partenaires. On observe également que, malheureusement ce genre de conflit se termine de plus en plus fréquemment devant les

tribunaux qui n'ont malheureusement pas une grande compétence sur le sujet, ce qui ne les empêche pas de rendre la justice....La confusion est à son comble parce que les bases de l'accord ont été très mal définies.

Sans que cela soit suffisant, il est nécessaire que le programme de chaque opération soit défini avec une grande précision, notamment lorsqu'il vise à aller au-delà des exigences du calcul réglementaire. En effet celui-ci constitue un seuil en deçà duquel il est hors de question de s'aventurer. En premier lieu, et malgré l'article R. 131-20 du code de la construction et de l'habitation que plus personne n'a l'intention d'appliquer et de faire respecter en France, nous suggérons que le programme définisse une température intérieure sur la base de laquelle l'ensemble des évaluations sera faite. Cette température sera contractuelle entre le maître d'ouvrage et les usagers. La dépasser constituera une rupture de contrat désengageant le maître d'ouvrage et les concepteurs en cas de conflit sur les niveaux de consommation observée.

Le programme doit aussi fixer des besoins, ceux des pertes de chaleur par l'enveloppe et par le renouvellement d'air. Il doit définir la nature de sa surface de référence (la surface habitable, utile, ou bien la Shon). Il serait judicieux, au sujet du renouvellement d'air, qu'il précise soit les taux de polluants classiques qu'il vise, soit un nombre de volumes par heure en dessous duquel il ne souhaite pas aller. Cette question du renouvellement d'air est importante, car elle peut impliquer le choix d'un système de ventilation plutôt qu'un autre, avec les conséquences sanitaires et énergétiques associées à ce choix.

Le programme fixera également des limites à la consommation finale pour chaque usage (toujours sous la forme d'une consommation spécifique rapportée à une surface de référence). Ceci touche donc également les consommations d'électricité spécifique.

Cette manière de définir les performances s'appuiera évidemment sur ce qui a déjà été réalisé, sur ce qu'on estime possible de faire, et dans tous les cas sur la réalité du terrain telle qu'elle est connue au moins à l'échelle européenne aujourd'hui. L'idée est de rapprocher de la réalité maîtres d'ouvrage et concepteurs. Mais attention : ces objectifs physiques constituent ce que le bâtiment et les équipements optimisés par les concepteurs sont capables d'atteindre si les usagers adoptent un comportement conforme à ce qui a été envisagé lors de la conception. Il ne s'agit en rien d'une prévision des consommations.

L'avantage de cette méthode est donc uniquement de mieux préciser les consommations ambitionnées pour chaque usage en les rapprochant de valeurs plus réalistes que ne le fait le calcul réglementaire actuellement, ce qui permettra plus facilement en cas de litige ou de vérification, la détermination des sources de divergences.

9.3.2 Améliorer la conception et la réalisation des bâtiments

A la lumière des cinq années de travail à la base de cette étude, nous avons tenté de mettre en lumière ce qui nous apparaît encore comme des aspects négatifs de la conception et de la réalisation des bâtiments, mais aussi quelques aspects positifs que nous avons rencontrés.

POINTS NEGATIFS**1- Bâti :**

1-1 Niveau encore trop moyen d'étanchéité à l'air. Ce sujet est encore un peu nouveau en France, et il doit faire l'objet d'une véritable attention des architectes (puisqu'il s'agit de l'enveloppe des bâtiments). L'enjeu d'une bonne étanchéité à l'air est essentiel, notamment dans les régions soumises à des vents fréquents.

2- Systèmes et conception :

2-1 Surdimensionnement dégradant la performance des équipements (chaudières, pompes, débits/volumes puisés ECS). Le surdimensionnement des équipements apparaît effectivement comme une « plaie » difficile à soigner. D'un part les concepteurs veulent se protéger contre des risques qui n'existent en réalité plus vraiment, et d'autre part cette approche détériore considérablement les rendements et donc les consommations tout en renchérissant le coût des opérations.

2-2 Sous dimensionnement du volume de stockage ECS. Ceci n'est pas une règle générale mais doit être pris en compte.

2-3 Pertes très élevées du réseau de chaleur (1/4 de la conso). Les réseaux de chaleur constituent une approche séduisante permettant notamment de faire pénétrer les énergies renouvelables à l'intérieur du cœur des cités. Mais la difficulté rencontrée aujourd'hui est que ces réseaux alimentent désormais des quartiers à très basse consommation, et qu'en valeur relative les pertes de chaleur pour arriver jusqu'à ces quartiers sont très importantes par comparaison aux consommations des bâtiments eux-mêmes. Une autre conséquence est d'ordre économique : il devient très difficile d'amortir les investissements relativement lourds des réseaux de chaleur avec la seule vente de la chaleur, ce qui oblige à avoir des coûts de raccordement et surtout d'abonnement extrêmement élevés que les usagers ne comprennent plus puisqu'ils ne consomment plus beaucoup d'énergie.

2-4 Fuites des réseaux de ventilation. Si les installations de ventilation marchent aussi mal en France, c'est peut-être d'abord et surtout parce qu'elles ne sont pas du tout étanches à l'air. Les années qui viennent seront dans notre pays consacrées à acquérir le savoir-faire sur l'étanchéité des réseaux de ventilation que les pays du nord de l'Europe maîtrisent déjà parfaitement. Il n'y aura pas de performance de la ventilation tant que les réseaux ne seront pas étanches.

2-5 Mauvaise mise en œuvre dégradant les performances et pouvant réduire la durée de vie des équipements. Sans commentaire...

2-6 Niveau insuffisant d'isolation des vannes, corps de pompes et réseaux de distribution

2-7 Mauvaise mise en œuvre des compteurs (chaleur, volumétrique, électrique).

2-8 Mauvais fonctionnement des installations solaires (mauvaise mise en œuvre, bulles d'air dans les circuits, mauvais choix de différentiel de T°C consigne, mauvais dimensionnement des vases d'expansion dans le cas des immeubles, lorsque l'appoint et l'expansion de la boucle capteurs sont en sous sol).

2-9 Limiteurs de débits auto-régulés et calibrés présents sur certaines opérations mais non généralisés. Ils constituent pourtant une source majeure d'économie.

3- Dysfonctionnements / réglages

3-1 Ventilation : débits des installations non conformes aux valeurs réglementaires, non réglés et globalement trop élevés (ou pouvant être nuls également), mauvais équilibrage des débits de soufflage / extraction, mauvaise programmation du fonctionnement des échangeurs, ventilateur fonctionnant en sens inverse, mauvaise évacuation des condensats.

3-2 Loi d'eau de chauffage systématiquement « supérieure » à celle décrite par le concepteur (attention dans certains cas ces paramètres de réglage n'ont même pas été fournis...). Ceci offre la possibilité aux utilisateurs de surchauffer leur logement puisque la puissance mise à leur disposition est beaucoup plus importante que nécessaire.

3-3 Absence de réglage des pompes de chauffage (générale sur toutes les opérations), fonctionnement permanent et à vitesse maximum de la majorité des autres pompes.

3-4 Dysfonctionnement des pompes de bouclage ECS conduisant au non respect des préconisations anti-légionnelles.

3-5 Température de stockage ECS inutilement trop élevée.

3-6 Température intérieure dans les logements globalement élevée pouvant être due à un mauvais fonctionnement de la régulation terminale.

3-7 Dans certaines cabines d'ascenseurs l'éclairage cabine n'est pas asservi à la présence.

4- Comportement

4-1 Pas d'utilisation par les particuliers des bouches bi-débit de ventilation en cuisine (méconnaissance ou inefficacité), ce qui pose la question de l'intérêt de ce dispositif qui complexifie les installations.

4-2 Importance des apports internes, notamment les consommations électrodomestiques, notamment dans le cas d'Ancône (grande influence sur température été comme hiver).

4-3 Choix de la consigne de T°C et des tenues vestimentaires non adaptées à la saison (tee-shirts, pulls coton...). Les usagers ont la même tenue en hiver comme en été : un tee-shirt, parfois à manches longues il est vrai !

4-4 Comportement non approprié pour la gestion des outils de confort d'été

4-5 Faible utilisation de la prise commandée sur le site audiovisuel (absence d'information ou manque d'intérêt pour le dispositif).

5- Maintenance :

5-1 Encrassement des filtres des CTA (qui devraient pourtant être changés tous les 4 mois), pas de contrôle du bon fonctionnement des équipements.

POINTS POSITIFS

Les occupants sont globalement satisfaits, voire très satisfaits, du confort de leurs logements.

Bon confort d'été (attention ne pas oublier que la localisation des opérations est plutôt favorable).

Bonne qualité de l'air (CO2 et Radon).

Performances de l'installation d'Ancône très bonne, bâtiment pratiquement passif du fait notamment d'un très bon COP de la PAC.

Bonne optimisation du fonctionnement des auxiliaires de chauffage / ECS à Epagny Sogimm. Sur une opération où l'intérêt de la prise commandée a été bien expliqué aux usagers, son taux d'utilisation est très satisfaisant (77%) et le dispositif supprime pratiquement toute la veille.

9.3.3 Vers des suivis de chantier de qualité

Enfin, le dernier élément qui permettra d'améliorer la qualité des bâtiments et de leurs installations est la qualité du suivi de chantier. Celui-ci n'a pas pour unique objet de recalculer les plannings tout au long de sa durée. Il a plutôt pour objectif de vérifier la qualité des éléments mis en oeuvre, leur conformité aux projets et enfin la qualité des réglages faits en fin d'opération.

Mais le préalable est évidemment que les maîtres d'ouvrage confient aux maîtres d'oeuvre une mission de chantier ce qui apparemment ne va pas de soi.

Les bureaux d'étude passent peu de temps sur les chantiers où leur intervention se borne souvent à recalculer les délais et à régler des points de détail. La qualité de la mise en oeuvre (étanchéité à l'air des réseaux, conformité des installations en chaufferie, vérification du bon fonctionnement des équipements et des réglages, etc) n'est que très peu abordée. Il n'existe pratiquement plus aucune visite lorsque les levées de réserves ont été faites, alors qu'à ce stade les réglages ne sont que rarement réalisés.

Il s'est souvent produit, lors de l'instrumentation, que nos équipes soient au préalable obligées de faire certains réglages (temporisation des détecteurs de présence, etc) ou même doivent mettre en état de marche des compteurs de chaleur inopérants. Mais les mesures montrent de manière inexorable le déficit de fonctionnement d'un certain nombre d'équipements. Il semble que cette dérive soit indissociablement liée à la virtualisation du projet née d'une approche seulement réglementaire. Il faut que les maîtres d'oeuvre « fluides » réinvestissent le terrain et se réapproprient la mise au point effective de leurs installations.

Sur un chantier, on peut dire qu'il faut tout vérifier. Il n'y a plus de vrais contrôles faits par les entreprises elles-mêmes (le chef de chantier de chaque entreprise passe voir ses collaborateurs une fois par semaine). Le maître d'oeuvre doit donc palier cette carence. Parmi les opérations les plus fréquemment en défaut, nous recommandons le suivi :

- de la mise en oeuvre des isolants de l'enveloppe. On observe encore de nombreux défauts de mise en oeuvre : isolant fibreuse comprimé, plié, de largeur insuffisante. Ponts

thermiques structurels pas traités (notamment les accrochages de bardage). On a même vu une fois un isolant à qui il manquait 4 cm d'épaisseur par rapport au projet...

- de la mise en œuvre de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. La pose des menuiseries extérieures doit attirer toute l'attention de la maîtrise d'œuvre, mais ce n'est pas le seul défaut d'étanchéité à l'air des enveloppes. Il existe de nombreuses jonctions à problème. La pose des films d'étanchéité doit aussi être faite avec le plus grand soin, et le film ne doit jamais être percé par des réseaux (électricité, chauffage, etc). Ou dans ce cas, le passage doit être assuré par des pièces spéciales (type passe câble),

- l'étanchéité des réseaux d'air (pour atteindre la classe C) doit devenir une vraie préoccupation de la maîtrise d'œuvre. C'est un des grands défis des années à venir. Tant que les réseaux de VMC fuiront, il ne sera pas possible d'avoir des installations qui fonctionnent correctement : l'équilibrage restera chimérique, la consommation d'électricité sera toujours trop élevée, et le service rendu ne sera pas celui attendu. Mais il faudra aussi vérifier que le débit des CTA est le bon, que le débit soufflé et le débit extrait sont sensiblement les mêmes, et il faudra mesurer le débit à chaque bouche. Lorsque la ventilation à débit variable aura été prescrite, il faudra vérifier que la régulation de débit fonctionne de façon satisfaisante. Un rapport de toutes ces vérifications devra être fourni au maître d'ouvrage,

- la même logique doit s'appliquer au contrôle des réseaux hydrauliques. Le bon fonctionnement de la variation de vitesse ou l'asservissement du fonctionnement des circulateurs devront être vérifiés. La plupart du temps ils ne marchent pas correctement,

- toutes les séquences de régulation devront être testées et leur fonctionnement devra avoir été vérifié. Lorsqu'il y a une GTC, elle devra faire l'objet d'un contrôle très minutieux. Lorsque la GTC assure les fonctions de régulation, on observe de très nombreux non-fonctionnements consécutifs au mauvais calage des coefficients caractéristiques des régulateurs (PI et PID),

- il existe encore de très gros problèmes avec l'ensemble des sous comptages mis en place : qu'il s'agisse de compteurs de chaleur ou de compteurs électriques on observe des problèmes spécifiques récurrents (attention notamment aux compteurs électriques paramétrables qui ne sont jamais paramétrés). Au bureau d'étude de vérifier le fonctionnement correct de tous ces compteurs, en contrôlant avec un comptage en parallèle pour l'électricité.

La liste des vérifications sur chantier pourrait s'allonger à l'infini. Chacun doit prendre conscience qu'en l'état actuel des observations faites *in situ*, la majorité des bâtiments qui sont livrés n'ont pas un fonctionnement optimum, et c'est un euphémisme. Il existe de trop nombreux dysfonctionnements dont certains sont parfois majeurs. En l'absence d'un travail de vérification très poussé de la maîtrise d'œuvre, cette situation n'a aucune raison de prendre fin.

9.4 Les éléments d'une bonne évaluation des performances

9.4.1 Adopter les bonnes méthodes de calcul

Le point de départ d'une bonne évaluation des performances est bien sûr de ne pas se tromper sur les méthodes de calcul utilisées. Evaluer les performances se réfère au comportement physique du bâtiment. On évitera donc à tous prix le recours à des calculs

réglementaires dont le rôle n'est pas de donner des indications sur la consommation physique.

9.4.2 Faire une vérification par mesure des performances

Le moyen le plus efficace d'évaluer, *a posteriori*, les performances d'un bâtiment reste une campagne de mesure. Les caractéristiques minimum d'une campagne de mesure (pour un seul bâtiment) peuvent très rapidement résumées dans ce qui suit :

- caractéristiques générales : durée idéale : un an. Pas de temps : 10'. Stockage des données impératif.

- mesures à effectuer :

- température et hygrométrie extérieure

- température et hygrométrie intérieure dans au moins 10 % des logements

- consommation électrodomestique des logements, avec sous comptage sur le poste cuisson,

- consommation d'énergie utile (compteur de chaleur) de chauffage et d'ecs

- consommation d'énergie finale de chauffage+ECS (en général une valeur pour les deux réunis),

- *les températures*

- de la chaufferie

- eau froide à son arrivée en chaufferie,

- départ/retour de la boucle primaire de production de chaleur (circuit chaudières),

- départ/retour de chaque réseau (chauffage, production ECS, etc.),

- départ/retour de la boucle distribution ECS (la mesure au départ s'effectue en aval du mitigeur ou de la vanne trois voies),

En cas de production d'ECS solaire :

- entrée/sortie du ballon solaire

- entrée/sortie des capteurs (circuit primaire)

- départ/retour du circuit secondaire (échangeur/ballon solaire),

- *Volume*

- EF sur l'alimentation ECS (donc volume de la production ECS)

- *Compteurs électriques*

- Comptage électrique général

- Chaufferie – Comptage global

- Chaufferie - toutes les pompes

- Chaufferie - la régulation

- Groupes « froid » de climatisation

- Ascenseur – Comptage global

- Ascenseur – Eclairage cabine

- Ascenseur – Eclairage gaine

- Eclairage hall

- Eclairage parking

- Eclairage couloirs

- Eclairage locaux de bureaux

- Eclairage locaux de commerce
- Eclairage de secours
- Ventilateurs de soufflage
- Ventilateurs d'extraction
- Bureautique (mesures en tableau et sur appareils)
- Eau chaude sanitaire électrique

Les installations de ventilation doivent faire l'objet d'une attention toute particulière. Elles sont souvent mal réglées et consomment beaucoup à la fois sur le plan thermique (débit d'air trop important) et électrique. On suggère :

- de faire un test d'étanchéité à l'air d'une partie des réseaux aérauliques afin de déterminer leur classe d'étanchéité à l'air (de A à D),
- Suivre les débits de soufflage et d'extraction de chaque CTA en continu sur une année.
- Mesurer l'écart de pression statique aux bornes des ventilateurs de soufflage et d'extraction.
- En cas d'échangeur de chaleur, mesure des températures d'air neuf extérieur (entrée CTA) de soufflage (sortie CTA), d'air extrait (entrée CTA), de rejet extérieur (sortie CTA).
- Mesure de l'hygrométrie sur l'air soufflé (sortie CTA) et l'air extrait (entrée CTA),
- Mesure de la consommation d'électricité de la batterie antigivre lorsqu'elle existe.

On pourra toujours compléter cette série de mesures par un examen de l'enveloppe à la caméra infra rouge et éventuellement une petite campagne de mesure sur la qualité de l'air (notamment le gaz carbonique).

Enfin, autant de mesures impliquent une analyse fine en aval. C'est un travail qui doit être fait minutieusement et avec des outils adaptés. A défaut, la collecte des mesures n'aura pas servi à grand chose.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Enertech, 2011, *Bâtiments performants – Étude économique – Rapport final*, ADEME.
- [2] : Enertech, 2010, *OPAC du Rhône ZAC du Fort Bron – Résultat de la première année de mesure*, ADEME.
- [3] : Enertech, 2011, *OPAC du Rhône ZAC du Fort Bron – Résultat de la deuxième année de mesure*, ADEME.
- [4] : Enertech, 2013, *OPAC du Rhône Tour de Salvagny – Résultat de la première année de mesure*, ADEME.
- [5] : Enertech, 2013, *OPAC du Rhône Tour de Salvagny – Résultat de la deuxième année de mesure*, ADEME.
- [6] : Enertech, 2013, *Clos des Visitandines Vaugneray – Résultat de la première année de mesure*, ADEME.
- [7] : Enertech, 2014, *Clos des Visitandines Vaugneray – Résultat de la deuxième année de mesure*, ADEME.
- [8] : Enertech, 2012, *OPAC 74 Le Pérenne Epagny – Résultat de la première année de mesure*, ADEME.
- [9] : Enertech, 2013, *OPAC 74 Le Pérenne Epagny – Résultat de la deuxième année de mesure*, ADEME.
- [10] : Enertech, 2012, *Jardins République Epagny – Résultat de la première année de mesure*, ADEME.
- [11] : Enertech, 2013, *Jardins République Epagny – Résultat de la deuxième année de mesure*, ADEME.
- [12] : Enertech, 2012, *OPAC 38 Le Claret Revel – Résultat de la première année de mesure*, ADEME.
- [13] : Enertech, 2014, *OPAC 38 Le Claret Revel – Résultat de la deuxième année de mesure*, ADEME.
- [14] : Enertech, 2012, *DAH Les Santolines Ancône – Résultat de la première année de mesure*, ADEME.
- [15] : Enertech, 2014, *DAH Les Santolines Ancône – Résultat de la deuxième année de mesure*, ADEME.