

*«Partager ce que l'on sait
et apprendre du savoir des autres »*



PERFORMANCES RÉELLES DES BÂTIMENTS

Retours d'expériences

Enseignements des campagnes de suivi et d'évaluation
de 14 opérations instrumentées par l'ADEME en Rhône-Alpes

PERFORMANCES RÉELLES DES BÂTIMENTS

Retours d'expériences

Enseignements des campagnes de suivi et d'évaluation
de 14 opérations instrumentées par l'ADEME en Rhône-Alpes

LES CLEFS POUR LIRE CE GUIDE...

Chaque chapitre peut être lu de manière indépendante.

Les enseignements par poste (chauffage, eau chaude sanitaire, etc.) sont structurés de la façon suivante :

- Résumé : rappel des enjeux et enseignements
- Bilan énergétique : quelques chiffres clefs
- Check-list des enseignements : bonnes pratiques tirées des retours d'expériences à intégrer dans les futurs projets
- Focus : pour aller plus loin

CHECK-LIST

Il ne s'agit pas d'être exhaustif sur les points à prendre en compte lors de la réalisation d'un projet mais de mettre en avant les enseignements tirés des rapports de suivi

FOCUS

Le rapport met l'accent sur une vingtaine de focus qui concernent des thématiques :

- Dont l'importance dans le bilan énergétique devient croissante puisque jusque-là négligées ou sous-estimées (exemple : veille, ascenseur, usager)
- Ou récentes et/ou sur lesquelles peu de retours d'expériences sont disponibles (exemple : le puits climatique)
- Ou pouvant faire débat (exemple : réduit de nuit, type de production d'ECS en tertiaire)

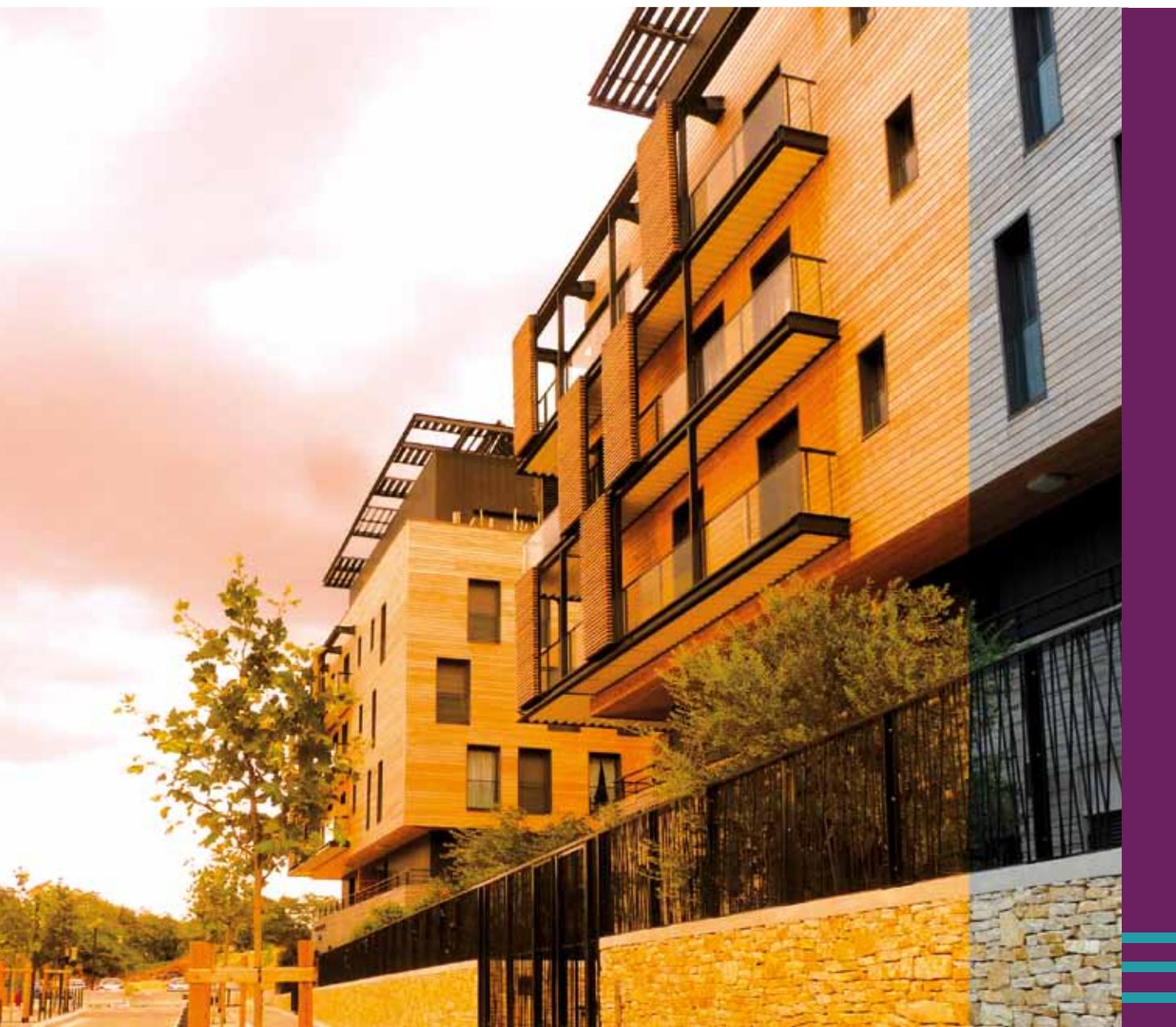
Il ne s'agit pas forcément des sujets les plus fréquemment rencontrés dans les rapports



SOMMAIRE

	PRÉAMBULE
Partie I	INTRODUCTION
	SYNTHÈSE Limites
	MÉTHODOLOGIE Rapports de suivi Rédaction du rapport Opérations analysées
Partie II	BILAN ÉNERGÉTIQUE Bilan énergétique global Évolution des consommations entre deux années de mesure Comparaison des consommations mesurées totales et prévisionnelles
Partie III	LES ENSEIGNEMENTS PAR POSTE
	Chauffage
	ECS
	Rafrâichissement
	Ventilation
	Éclairage
	Bureautique et autres usages de l'électricité
Confort	
Exploitation-maintenance	
	ANNEXES

■ RAFRAÎCHISSEMENT	93
Résumé	93
Bilan énergétique	94
Check-list des enseignements	95
Focus n° 10 - L'informatique aime le froid mais supporte aussi le chaud	96
■ VENTILATION	99
Résumé	99
Bilan énergétique	100
Check-list des enseignements	104
Focus n° 11 - La vérification des débits et pressions de ventilation : une étape primordiale en fin de chantier	106
Focus n° 12 - Précautions autour de l'utilisation d'une batterie de dégivrage	108
Focus n° 13 - La régulation de la ventilation à débit variable	110
Focus n° 14 - CTA double flux avec récupération de chaleur : des performances très variables	114
Focus n° 15 - L'étanchéité à l'air des réseaux de ventilation	118
■ ÉCLAIRAGE	121
Résumé	121
Bilan énergétique	122
Check-list des enseignements	125
Focus n° 16 - Le juste dimensionnement de l'éclairage	126
Focus n° 17 - La consommation de l'éclairage en veille	130
Focus n° 18 - L'optimisation de l'éclairage des zones « annexes » non compris dans les calculs réglementaires	132
■ BUREAUTIQUE ET AUTRES USAGES DE L'ÉLECTRICITÉ	137
Résumé	137
Bilan énergétique	138
Check-list des enseignements	140
Focus n° 19 - Un poste devenu majeur : la bureautique et les serveurs	141
Focus n° 20 - L'optimisation énergétique des ascenseurs	144
■ CONFORT	149
Résumé	149
■ EXPLOITATION - MAINTENANCE	155
Focus n° 21 - Un exploitant impliqué et responsabilisé, un gage de performance	156
Focus n° 22 - Prudence concernant la surtechnologie	158
Focus n° 23 - Des données oui, mais des données suivies et fiables !	159
ANNEXES	161
Caractéristiques des projets	162
Précisions projets pour bilan énergétique	164



PRÉAMBULE

Ville et Aménagement Durable, centre d'échanges et de ressources pour la qualité environnementale des bâtiments et des aménagements en Rhône-Alpes, ambitionne depuis 2001 de faire progresser l'acte de construire la ville en répondant à tous les enjeux du développement durable. Son action repose sur la volonté de son réseau de professionnels de partager les bonnes pratiques, les expériences, les savoirs et savoir-faire. VAD regroupe un réseau de 2000 professionnels, dont plus de 250 adhérents (architectes, urbanistes, bureaux d'études, maîtres d'ouvrage, entreprises).

Dès 2007 et en parallèle du lancement par la direction régionale Rhône-Alpes de l'ADEME d'une campagne d'évaluation lourde sur des bâtiments démonstrateurs, VAD a mis en place un groupe de travail «Évaluation». Constitué de professionnels de terrain, ce groupe a établi une méthode d'évaluation légère des bâtiments en exploitation basée sur des questionnaires à destination des usagers et du gestionnaire, des entretiens avec la maîtrise d'œuvre, des mesures *in situ* (température, humidité, éclairage naturel) et des relevés de consommation. L'objectif était de collecter des retours d'expériences chiffrés et d'évaluer le fonctionnement de la nouvelle génération de bâtiments. En 2012, le groupe a orienté ses travaux

sur les problématiques de mise en service, maintenance et exploitation des bâtiments et a élaboré une démarche méthodologique qui s'étend de la conception, aux premières années d'exploitation et qui intègre la phase de mise en service. Celle-ci a en particulier mis en avant la nécessité d'un nouveau format permettant d'assurer un suivi et une mémoire au bâtiment : le carnet de suivi.

Afin d'aller encore plus loin dans l'analyse de bâtiments performants, le groupe livre aujourd'hui le fruit de deux années de travail visant à tirer les enseignements des campagnes de suivi et d'évaluation de 14 opérations démonstratrices, instrumentées par l'ADEME en Rhône-Alpes. Enrichi de témoignages d'acteurs des projets et de la filière, il présente un état des lieux des connaissances et des pratiques et met en avant des recommandations afin de tendre vers des bâtiments plus durables. Ce travail sera présenté lors d'ateliers à destination des professionnels afin de diffuser ce retour d'expérience et ainsi faire progresser l'acte de construire.

Le présent rapport, axé essentiellement sur l'énergie, doit bien sûr être replacé dans des objectifs globaux de qualité environnementale, axes sur lesquels VAD œuvre à la lumière des enjeux sociaux, culturels et économiques.

Partie I



INTRODUCTION – SYNTHÈSE – MÉTHODOLOGIE



INTRODUCTION

La direction régionale Rhône-Alpes de l'ADEME a mis en place dès 2007 des études de suivi et d'évaluation des performances énergétiques et environnementales sur une quarantaine de bâtiments exemplaires. Ces études ont été confiées à des BET spécialisés et reposent sur des campagnes de mesures d'une durée de deux années, permettant une analyse approfondie des consommations énergétiques, de la qualité de l'air, du confort hygrothermique et du fonctionnement des installations de ventilation, de chauffage, d'eau chaude sanitaire (ECS), d'éclairage et des autres usages spécifiques de l'électricité.

Afin de partager les premiers résultats obtenus sur quatorze opérations avec l'ensemble des acteurs et professionnels du bâtiment, il a été proposé que Ville et Aménagement Durable en réalise une première capitalisation, en étroite partenariat avec l'ADEME et le conseil régional de Rhône-Alpes.

Le rapport propose ainsi :

- De réaliser un bilan énergétique global de 14 opérations instrumentées par l'ADEME en Rhône-Alpes,
- De tirer par poste les enseignements majeurs, notamment grâce à un bilan énergétique et une « check-list » compilant les points de vigilance constatés sur les projets analysés,
- De mettre en lumière certaines thématiques par le biais de focus comprenant des retours d'expériences sur des projets instrumentés et des compléments apportés par des interviews d'acteurs des projets et de la filière.

Cette synthèse est le fruit d'un travail collectif de professionnels du réseau VAD et intègre les témoignages des acteurs des projets et de la filière (notamment des industriels) ainsi que des bureaux d'études ayant réalisé ces analyses. Il s'adresse à tous les acteurs de la construction, de la maîtrise d'ouvrage à l'exploitant.

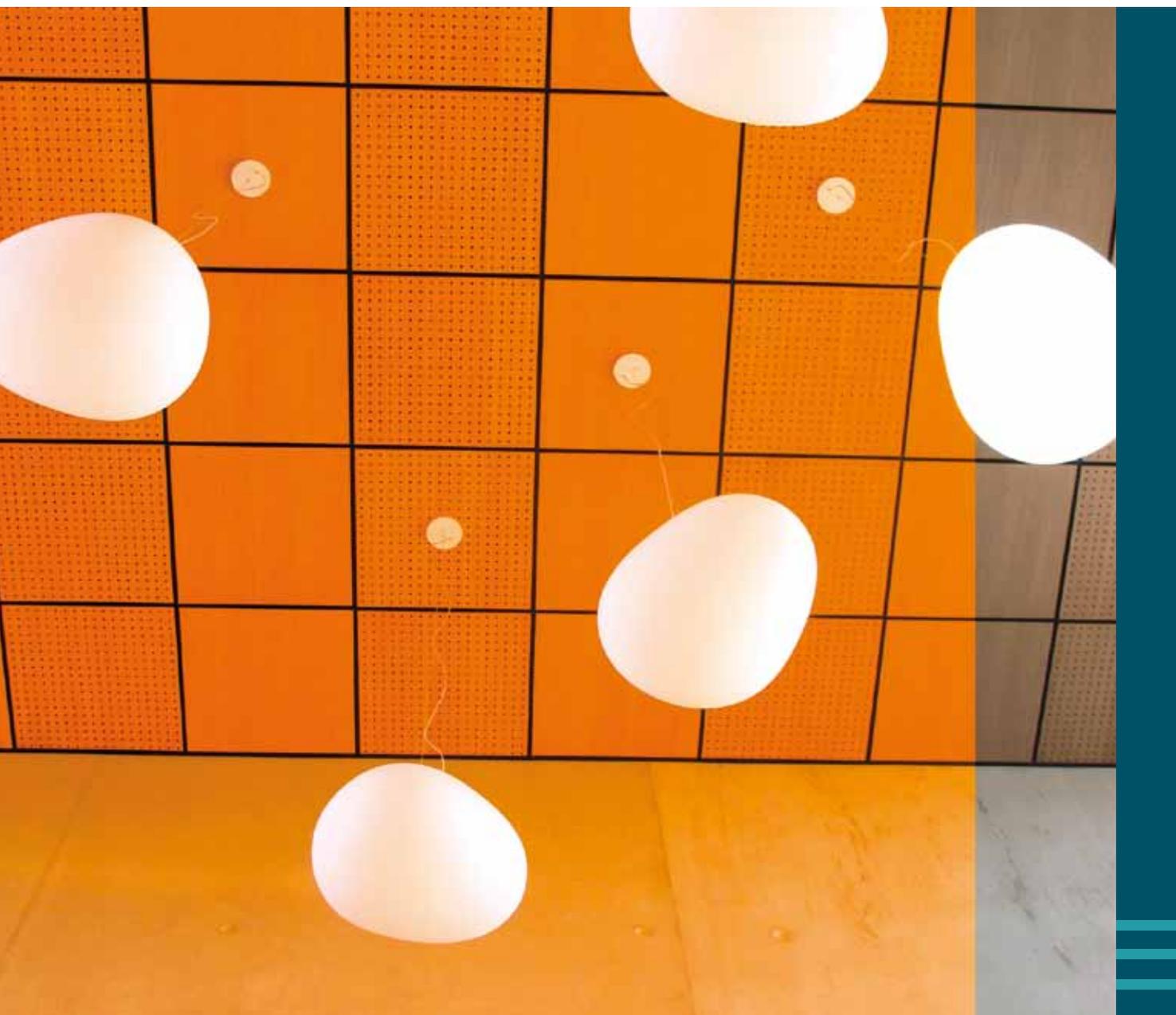
Les rapports de suivi utilisés pour cette capitalisation ont été réalisés par des bureaux d'études missionnés par la direction régionale Rhône-Alpes de l'ADEME : COSTIC, ENERTECH, Etamine, MANASLU ainsi que par le Cerema (ex-CETE).

Remerciements

Ville et Aménagement Durable remercie :

- La direction régionale Rhône-Alpes de l'ADEME et le conseil régional de Rhône-Alpes,
- Les membres de son groupe de travail en charge de la rédaction du rapport : Alto Ingénierie, Cylergie ENGIE Lab, Egis, Etamine, Tribu,
- Les bureaux d'études ayant réalisé les suivis pour leur disponibilité et leurs compléments : COSTIC, ENERTECH, Etamine, MANASLU, Cerema (ex-CETE),
- L'ensemble des professionnels interviewés ainsi que les différents relecteurs.

Vous êtes invité à transmettre vos remarques sur ce rapport afin de participer à son amélioration, à l'adresse suivante : associationvad@orange.fr.



— SYNTHÈSE —

CONTEXTE : pendant plus de 2 ans, le groupe de travail « Évaluation » de VAD a réalisé en partenariat et avec le soutien de l'ADEME et de la Région Rhône-Alpes une capitalisation des études de suivi et d'évaluation de 14 opérations démonstratrices instrumentées.

UN INVESTISSEMENT « LOURD » POUR GÉNÉRALISER LES BONNES PRATIQUES : les opérations instrumentées ont été réalisées par des acteurs précurseurs de la construction durable souhaitant démontrer qu'il était possible de réaliser des projets ambitieux et novateurs allant au-delà des standards. Les mises en place de campagnes de mesures lourdes, bien que non généralisables, sont précieuses puisqu'elles permettent d'avoir accès à une connaissance fine du fonctionnement réel des équipements et de leur consommation énergétique, mais également à une évaluation du confort.

LA DYNAMIQUE DE RÉSEAU VAD AU SERVICE D'UN TRAVAIL COLLABORATIF : le groupe de travail « Évaluation » a souhaité aller au-delà des études de suivi et d'évaluation en intégrant les points de vue d'acteurs des projets et de la filière (architectes, bureaux d'études, exploitants, gestionnaires, maîtres d'ouvrage ainsi que des constructeurs). Ce travail « à plusieurs mains », fruit du débat et du croisement d'expérience, vise à la généralisation des bonnes pratiques.

ENSEIGNEMENTS EN BREF : le rapport porte sur un panel hétérogène d'opérations : 14 opérations (6 opérations de logements collectifs, 6 bâtiments de bureaux, 1 crèche, 1 groupe scolaire) neuves ou rénovées, livrées entre 2006

et 2011 et présentant des performances variées (du niveau réglementaire au niveau énergie positive). Néanmoins, des enseignements généraux peuvent être tirés :

- **Les consommations globales moyennes** mesurées sont comprises entre 160 et 190 kWhep/m²_{SHON}.an en logement et entre 80 et 140 kWhep/m²_{SHON}.an en bureaux. À noter que ces valeurs sont obtenues sur des bâtiments livrés depuis presque dix ans pour certains et avant la mise en place d'importantes mesures correctives visant à réduire celles-ci,
- **L'électricité spécifique** (bureautique et serveurs, ascenseurs, appareils électrodomestiques, téléphonie, machines à café, automatismes des bâtiments...) représente le poste de consommation le plus important, toutes typologies confondues. Le chauffage reste néanmoins un poste important, même dans les bureaux,
- **Toutes les opérations ont subi des dysfonctionnements, non-définitifs**, qui ont affecté leur bilan énergétique. C'est pourquoi l'optimisation durant les premières années de fonctionnement d'un bâtiment est un travail indispensable et payant (20% à 30% d'économies observées),
- **L'évolution des pratiques doit se faire à tous les stades** d'un projet. En conception, cela passe par une remise en question de certains standards (approche par 5 postes réglementaires, dimensionnement des équipements...), la recherche d'une plus grande simplicité (schémas hydrauliques...) ainsi qu'une meilleure prise en compte des postes jusque-là négligés (veille, éclairage des zones hors RT...). L'enjeu est également d'améliorer

la qualité de mise en œuvre, ainsi que les contrôles et réglages à la mise en service. Enfin, un partenariat sain et productif dans la durée entre l'exploitant et le maître d'ouvrage doit être recherché tout en associant pleinement l'occupant dans cette recherche de performance et de confort. Cela nécessite au préalable de lui donner les moyens d'être vertueux. La montée en compétence et la responsabilisation de l'ensemble de la chaîne d'acteurs sont primordiales pour atteindre les objectifs de performance.

LES SUITES : pour donner suite à ce travail de synthèse, il semble intéressant de mener une analyse sur un panel de bâtiments plus homogène pour sortir des tendances et étudier les évolutions des pratiques, mais aussi d'élargir l'analyse à d'autres critères de qualité (architecturale, d'usage...). Il est en effet primordial de rappeler que la recherche de performance ne doit pas se faire au détriment du confort. D'une manière générale, le partage de retours d'expériences est indispensable pour garantir les performances et la qualité souhaitées dans les bâtiments d'avenir.



LIMITES

• Méthodologie d'évaluation

Les rapports d'analyse sont centrés sur l'analyse des consommations énergétiques, du fonctionnement des installations techniques et sur l'évaluation du confort. La présente synthèse ne met donc pas en avant d'enseignements sur les autres volets garantissant également la qualité d'une opération (qualité architecturale et d'usage, bioclimatisme, économie de projet, etc.).

• Difficultés d'analyse et fiabilité des données

Les modes opératoires des instrumentations (postes pris en compte, mesures, transmission, acquisition et traitement des données) sont différents et spécifiques à chaque bureau d'études et à chaque opération. Par ailleurs, des défauts de comptage, de mesure et/ou de rapatriement des données ont été relevés, et certaines valeurs ont été extrapolées par les bureaux d'études en charge des suivis. Enfin, dans la réalisation même des rapports, certaines informations ne sont pas disponibles (exemple : orientation des bâtiments, plan masse ou comportement des usagers...). C'est pourquoi, des difficultés sont apparues dans l'analyse et le traitement des données, même si un certain nombre de précisions a été demandé aux bureaux d'études en charge des suivis.

• Peu d'études de l'impact des mesures correctives prescrites à l'issue de la première année de suivi

Le suivi du fonctionnement d'un bâtiment sur deux ans a pour objectif de quantifier les gains obtenus par les mesures correctives mises en place à l'issue de l'année 1. Or, cela est rarement le cas car le processus d'analyse, d'échange avec le maître d'ouvrage puis de décision de modification est très long. Les rapports de l'année 2 ont donc surtout pour but de « *confirmer les résultats de la première période de suivi mais aussi de faire émerger d'éventuelles dérives et à observer le comportement du bâtiment dans la durée.* » (ENERTECH).

MÉTHODOLOGIE

RAPPORTS DE SUIVI

Le cahier des charges d'intervention de l'ADEME pour les bureaux d'études ayant réalisé les campagnes de mesures et de suivi est unique mais les modes opératoires (mesures, transmission, acquisition et traitement des données) sont différents et spécifiques à chaque opération. La période d'observation s'étale sur 12 à 24 mois. L'acquisition des données se fait à un pas de temps très court pour permettre l'analyse des résultats en détail.

Les rapports produits par les bureaux d'études à l'issue de ces campagnes (après chaque année) comprennent en général :

- Une présentation de l'opération et de ses objectifs de consommation,
- La méthodologie d'instrumentation et de suivi,
- Un bilan des performances du bâtiment, par poste et par équipement technique associé à des études détaillées de consommation énergétique,
- Un bilan sur le confort (thermique, visuel, sanitaire...),
- Des pistes d'économies d'énergies envisageables chiffrées.

RÉDACTION DU RAPPORT

Le rapport a été rédigé par le groupe de travail « Évaluation » de Ville et Aménagement Durable, composé des 4 bureaux d'études rhônalpins : Alto Ingénierie, Egis, Etamine, Tribu et d'un centre de recherche : Cylergie ENGIE Lab, sur la base des rapports de suivi réalisés par le Cerema (ex-CETE), COSTIC, ENERTECH, Etamine, MANASLU.

Des échanges ont eu lieu durant la rédaction du rapport avec :

- Les bureaux d'études ayant réalisé ces suivis,
- Des professionnels des projets pour compléter les rapports de suivi,
- Des professionnels de la filière permettant de faire un point sur les solutions techniques disponibles, les avancées technologiques, les difficultés couramment observées, les retours d'expériences en termes de mode de faire...
- Les administrateurs de VAD,
- L'ADEME et la Région Rhône-Alpes.

Par ailleurs, certains sujets ont été soumis à débat lors d'un atelier organisé le 3 avril 2014 à Lyon auquel ont participé des architectes, bureaux d'études, exploitants, gestionnaires, maîtres d'ouvrage ainsi que des constructeurs.

Cette rédaction à plusieurs mains permet d'aller au-delà des rapports d'analyse grâce au débat et au croisement d'expériences, pour une amélioration des pratiques techniques et organisationnelles.

OPÉRATIONS ANALYSÉES

Concernant le choix des opérations, il s'agissait de disposer de plusieurs typologies de bâtiments (tertiaire, logement, enseignement, petite enfance...) réparties sur l'ensemble du territoire rhônalpin, en ne se limitant pas à la construction neuve. Néanmoins, à la date de lancement de l'étude (mi-2013), peu de rapports traitaient de rénovation, c'est pourquoi l'échantillon ne contient qu'un seul projet rénové. Pour la même raison, seul un bâtiment d'enseignement (groupe scolaire) et une structure petite enfance (crèche) sont pris en compte.

• Typologie :

14 opérations en Rhône-Alpes avec :

- 13 constructions / 1 réhabilitation,
- 6 logements collectifs, 6 bâtiments de bureaux, 1 crèche, 1 groupe scolaire.

• Livraison des bâtiments :

Entre 2006 et 2011 :

- 2006 : 3 opérations, 2008 : 1 opération, 2009 : 3 opérations, 2010 : 6 opérations, 2011 : 1 opération.

• Surface :

- De 410 à 8 900 m²_{SHON}
- dont 8 opérations de plus de 1 000 m²_{SHON}

• Répartition géographique

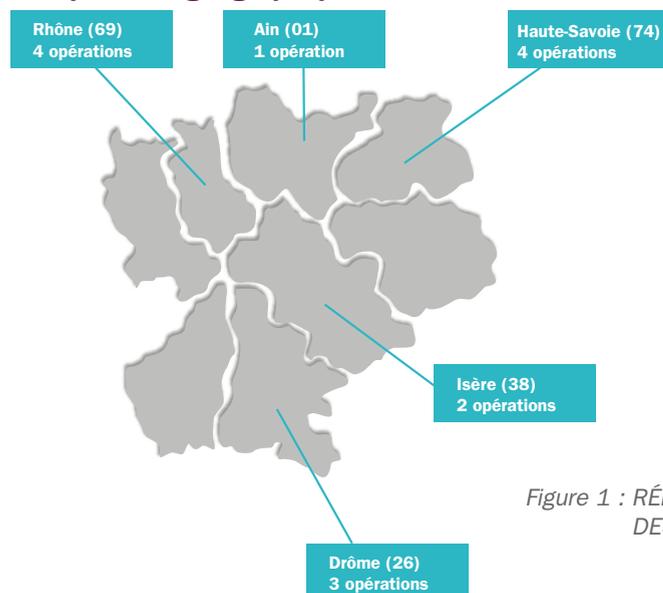


Figure 1 : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES 14 OPÉRATIONS

• Niveau de consommation énergétique visé

Les projets sont majoritairement soumis à la RT 2005 (quelques projets à la RT 2000) et les niveaux de consommations énergétiques visés sont variables : label BBC Effinergie (1 bâtiment de bureaux et 1 bâtiment de logement), label Minergie (2 bâtiments de logements), passif (1 bâtiment de logement), énergie positive (3 bâtiments de bureaux) ou aucun objectif affiché.

• Descriptif technique des opérations

ANONYMAT DES PROJETS

Les opérations sont rendues anonymes dans le rapport.

Néanmoins, nous y ferons référence ainsi :

Exemple 1 :

L4-4 logts-BBC2005-26

- L4 : Opération de logements n°4,
- 4 logts : 4 logements,
- BBC 2005 : Niveau de consommation BBC 2005,
- 26 : Département de la Drôme.

Exemple 2 :

GS-Rehab - 700 m² - 69

- GS : Groupe scolaire,
- Rehab : Réhabilitation,
- 700m² : surface de 700 m²_{SHON}
- 69 : Département 69.

DESCRIPTIF TECHNIQUE SUCCINCT

Opération	Murs extérieurs	Vitrage	Ubat (W/m ² .K)	Production de chaud	Ventilation	Autres
L1-15 logts-74	Béton + ITE 10 cm PSE	DV châssis PVC	NC	Chaudière gaz	Simple flux hygro	ECS solaire
L2-51 logts-Minergie-74	Béton + ITE 16 cm PSE	DV châssis PVC	0,57	Chaudière gaz/bois	Double flux	-
L3-15 logts-Minergie-74	Béton + ITE 16 cm PSE	DV châssis PVC	0,51	Chaudière gaz	Double flux	ECS solaire
L4-4 logts-BBC2005-26	Agglo - structure béton + ITE 20 cm PSE	DV ou TV châssis bois	0,41	PAC sur nappe	Double flux	ECS solaire
L5-30 logts-69	Béton + ITE 15 cm PSE	DV châssis PVC	0,45	Réseau chaleur	Double flux	ECS solaire
L6-16 logts-38	Bois-béton + 12 cm + 5 cm LV	DV châssis PVC	0,6	Chaudière gaz/solaire	Double flux	ECS solaire

Opération	Murs extérieurs	Vitrage	Ubat (W/m ² .K)	Production de chaud	Production de froid	Ventilation
B1-550m²-26	Monomur 37,5 cm	DV châssis bois	NC	Chaudière gaz	Aucune	Simple flux hygro
B2-1700m²-BEPOS-38	Béton + ITE 18 cm PSE	TV châssis bois-alu	0,31	PAC sur nappe	Freecooling sur nappe	Double flux
B3-8900m²-BEPOS-69	Panneau 17 cm laine minérale + ITI 5 cm LV	TV châssis alu	0,64	Chaudière bois/gaz - cogénération huile	Freecooling sur nappe	Double flux
B4-4500m²-BEPOS-69	Béton + ITE PSE 20 cm	TV châssis bois-alu	0,35	PAC géothermique horizontale	PAC géothermique horizontale	Double flux
B5-3250m²-26	Monomur 49 cm	DV châssis bois	0,45	Chaudière gaz	Groupe froid	Double flux
B6-700m²-BBC-74	Béton + ITE PSE 20 cm ou zinc + 8 cm polyuréthane + 8 cm LR	DV châssis bois et alu	0,68	PAC géothermique sur sondes verticales	PAC géothermique sur sondes verticales	Double flux

Opération	Murs extérieurs	Vitrage	Ubat (W/m ² .K)	Production de chaud	Ventilation	Autres
Crèche-1850m²-01	Monomur 37,5 cm + 16 cm ouate de cellulose	DV châssis bois	0,46	Chaudière gaz	Simple flux débit variable	Puits climatique
GS-Rehab-700m²-69	Béton + ITE laine de roche	DV châssis bois	NC	Chaudière bois	Double flux	-

Figure 2 : DESCRIPTIF TECHNIQUE SUCCINCT DES 14 OPÉRATIONS

DESCRIPTIF TECHNIQUE DÉTAILLÉ

Pour disposer de clefs de compréhension tout au long de la lecture du rapport, le lecteur pourra se référer au tableau présenté en annexe 1 qui présente les caractéristiques détaillées de chaque opération.

Pour avoir accès à des éléments plus détaillés issus des rapports, contactez la direction régionale Rhône-Alpes de l'ADEME (hakim.hamadou@ademe.fr).

Partie II



BILAN ÉNERGÉTIQUE



— BILAN ÉNERGÉTIQUE —

Ce chapitre traite :

- du **BILAN ÉNERGÉTIQUE GLOBAL** et par poste des différents projets,
- de l'**ÉVOLUTION DES CONSOMMATIONS** entre l'année 1 et l'année 2 du suivi pour un projet de bureaux,
- de la **COMPARAISON DES CONSOMMATIONS MESURÉES TOTALES ET PRÉVISIONNELLES** établies par simulation thermique dynamique pour deux bâtiments tertiaires visant l'énergie positive.

Comparaison entre les consommations réelles mesurées et les consommations réglementaires

Aucune comparaison n'est réalisée entre ces deux types de consommations. En effet, le calcul réglementaire est basé sur des méthodes de calculs et des hypothèses conventionnelles. Les valeurs de consommation réglementaires ne peuvent donc en aucun cas servir de base à une estimation des consommations réelles.

Par ailleurs, ce sujet fait l'objet d'une étude menée actuellement par le Cerema (*voir annexe 2*).

Chaque bilan énergétique est associé à un tableau de caractéristiques des opérations afin de donner au lecteur quelques clefs de compréhension (*caractère non exclusif des caractéristiques présentées*).

BILAN ÉNERGÉTIQUE GLOBAL

■ Tendances :

AVERTISSEMENT. Les consommations présentées doivent être replacées dans leur contexte : il s'agit de valeurs obtenues sur des bâtiments livrés depuis presque dix ans pour certains et avant la mise en place d'importantes mesures correctives visant à en améliorer les performances

énergétiques globales. Derrière ces valeurs peuvent se cacher des dysfonctionnements d'équipements et de comptage, des installations non opérationnelles (ex : installations photovoltaïques), des occupations partielles de locaux...

SUR CE PANEL, les consommations globales mesurées, tous usages confondus, sont comprises :

- entre 160 et 190 kWhep/m²_{SHON}.an en logement
 - entre 80 et 140 kWhep/m²_{SHON}.an en bureaux
- et égales à 90 (groupe scolaire) et 150 kWhep/m²_{SHON}.an (crèche)

Les enseignements par poste (chauffage, ventilation...) sont présentés dans les chapitres suivants.

Néanmoins, il est important à ce stade de souligner le poids majeur de l'électricité spécifique (bureautique et serveurs, ascenseurs, appareils électrodomestiques, téléphonie, machines à café, automatismes des bâtiments...) dans le bilan énergétique, toutes typologies confondues. Celle-ci représente entre 25% et 60% de l'énergie globale primaire consommée en logements et en bureaux.

En particulier, le poste bureautique et serveur représente, dans les bâtiments de bureaux visant l'énergie positive, 30% à 50% des consommations totales. Cela met en évidence l'importance de raisonner à l'échelle globale du bâtiment pour en limiter ses consommations, et qu'à ce titre, on ne peut pas concevoir un projet performant sur

la base du calcul réglementaire. Par ailleurs, le poids du chauffage dans le bilan global est variable mais reste le deuxième poste de consommation.

Coefficients conventionnels de conversion énergie primaire / énergie finale :

- Électricité : 2,58
- Biomasse (bois, huile) : 0,6
- Autres sources d'énergie : 1

Les projets non représentés sont ceux pour lesquels certaines données de consommation sont indisponibles.

• LOGEMENTS

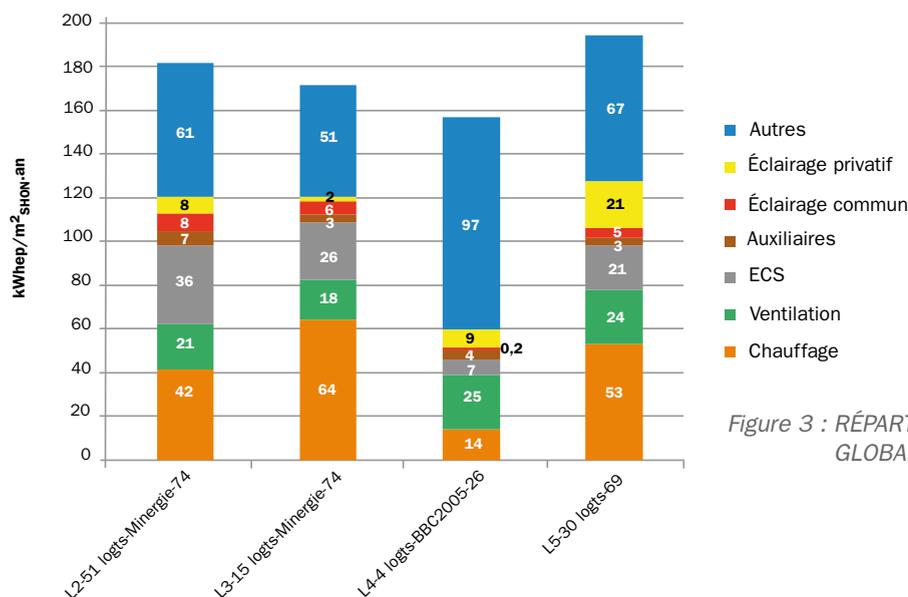
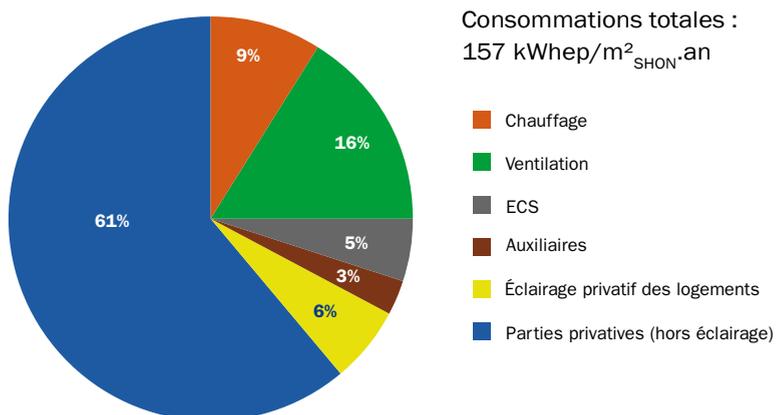


Figure 3 : RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION GLOBALE DES LOGEMENTS

Opération	Production de chaud	Ventilation	Autres
L2-51 logts-Minergie-74	Chaudière gaz/bois	Double flux	-
L3-15 logts-Minergie-74	Chaudière gaz	Double flux	ECS solaire
L4-4 logts-BBC2005-26	PAC sur nappe	Double flux	ECS solaire
L5-30 logts-69	Réseau chaleur	Double flux	ECS solaire

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Zoom opération L4-4 logts-BBC2005-26



Consommations totales :
157 kWhep/m²_{SHON}.an

Sur cette opération de niveau BBC équipée d'une PAC sur nappe, d'une ventilation double flux avec récupération de chaleur et d'une installation solaire thermique, **la consommation des parties privatives (hors éclairage) représente 61% de la consommation totale.**

Figure 4 : RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION de l'opération L4-4 logts-BBC2005-26

• BUREAUX

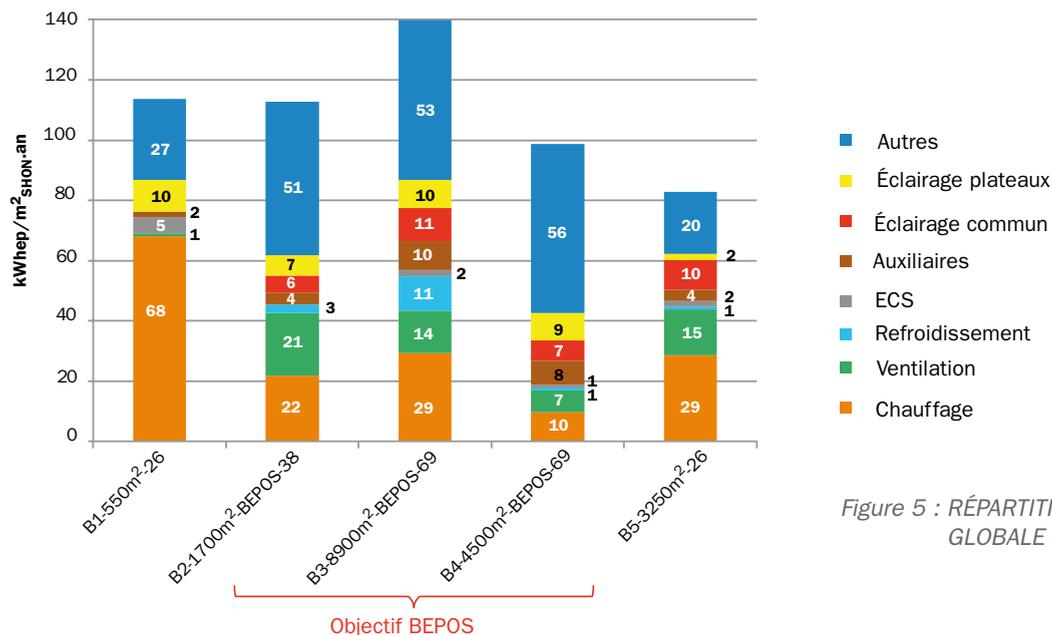


Figure 5 : RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION GLOBALE DES BUREAUX

Opération	Production de chaud	Production de froid	Ventilation
B1-550m²-26	Chaudière gaz	Aucune	Simple flux hygro
B2-1700m²-BEPOS-38	PAC sur nappe	Freecooling sur nappe	Double flux
B3-8900m²-BEPOS-69	Chaudière bois/gaz-cogénération huile	Freecooling sur nappe	Double flux
B4-4500m²-BEPOS-69	PAC géothermique horizontale	PAC géothermique horizontale	Double flux
B5-3250m²-26	Chaudière gaz	Groupe froid	Double flux

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

■ Focus sur les 3 bâtiments visant l'objectif « énergie positive » :

Sur ces graphiques, la production photovoltaïque n'est pas représentée. Néanmoins, sur l'année de mesure, le taux de couverture sur :

- L'opération B2-1700m²-BEPOS-38 est de 57% alors que l'occupation est partielle,
- L'opération B4-4500m²-BEPOS-69 est de 81% (sachant que des dysfonctionnements sur certains onduleurs sont apparus).

Quant à l'opération B3-8900m²-BEPOS-69, la production est nulle (installation photovoltaïque non raccordée).

Zoom opération B3-8900m²-BEPOS-69

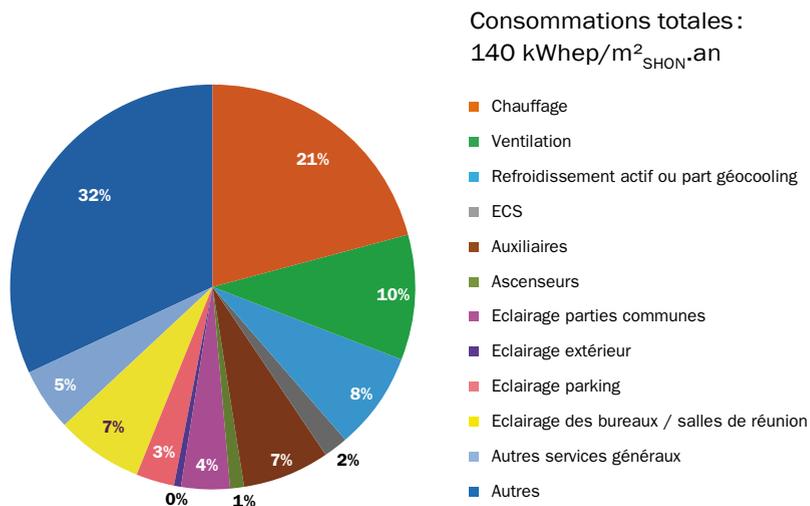


Figure 6 : RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION de l'opération B3-8900m²-BEPOS-69

Sur cette opération visant le niveau « énergie positive », équipée de chaudières à granulés de bois avec appoint gaz, d'une cogénération à l'huile végétale et d'une ventilation double flux avec récupération de chaleur, **la consommation d'électricité spécifique des parties bureaux (hors éclairage) représente 32% de la consommation totale.**

• ENSEIGNEMENT ET PETITE ENFANCE

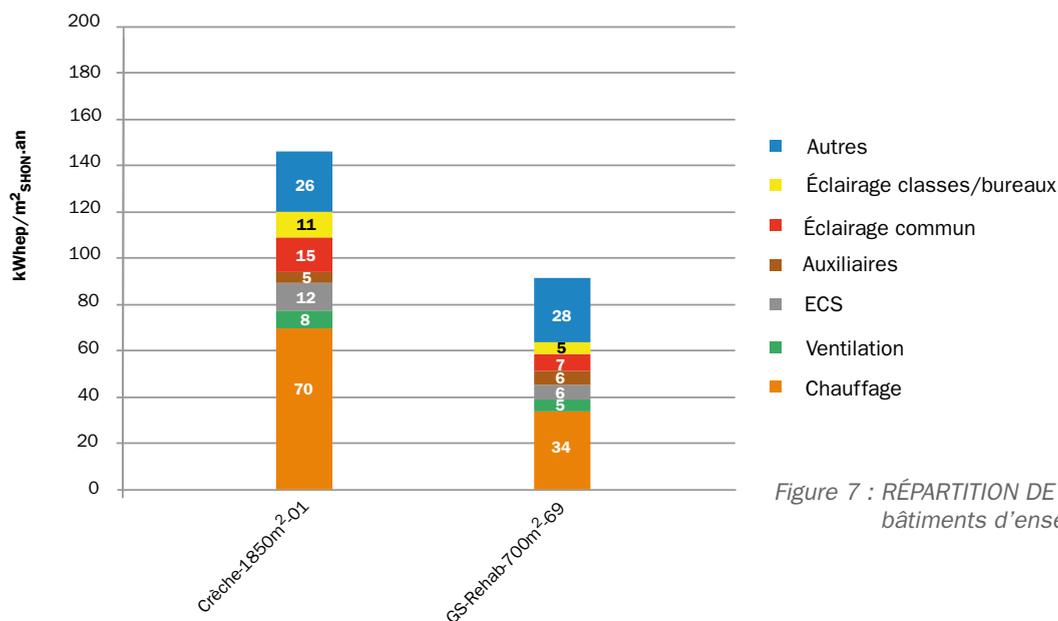


Figure 7 : RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION GLOBALE des bâtiments d'enseignement et de petite enfance

Opération	Production de chaud	Ventilation	Autres
Crèche-1850m ² -01	Chaudière gaz	Simple flux débit variable	Puits climatique
GS-Rehab-700m ² -69	Chaudière bois	Double flux	-

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

ÉVOLUTION DES CONSOMMATIONS ENTRE DEUX ANNÉES DE MESURE

L'intérêt d'une période d'observation de deux ans est notamment de juger des gains obtenus suite à la mise en place des dispositions correctives préconisées à l'issue de la première année de mesure.

Au moment de la réalisation de l'étude, les rapports d'analyse sur deux années n'étaient disponibles que sur cinq des quatorze projets étudiés.

Pour quatre de ces cinq projets, compte tenu de la date à laquelle le rapport de la première année de suivi a été terminé, les préconisations n'ont pu être mises en œuvre à l'issue de cette première année. Les consommations globales sont relativement stables et la deuxième année de suivi n'a permis en réalité que de conforter l'analyse réalisée précédemment.

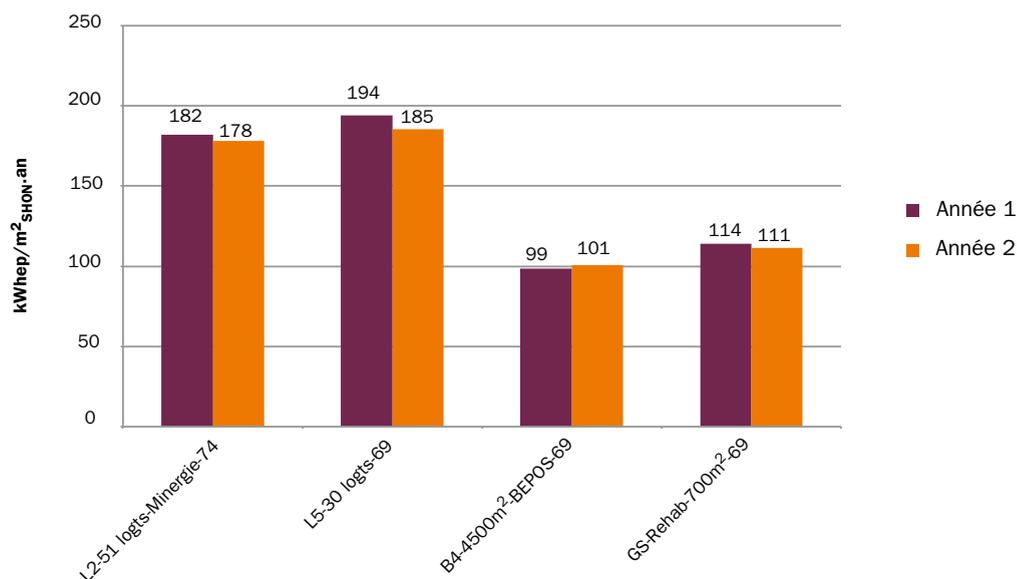


Figure 8 : ÉVOLUTION DES CONSOMMATIONS ENTRE L'ANNÉE 1 ET L'ANNÉE 2
(graphique réalisé à partir des données COSTIC, Etamine et ENERTECH)

En revanche, sur le cinquième projet (cf. ci-contre : [Zoom opération : B6-700m²-BBC-74](#)) qui a pu intégrer les mesures correctives dès la fin de la première année, des gains énergétiques sont obtenus et visualisables dès la fin de la deuxième année de suivi.

Ainsi, lorsqu'une mission de suivi est prévue sur deux ans, il est indispensable de s'assurer que l'analyse pourra être réalisée suffisamment tôt pour que la deuxième année de mesure puisse mettre en évidence les gains réalisés et les mesures correctives complémentaires à effectuer.

Zoom opération : B6-700m²-BBC-74

Sur cette opération, les mesures correctives ont été intégrées dès la fin de la première année.

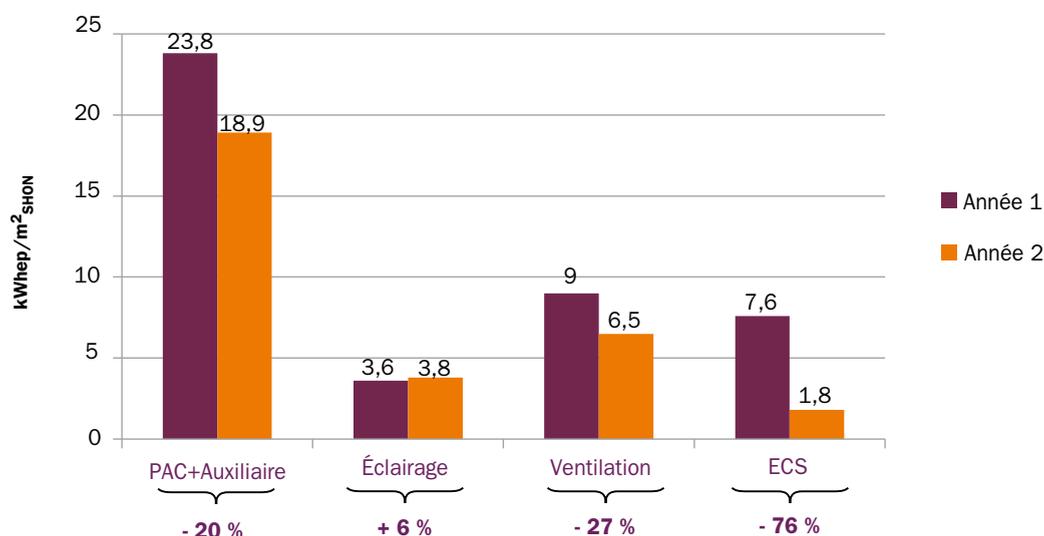


Figure 9 : ÉVOLUTION DES CONSOMMATIONS DES POSTES RÉGLEMENTAIRES ENTRE L'ANNÉE 1 ET L'ANNÉE 2 (graphique réalisé à partir des données de MANASLU)

Une baisse globale de 30% des consommations électriques (postes éclairage, chauffage, rafraîchissement, ventilation et ECS) est observée entre les deux années de mesure. À l'exception du poste éclairage, les autres postes réglementaires subissent une baisse allant de 20% à 76%.

Mesures correctives associées à ces gains énergétiques

- Réduction de la puissance du circulateur de distribution de la PAC associée à des conditions climatiques plus favorables et une température d'air intérieur plus basse,
- Meilleure planification de la ventilation,
- Mise en place d'un interrupteur horaire sur l'alimentation de la production d'ECS (autorisation de l'alimentation du ballon de 5 h à 9 h du lundi au vendredi).

Cet exemple illustre bien l'intérêt du suivi et de la mise en place des modifications préconisées, compte tenu des gains importants obtenus.

COMPARAISON DES CONSOMMATIONS MESURÉES TOTALES ET PRÉVISIONNELLES

Deux des quatorze projets intègrent une réflexion sur la comparaison entre les valeurs mesurées par poste et les valeurs prévisionnelles calculées par simulation thermique dynamique (STD)². L'objectif pour ces bâtiments de bureaux visant l'énergie positive est de comprendre et d'identifier les causes des écarts de consommation pour chacun des postes.

Zoom opération 1 : B3-8900m²-BEPOS-69

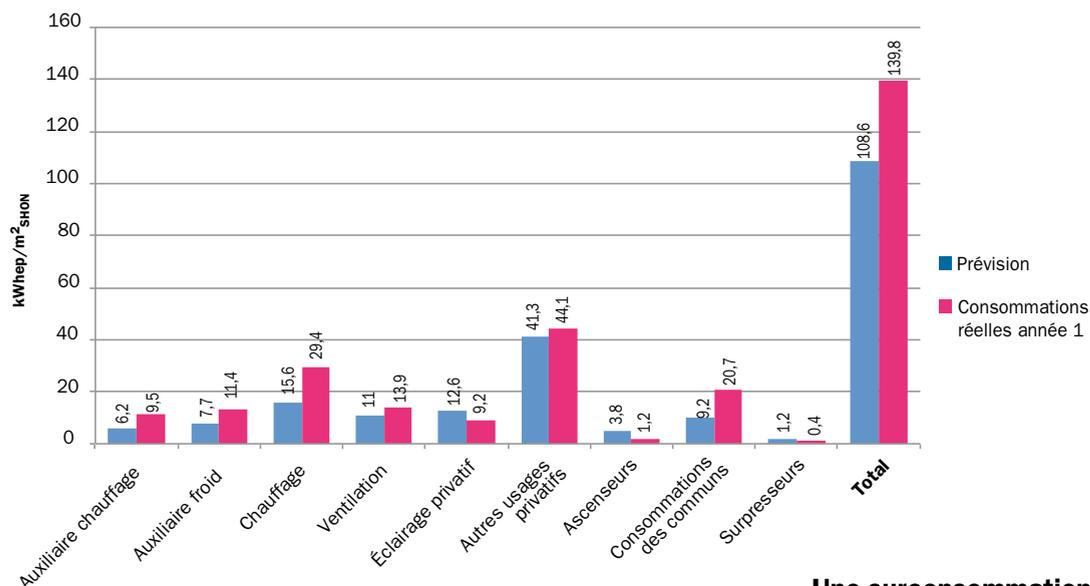


Figure 10 : COMPARAISON ENTRE LES CONSOMMATIONS MESURÉES ET PRÉVISIONNELLES totales et pour chaque usage (graphique réalisé à partir des données d'Etamine)

Une surconsommation de près de 40% est observée entre les consommations réelles et le prévisionnel établi par STD (dites consommations d'objectif).

■ Principales mesures correctives :

AUXILIAIRES DE CHAUFFAGE ET DE FROID

- Loi de régulation avec pression différentielle en fonction de l'ouverture des vannes,
- Modification de la régulation de chauffage et de froid afin que celle-ci soit indépendante des sondes de température intérieures des zones, étant donné l'inertie très importante du système de dalle active,
- Optimisation des périodes d'autorisation de fonctionnement de la pompe sur nappe,
- Augmentation des températures de consigne de froid.

² Le terme de simulation thermique dynamique (STD) est le plus couramment utilisé aujourd'hui ; toutefois il serait plus juste de parler de SED (Simulation Énergétique Dynamique) car l'ensemble des usages énergétiques (ventilation, éclairage, bureautique...) est inclus. À noter qu'il s'agit du même calcul quel que soit le terme utilisé.

CHAUFFAGE

- Résolution de problématique d'étanchéité à l'air,
- Augmentation de la période de fonctionnement de la cogénération et des chaudières bois plutôt que du gaz.

VENTILATION

- Optimisation des horaires de fonctionnement ou réduction des périodes d'autorisation de relance thermique des CTA,
- Résolution de la problématique d'étanchéité à l'air des réseaux.

USAGES PRIVATIFS

- Passage d'un technicien pour optimiser les réglages des mâts d'éclairage et sensibilisation des utilisateurs,
- Identification par lots des principaux postes de consommations électriques et recommandations aux preneurs pour les réduire.

CONSOMMATIONS DES COMMUNS

- Coupure des ballons d'eau chaude dans les sanitaires dès que le chauffage n'est plus en fonctionnement,
- Isolation complémentaire des ballons,
- Augmentation de la température de consigne de tous les locaux serveurs,
- Optimisation des commandes d'éclairage des communs : atrium, parking et extérieur.

Sur ce projet, la troisième année d'exploitation menée par le maître d'ouvrage montre que la surconsommation par rapport à l'objectif n'est plus que de 7 %.

Consommation totale (kWh _{ep} /m ² _{SHON})			
Objectif	2012	2013	2014
98,9	139,8	113	106,2

Zoom opération 2 : B4-4500m²-BEPOS-69

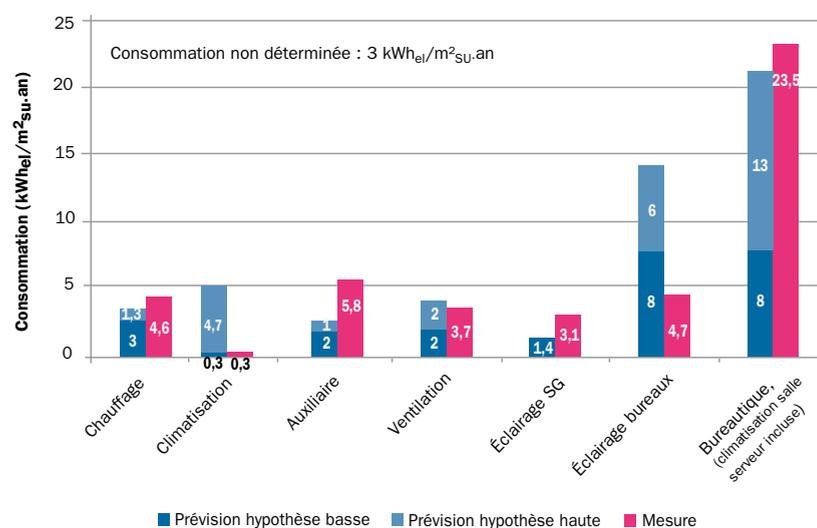


Figure 11 : COMPARAISON ENTRE LES CONSOMMATIONS MESURÉES ET PRÉVISIONNELLES (HYPOTHÈSES HAUTE ET BASSE) pour chaque usage (l'hypothèse basse considère un comportement sobre des usagers) – source ADEME / ENERTECH

D'après ENERTECH, « la consommation [globale mesurée] est proche de l'hypothèse haute, traduisant essentiellement un comportement peu vertueux des usagers mais également quelques dysfonctionnements des installations techniques » et ce, alors que l'occupation n'est pas maximale.

■ Principales mesures correctives :

- Onduleurs photovoltaïques à mettre en service et performance à pérenniser,
- Réglage de la consigne de température du local serveur à 26 °C,
- Fonctionnement de la CTA en période d'occupation uniquement,
- Reparamétrage de la variation de vitesse des pompes,
- Reparamétrage de l'horloge de l'éclairage atrium,
- Suppression des allumages intempestifs du parking,
- Arrêt des machines à café des cafétérias la nuit,
- Utilisation systématique de l'interrupteur de coupure générale de l'ensemble des prises électriques,
- Repérage des interrupteurs pilotant l'éclairage des différentes zones pour éviter les oublis et information des usagers et du personnel d'entretien.

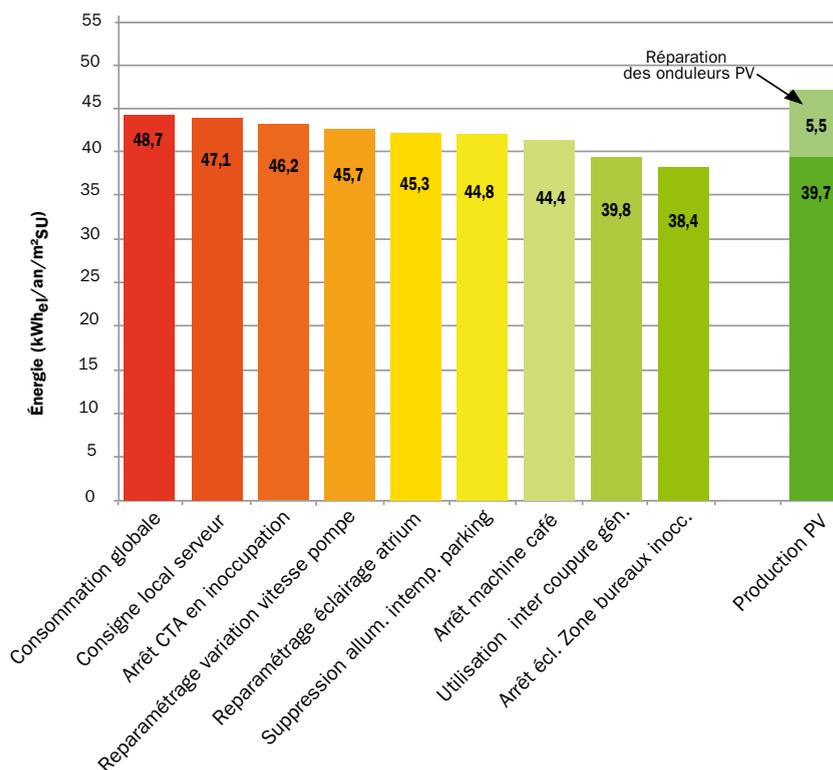


Figure 12 : QUE FAIRE POUR QUE LE BÂTIMENT SOIT À ÉNERGIE POSITIVE ? – source ADEME / ENERTECH

Selon ENERTECH : « On pourrait facilement atteindre l'objectif de bâtiment à énergie positive dans la configuration actuelle. Cependant si le nombre d'occupants augmente cela ne sera plus possible, à moins que les usagers adoptent des équipements et un comportement plus sobre. »

REMARQUE SUR LE RÔLE DE LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

Il existe trois types de calculs par simulation thermique

Phases de réalisation de la simulation	Objectif
En cours de conception	Optimiser les principes de conception, par l'évaluation de l'impact de variantes sur les consommations
Fin de conception	Valider l'atteinte d'un objectif de consommation ou de confort, en vue d'une réponse à une certification la plupart du temps
À la date de prise d'engagement de performance énergétique *	Établir un prévisionnel, voire un engagement de consommation

* De manière générale, sur les PPP ou les CPE, cet engagement se fait au moment du dépôt de l'offre finale, correspondant à une phase APD. Une mise à jour des calculs peut ensuite être faite avec les évolutions du projet en phase PRO.

L'approche de ces trois types de STD est différente et le niveau de détail pour la réalisation du calcul ne sera pas le même, aussi bien au niveau du zonage que des hypothèses de présence, d'enveloppe...

L'engagement énergétique par le biais de la STD est décrit par le protocole international IPMVP (rédigé initialement pour la rénovation mais qui s'applique également au neuf). L'option D de ce protocole consiste en effet à établir un modèle thermique dynamique du bâtiment pour en prévoir les consommations après travaux.

L'option D prévoit que les études par STD, en plus d'établir un prévisionnel de consommation :

- Listent les paramètres d'influence non maîtrisables à la construction mais ayant un impact fort sur les consommations (météo, consignes intérieures, taux d'occupation, niveau d'équipement...),
- Parmi les paramètres les plus influents, déterminent ceux qui seront mesurés en exploitation,
- Établissent des lois polynomiales de correction de la consommation prévisionnelle en fonction de la valeur réellement mesurée de ces paramètres.

À la fin de la première année d'exploitation et de mesure, la STD est recalibrée à partir des consommations réelles.

Chaque année à partir de la deuxième année, la consommation prévisionnelle ainsi établie peut être corrigée à l'aide de ces lois en fonction des valeurs réelles mesurées des paramètres d'influence par l'exploitant ou l'Energy Manager, sans avoir à réaliser une STD.

Dès lors qu'il y a demande d'engagement énergétique sur un bâtiment, ce type d'approche peut être mis en place.

Partie III

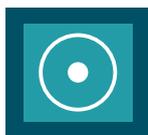


LES ENSEIGNEMENTS PAR POSTE



LES ENSEIGNEMENTS PAR POSTE





Intitulé	Acteurs concernés	Page
CHAUFFAGE		
FOCUS N°01 - Des habitudes de dimensionnement et de réglage des équipements de chauffage et d'ECS à remettre en cause	Pr - Mo - Moe - entrepr - exploit	50
FOCUS N°02 - Les circulateurs à l'écoute du bâtiment	Moe - entrepr - exploit	52
FOCUS N°03 - Le réduct de nuit, pas automatique	Mo - Moe - exploit	55
FOCUS N°04 - L'impact du calorifugeage non négligeable	Pr - Moe - entrepr - exploit	59
FOCUS N°05 - Le puits climatique, été comme hiver	Mo - Moe - entrepr - exploit	64
FOCUS N°06 - L'impact de l'usager sur ses consommations énergétiques et son confort	Pr - Mo - Moe - exploit - usager	68
FOCUS N°07 - La qualité de l'enveloppe : limitation des déperditions thermiques et renforcement de l'étanchéité à l'air	Mo - Moe - entrepr	77
EAU CHAUDE SANITAIRE		
FOCUS N°08 - Quelles solutions pour l'ECS en tertiaire ?	Pr - Mo - Moe	86
FOCUS N°09 - Installations solaires thermiques : la simplicité à privilégier	Mo - Moe - entrepr - exploit	88
RAFRAÎCHISSEMENT		
FOCUS N°10 - L'informatique aime le froid mais supporte aussi le chaud	Pr - Mo - Moe - exploit	96
VENTILATION		
FOCUS N°11 - La vérification des débits et pressions de ventilation : une étape primordiale en fin de chantier	Mo - Moe - entrepr - exploit	106
FOCUS N°12 - Précautions autour de l'utilisation d'une batterie de dégivrage	Moe	108
FOCUS N°13 - La régulation de la ventilation à débit variable	Moe - exploit	110
FOCUS N°14 - CTA double flux avec récupération de chaleur : des performances très variables	Moe	114
FOCUS N°15 - L'étanchéité à l'air des réseaux de ventilation	Pr - Mo - Moe - entrepr - exploit	118



Intitulé	Acteurs concernés	Page
ÉCLAIRAGE		
FOCUS N°16 - Le juste dimensionnement de l'éclairage	Pr – Moe	126
FOCUS N°17 - La consommation de l'éclairage en veille	Moe – exploit - usager	130
FOCUS N°18 - L'optimisation de l'éclairage des zones « annexes » non compris dans les calculs réglementaires	Pr – Moe	132
BUREAUTIQUE ET AUTRES USAGES DE L'ÉLECTRICITÉ		
FOCUS N°19 - Un poste devenu majeur : la bureautique et les serveurs	Mo – exploit - usager	141
FOCUS N°20 - L'optimisation énergétique des ascenseurs	Moe – entrepr	144
CONFORT		
EXPLOITATION - MAINTENANCE		
FOCUS N°21 - Un exploitant impliqué et responsabilisé, un gage de performance	Mo – exploit	156
FOCUS N°22 - Prudence concernant la surtechnologie	Pr – Mo – Moe	158
FOCUS N°23 - Des données oui, mais des données suivies et fiables !	Mo – Moe – entrepr – exploit	159

Les acteurs concernés :

Pr :	Programmist
Mo :	Maître d'ouvrage
Moe :	Maître d'œuvre
Entrepr :	Entreprise
Exploit :	Exploitant
Usager :	Usager



CHAUFFAGE

CHAUFFAGE

RÉSUMÉ

Le chauffage est le poste énergétique qui a le plus été réduit dans les bâtiments neufs principalement grâce à un traitement plus poussé de l'enveloppe thermique, mais aussi avec l'amélioration des performances des équipements de production et d'émission. Mais face aux exigences de performance énergétique, de confort, de modularité et de gestion technique, les bâtiments sont devenus de plus en plus complexes, avec une multiplication des systèmes techniques et donc de leurs interactions.

Les opérations analysées mettent en évidence que cette complexification des équipements et des réseaux de chauffage peut entraîner des consommations non attendues, des problèmes de maintenance ou des inconforts. C'est pourquoi ces installations doivent faire l'objet d'une attention particulière dès les premières phases du projet, et jusqu'à l'exploitation, avec une vigilance accrue sur le chantier et la mise en service du bâtiment. Que ce soit le réglage d'une

loi d'eau, l'asservissement d'un circulateur ou la programmation des périodes d'occupation, ces « imperfections » d'hier deviennent aujourd'hui de vrais dysfonctionnements.

De manière générale, il est aujourd'hui indispensable de s'adapter au bâtiment en oubliant certaines habitudes : dimensionnement des équipements de production et d'émission à faire évoluer, asservissement des auxiliaires à prévoir, régulation par zones thermiques correspondant aux besoins et aux usages, inertie du bâtiment à prendre en compte, calorifuge des réseaux à améliorer...

Il est également fondamental d'impliquer les usagers dans cet objectif de performance, puisque leur comportement (en particulier la température ambiante demandée ou le temps d'ouverture des fenêtres) a un impact direct sur les consommations de chauffage.

BILAN ÉNERGÉTIQUE

• LOGEMENTS

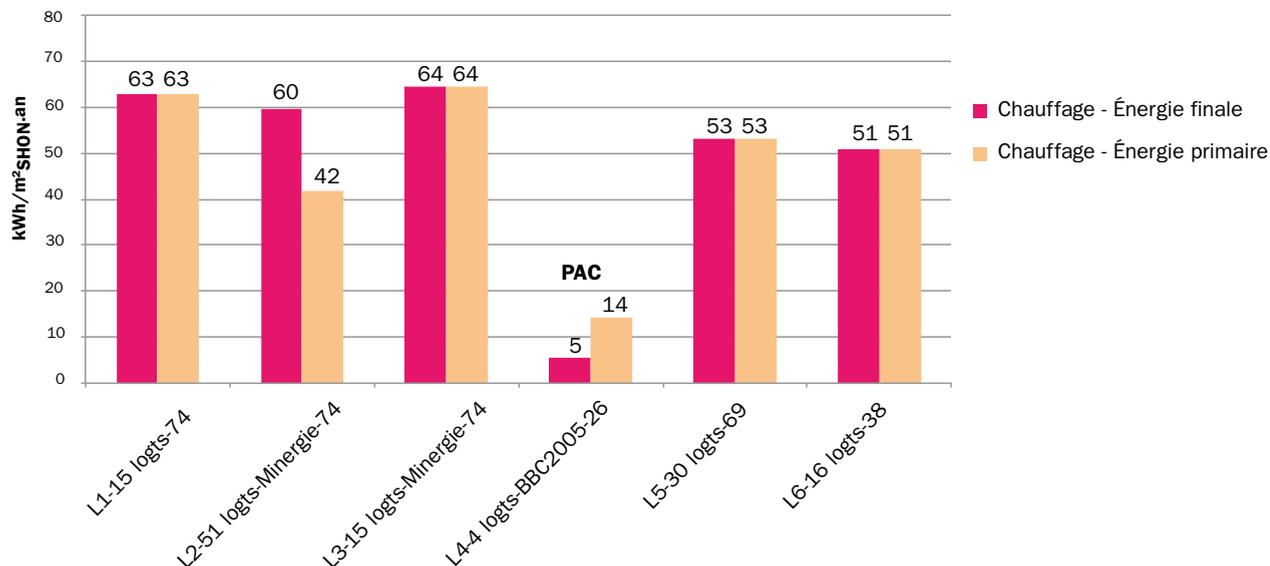


Figure 13 : CONSOMMATION DE CHAUFFAGE DES OPÉRATIONS DE LOGEMENTS

Opération	Production de chaud	DJU 18	T°C int moy hiver
L1-15 logts-74	Chaudière gaz	3 199	Salons : ~22
L2-51 logts-Minergie-74	Chaudière gaz/bois	2 602	20,9
L3-15 logts-Minergie-74	Chaudière gaz	3 123	22,2
L4-4 logts-BBC2005-26	PAC sur nappe	1 674	21,2
L5-30 logts-69	Réseau chaleur	2 330	22,7
L6-16 logts-38	Chaudière gaz/solaire	2 573	24,6

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Sur ce panel, les consommations de chauffage sont :

- comprises entre 42 et 64 kWh/m²_{SHON}.an
- égales à 14 kWh/m²_{SHON}.an pour l'opération avec PAC sur nappe

• BUREAUX

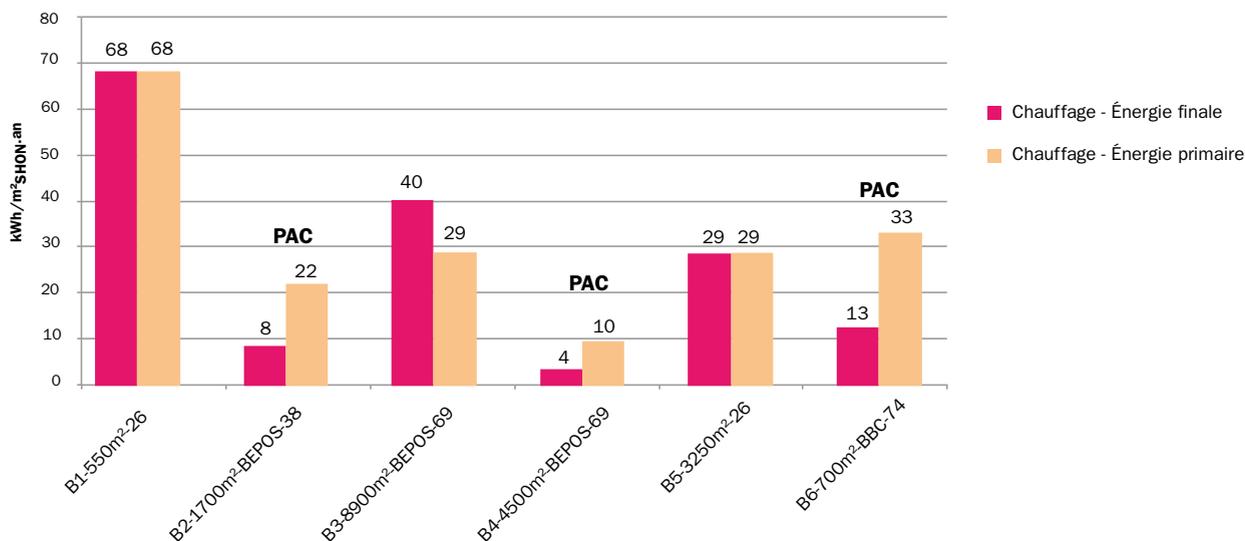


Figure 14 : CONSOMMATION DE CHAUFFAGE DES OPÉRATIONS DE BUREAUX

Opération	Production de chaud	DJU 18	T°C int moy hiver
B1-550m²-26	Chaudière gaz	2 092	23,15
B2-1700m²-BEPOS-38	PAC sur nappe	2 131	20,2
B3-8900m²-BEPOS-69	Chaudière bois/gaz - cogénération huile	2 162	22
B4-4500m²-BEPOS-69	PAC géothermique horizontale	2 273	20,5
B5-3250m²-26	Chaudière gaz	2 386	20,9
B6-700m²-BBC-74	PAC géothermique sur sondes verticales	2 697	NC

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Sur ce panel, les consommations de chauffage sont comprises entre :

- **29 et 68 kWhep/m²_{SHON}.an pour les opérations avec chaudière**
- **10 et 33 kWhep/m²_{SHON}.an pour les opérations avec PAC**

• ENSEIGNEMENT ET PETITE ENFANCE

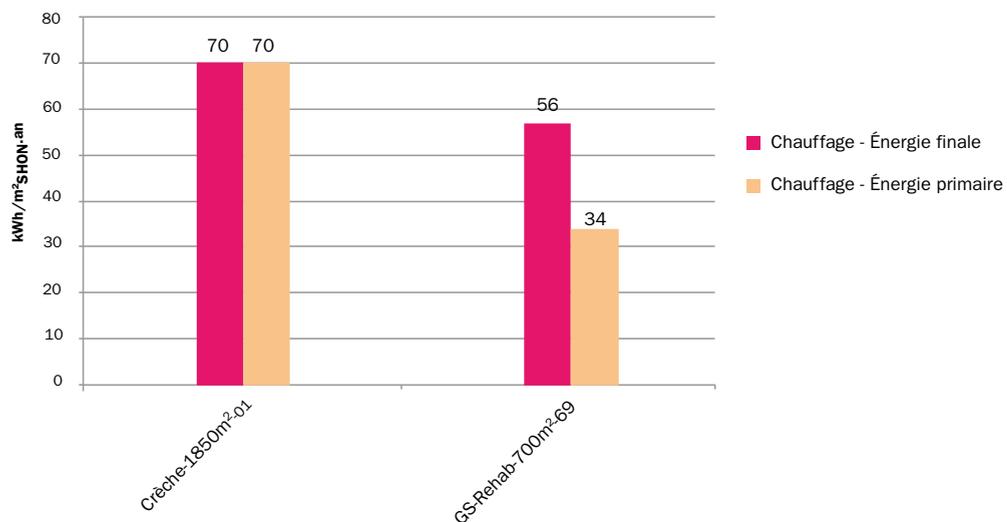


Figure 15 : CONSOMMATION DE CHAUFFAGE DES OPÉRATIONS D'ENSEIGNEMENT ET DE PETITE ENFANCE

Opération	Production de chaud	DJU 18	T°C int moy hiver
Crèche-1850m²-01	Chaudière gaz	2428	21
GS-Rehab-700m²-69	Chaudière bois	2077	19,4

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Pour les 2 opérations, les consommations de chauffage sont égales à 70 (crèche) et 56 kWh_{ep}/m²_{SHON}.an (groupe scolaire)

Bilan énergétique des auxiliaires

Sont comprises dans les auxiliaires les pompes de distribution de l'ECS et du chauffage.

• LOGEMENTS

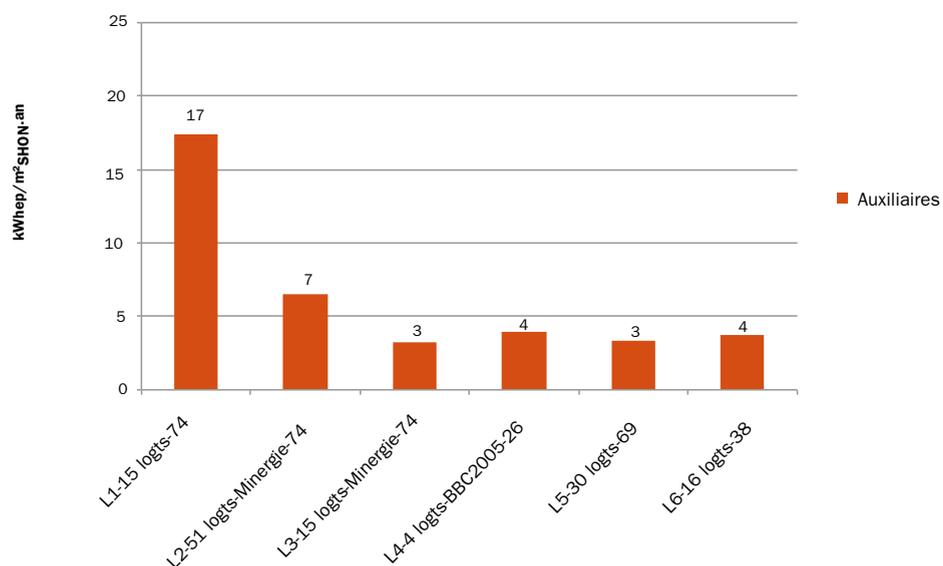


Figure 16 : CONSOMMATION DES AUXILIAIRES DES OPÉRATIONS DE LOGEMENTS

Opération	Production de chaud	Type de production de ECS
L1-15 logts-74	Chaudière gaz	Centralisé
L2-51 logts-Minergie-74	Chaudière gaz/bois	Centralisé par bâtiment
L3-15 logts-Minergie-74	Chaudière gaz	Centralisé
L4-4 logts-BBC2005-26	PAC sur nappe	Centralisé
L5-30 logts-69	Réseau chaleur	Centralisé
L6-16 logts-38	Chaudière gaz/solaire	Centralisé

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Sur ce panel, les consommations des auxiliaires sont comprises entre 3 et 17 kWh/m²_{SHON}.an

• BUREAUX

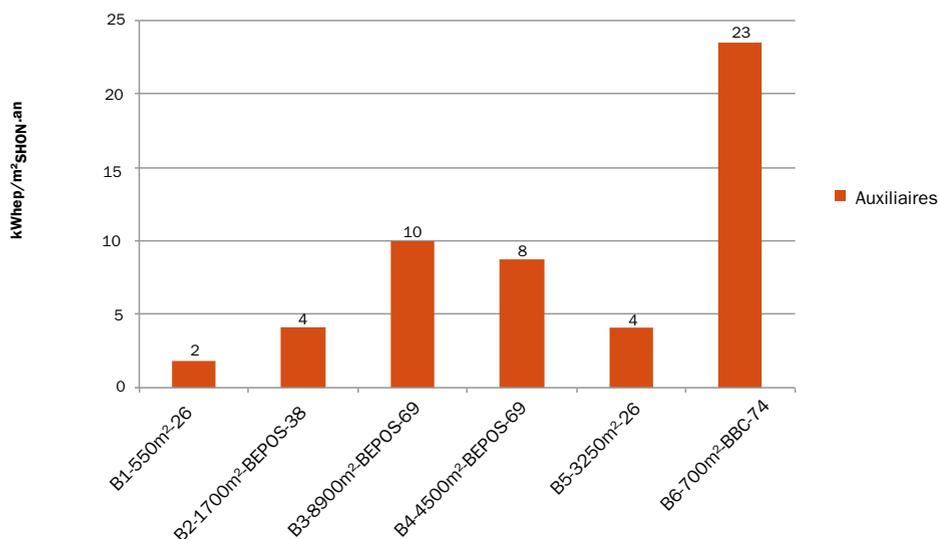


Figure 17 : CONSOMMATION DES AUXILIAIRES DES OPÉRATIONS DE BUREAUX

Opération	Production de chaud	Production de froid	Type ECS
B1-550m²-26	Chaudière gaz	Pas de refroidissement	Individuel
B2-1700m²-BEPOS-38	PAC sur nappe	Freecooling sur nappe	Pas d'ECS
B3-8900m²-BEPOS-69	Chaudière bois/gaz - cogénération huile	Freecooling sur nappe	Individuel
B4-4500m²-BEPOS-69	PAC géothermique horizontale	PAC géothermique horizontale + groupe froid (salles de formations)	Individuel
B5-3250m²-26	Chaudière gaz	Groupe froid	Individuel
B6-700m²-BBC-74	PAC géothermique sur sondes verticales	PAC géothermique sur sondes verticales	Centralisé

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Sur ce panel, les consommations des auxiliaires sont comprises entre 2 et 23 kWh/m²_{SHON}.an

• ENSEIGNEMENT ET PETITE ENFANCE

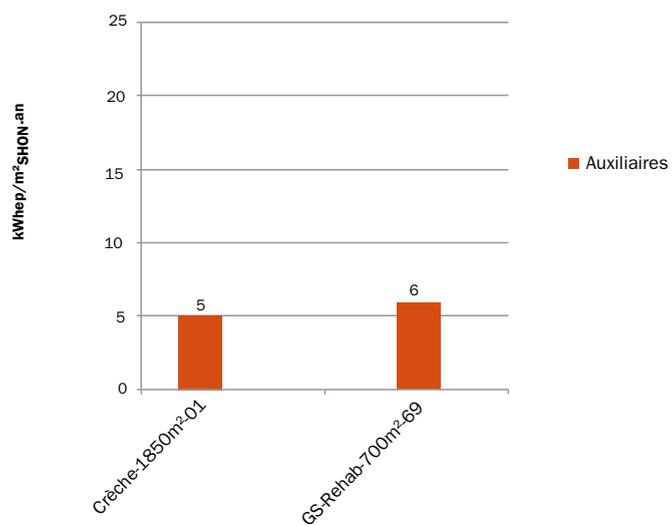


Figure 18 : CONSOMMATION DES AUXILIAIRES DES OPÉRATIONS D'ENSEIGNEMENT ET DE PETITE ENFANCE

Opération	Production de chaud	Type ECS
Crèche-1850m²-01	Chaudière gaz	Individuel
GS-Rehab-700m²-69	Chaudière bois	Centralisé

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Pour les 2 opérations, les consommations des auxiliaires sont égales à 5 (crèche) et 6 kWh/m²_{SHON}.an (groupe scolaire)

CONCEPTION					
Études / Dimensionnement					
Puissances des équipements	Revoir les habitudes de dimensionnement de chauffage (surpuissance) en considérant au plus juste les besoins réels du bâtiment afin d'éviter les faibles taux de charge des équipements et donc des rendements nettement diminués.	€	☀	01	50
Calorifugeage	Étudier le réseau de distribution de chauffage afin d'éviter les points singuliers difficiles à traiter et laisser l'espace nécessaire entre les gaines pour l'isolation souhaitée.	€	☀	04	59
Étanchéité à l'air de l'enveloppe	Soigner les détails de conception à l'interface menuiserie / paroi, aux interfaces matériaux, au niveau des joints de dilation, au niveau des passages de fluides.	€	☀	07	77
	Adapter les systèmes de ventilation obligatoires (trappes de désenfumage, ventilation gaine d'ascenseur non permanente ou contrôlée...) aux exigences d'étanchéité à l'air.			20	144
Organes de régulation	Dimensionner au plus juste les organes de régulation (pompes, vannes trois voies...) afin de réduire les consommations d'auxiliaires de chauffage.		☀		
	Bien réfléchir à l'emplacement des organes de régulation (compteurs, sondes...) afin de concevoir une installation de chauffage cohérente et fonctionnelle.		☀		
Ponts thermiques de l'enveloppe	Être particulièrement vigilant au traitement des balcons, des liaisons parois opaques / menuiseries, des murs rideaux. Prendre en considération la nécessité de résistance mécanique élevée pour les RDC impliquant parfois le choix d'une isolation par l'intérieur.	€			
Réseaux de chauffage	Concevoir une distribution des réseaux hydrauliques et aérauliques permettant une exploitation ajustée aux différents besoins d'un même bâtiment ; permettre par exemple une gestion spécifique de chaque plateau de bureaux (afin de pouvoir couper les réseaux en cas de locaux non occupés).	€			
	Optimiser la distribution en chaufferie (longueur du réseau, volume d'eau) afin de limiter les pertes thermiques tout en respectant les limites basses de volume préconisées par les constructeurs.				
	Créer des zones de distribution énergétique cohérentes avec les besoins de chauffage (orientation façade, occupation...).				
Batterie chaude	Bien étudier l'intérêt d'une batterie chaude en sortie du CTA sur un système de chauffage aéraulique s'il y a déjà une récupération de chaleur efficace par échangeur double flux ou par puits climatique.				
Puits climatique	Analyser l'intérêt du puits climatique selon la surface de pleine terre disponible, le type de bâtiment et son occupation, la possibilité de ventilation nocturne et l'économie du projet.			05	64
Pieux hydro câblées	Prendre en compte les conditions d'installation des systèmes de chauffage/rafraîchissement par pieuvres hydro câblées afin de prévoir une régulation terminale adaptée ; action sur les volumes inférieurs et/ou supérieurs à la dalle selon qu'il y ait présence d'isolation ou non d'un étage à l'autre.				
Réglages / Régulation					
Circulateurs	Asservir les circulateurs aux équipements de chauffage (pompe de la nappe phréatique en relation avec la PAC par exemple).	€	☀		
	Programmer les circulateurs du réseau de chauffage sur les besoins réels du bâtiment afin de les arrêter dès que possible.	€	☀		
	Privilégier des circulateurs à vitesse variable (attention au réglage initial de la pompe) et concevoir une installation adaptée à cela pour bénéficier de réelles économies d'électricité.			02	52
Réduit de nuit	Étudier l'utilité du réduct de la température de départ de chauffage la nuit selon la performance thermique de l'enveloppe, le niveau d'inertie du bâtiment, la période d'inoccupation des locaux et le type de système de chauffage (en particulier la nature du système de diffusion de chaleur et sa régulation).		☀	03	55
Programmation	Étudier une programmation du chauffage adaptée à la demande (grâce à des contrôleurs et terminaux compatibles et réactifs ou encore à un optimiseur auto-adaptatif sur la GTB par exemple) afin d'adapter les heures de fonctionnement aux besoins et ainsi optimiser l'heure d'arrêt de chauffe par exemple.				
Régulation	Adapter la régulation du chauffage à l'inertie du bâti et à celle des systèmes terminaux. Pour un bâtiment à très forte inertie, il est nécessaire d'anticiper les réponses du système de chauffage et du bâti afin de maintenir le confort intérieur.				

Choix matériaux / Matériels					
Étanchéité à l'air	Utiliser les produits adaptés : joints pérennes, coffres de volet roulant démontables sans destruction de l'étanchéité...				
RÉALISATION					
Étanchéité à l'air	Soigner la mise en œuvre au niveau de la pose des matériaux (joints de maçonnerie), des menuiseries, des joints de dilatation. Vérifier les conditions de mise en œuvre des produits (conditions de température par exemple pour les joints expansés). S'assurer de la formation des entreprises (insertion d'une clause dans les cahiers des charges, désignation d'un formateur agréé...).	€			07 77
Calorifugeage	Soigner la mise en œuvre du calorifuge (ballon de stockage, réseau en chaufferie et dans le bâtiment dont les pompes, vannes...) afin de réduire les pertes thermiques et d'éviter les surchauffes (dans les parties communes des logements par exemple).				
Sondes d'asservissement	Placer les sondes destinées à la régulation dans des emplacements représentatifs de la mesure prise (température d'ambiance, qualité d'air...) afin d'éviter par exemple d'avoir une sonde dans un courant d'air, un endroit ensoleillé ou encore dans un espace isolé.				
Organes de suivi	Choisir judicieusement les éléments de suivi énergétique (compteurs, sondes...) afin d'avoir un poids d'impulsion ou un débit de démarrage qui corresponde à la finesse de la mesure souhaitée par exemple.				23 159
MISE EN SERVICE					
Réglages					
Débit de distribution	Ajuster les débits de distribution du chauffage (réduire les débits d'eau si le delta de température est trop faible entre l'aller et le retour) afin d'adapter les réglages aux propriétés thermiques du bâtiment et ainsi réduire dans la mesure du possible la puissance des circulateurs.				
Programmation	Prendre en compte la forte intermittence des locaux scolaires dans la programmation du chauffage.				
Vérifications					
Points de réglage	Vérifier et ajuster les points de réglage des équipements de chauffage (loi d'eau, programmation, débits...) afin de livrer une installation de chauffage qui soit cohérente voire de performance supérieure aux prescriptions de conception.				
Organes de suivi	Vérifier le bon fonctionnement des organes de suivi (compteur, capteur...) lors de la mise au point du bâtiment afin de s'assurer de la cohérence des informations remontées.				23 159
EXPLOITATION					
Gestion					
Locaux vides	En cas de locaux inoccupés (plateau de bureaux non loué par exemple), penser à couper les réseaux hydrauliques et aérauliques spécifiques si une gestion séparée a été prévue.	€			
Loi d'eau	Réduire la courbe de chauffe de la chaudière si les températures ambiantes relevées sont trop importantes afin que l'occupant ne puisse pas régler sa température bien au-delà de la température de consigne prévue.				
Entretien / Maintenance					
Systèmes non standard	Renforcer la vigilance sur l'exploitation des équipements non standard (puits climatique par exemple) afin d'intervenir rapidement en cas de problème de fonctionnement.	€			22 158
Cahier de maintenance	Mettre en place un cahier de maintenance régulièrement mis à jour afin de garder un historique du bâtiment (réglages, problèmes, interventions...) même lorsque l'exploitant est remplacé.				
Calorifuge	Reprendre correctement l'isolation des réseaux et organes de régulation après intervention afin de ne pas dégrader le niveau de calorifugeage initial.				
Sensibilisation					
Logements	Expliquer aux occupants l'impact important d'une température de consigne trop élevée sur les consommations de chauffage, ainsi qu'une ouverture trop longue des fenêtres en période de chauffe (15 min maximum).	€			06 68
Bureaux	Sensibiliser les occupants à l'utilisation de leur commande d'ambiance (pour le chauffage, refroidissement, ventilation, stores...) et leur donner des préconisations sur les températures de consigne, l'ouverture des fenêtres, l'utilisation des protections solaires...	€			



DES HABITUDES DE DIMENSIONNEMENT ET DE RÉGLAGE DES ÉQUIPEMENTS DE CHAUFFAGE ET D'ECS À REMETTRE EN CAUSE

La norme NF EN 12831 de mars 2004 (Systèmes de chauffage dans les bâtiments – méthode de calcul des déperditions calorifiques de base) permet aussi bien de calculer les déperditions calorifiques d'un bâtiment (dimensionnement des systèmes de chauffage) que de dimensionner les corps de chauffe.

Elle fixe en outre les règles de calcul de surpuissance de relance pour les systèmes autorisant l'intermittence. Cette surpuissance varie en fonction de la baisse de température programmée, de l'inertie du bâtiment et du temps de remise en température.

Par ailleurs, dans le cas d'une production d'ECS de même origine que la production de chaleur chauffage, une augmentation de puissance est encore prévue.

Par précaution, il est d'usage que le concepteur ou l'installateur prenne des marges supplémentaires correspondant à différentes pertes de production, de distribution et de régulation.

Enfin une ultime « marge de sécurité » est prise pour les conditions exceptionnelles (températures inférieures aux températures de base) ou par souci de redondance.

L'accumulation de tous ces facteurs conduit à des productions de chaleur largement surdimensionnées, ce qui se traduit dans les suivis réalisés pour les bâtiments performants, par un très faible taux de charge des équipements.

Acteurs concernés : Pr - Mo - Moe - entrepr - exploit

De manière générale, il est aujourd'hui indispensable de s'adapter au bâtiment en oubliant nos habitudes. Tous les éléments sont concernés : dimensionnement des auxiliaires, dimensionnement des équipements de production et émission, gestion en fonction des besoins et selon des zones, prise en compte de la « réponse » du bâtiment...

Les pistes d'évolution peuvent porter sur les points suivants :

- **Dimensionner sur la température extérieure de base**, mais en période d'occupation, donc avec une prise en compte des apports internes,
- **Dimensionner à l'aide d'une simulation thermique dynamique**, mais en ayant bien conscience qu'un tel calcul est effectué sur la base d'un scénario, qui ne constitue qu'une hypothèse et qui a peu de chances de se reproduire à l'identique dans la réalité (conditions climatiques, charges internes...),
- **Tenir compte d'un possible « effacement » de certains circuits pendant un temps limité** : circuits statiques en faveur des circuits aérauliques en cas de fort renouvellement d'air, ou circuits de chauffage en faveur du circuit d'ECS en période de pointe,
- **Supprimer les ralentis en période d'inoccupation si le bâtiment possède une forte inertie**, au moins pendant les périodes de forte rigueur climatique, ou pendant les périodes d'inoccupation courtes.

Zoom opération 1 : L3-15 logts-Minergie-74

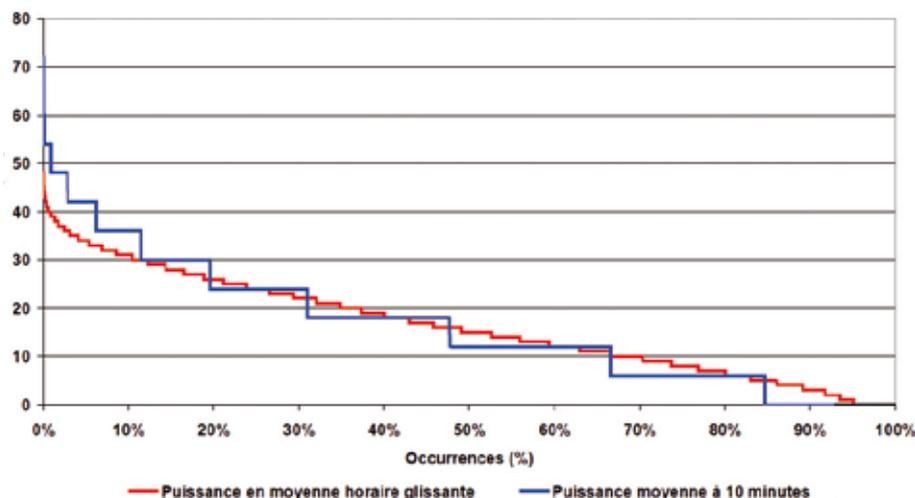


Figure 19 : CHAUFFAGE + ECS. Courbes de fréquences cumulées de la puissance de chauffage et d'ECS appelée pendant la période de chauffe – source ADEME / ENERTECH

Ce graphique met en évidence le fait que la puissance installée, qui est de 80 kW, n'est jamais utilisée en totalité. On atteint très ponctuellement 72 kW (90% de la puissance totale de la chaudière) pendant moins de 0,1% du temps par l'analyse des données à 10 minutes.

Si on considère la puissance selon la représentation de la moyenne horaire glissante (moyenne horaire des mesures à 10 mn en faisant glisser le calcul par pas de 10 mn, par exemple de 16 h à 17 h, puis de 16 h 10 à 17 h 10, etc.), plus réaliste car tenant mieux compte de l'inertie du bâtiment, on remarque que la puissance maximale pendant une heure consécutive est de 48 kW (60% de la puissance maximale).

Le rapport d'évaluation met donc en évidence que la chaudière est largement surdimensionnée. Une puissance de 50 kW (et probablement moins) associée à une bonne gestion de la charge entre chauffage et ECS (par délestage du chauffage) aurait suffi.



Témoignage acteur du projet, Alain CASTELLS, gérant d'Addenda, bureau d'études

« Les calculs de dimensionnement des équipements techniques étaient faits il y a une dizaine d'années avec des coefficients de sécurité très élevés pour être certain d'atteindre les températures de consigne ou d'avoir tout le temps de l'eau chaude par exemple. Ces mauvaises habitudes n'ont plus lieu d'être dans une optique d'économie énergétique mais certains bureaux d'études continuent à prendre des marges de sécurité trop importantes.

Sur le bâtiment B2-1700m²-BEPOS-38, le dimensionnement de la PAC a été fait grâce à une simulation thermique dynamique. La puissance déterminée était de seulement 17 kW et nous avons dû insister pour ne pas surdimensionner la pompe à chaleur. Le bureau fluide n'a pas

pris la responsabilité de ce dimensionnement. D'après le retour d'ENERTECH, la PAC est bien dimensionnée et une température de 22°C a été atteinte à l'intérieur pour une température extérieure de -17°C. »

Témoignage acteur de la filière, Anne-Claire IMPENS, ingénieur, responsable de Pôle Énergie et Innovation, Alto Ingénierie, bureau d'études en performance environnementale et énergétique

« Nous ne cumulons en général pas les surpuissances de relance, quand il y en a, et la ventilation. Concernant la puissance ECS on peut faire en sorte de ne pas la cumuler avec la puissance chauffage à condition d'être vigilant, en logement notamment, où les besoins sont importants, car arrêter le chauffage 30 minutes est possible, mais plusieurs heures, cela peut devenir gênant. »



LES CIRCULATEURS À L'ÉCOUTE DU BÂTIMENT

Les bâtiments sont de moins en moins consommateurs en chauffage ou rafraîchissement, et les postes dits « annexes » prennent de plus en plus d'importance dans le bilan global de consommation. Ces postes, qui ont été longtemps négligés, sont maintenant montrés du doigt comme les mauvais élèves du bâtiment. Parmi eux, on note les circulateurs des circuits hydrauliques. Historiquement, ils fonctionnaient à vitesse fixe, et donc à puissance électrique constante, quel que soit le besoin en aval. Des produits à vitesse variable ont logiquement été développés. S'adaptant aux besoins du bâtiment, ils s'imposent par leur performance. Néanmoins, la vitesse variable n'est pas toujours miraculeuse et **il faut prendre en compte les caractéristiques hydrauliques du circuit et leurs spécificités de maintenance pour éviter les mauvaises surprises.**

Il faut notamment vérifier que le débit du circuit, tel que conçu, peut varier. Par exemple, les circuits équipés de vannes 3 voies qui ont pour rôle de réguler en bypassant l'émetteur, présenteront toujours un débit constant au niveau de la pompe ; la somme des débits reste la même, c'est la répartition entre le circuit émetteur et le circuit de bypass qui varie. Dans ce cas, illustré ci-dessous, il n'y a pas de débit variable au niveau de la pompe, et donc une consommation constante aussi.

Acteurs concernés : Moe - entrepr - exploit

Zoom opération 1 : B1-550m²-26,

équipée de circulateurs à vitesse variable

Le suivi énergétique a permis de mettre en évidence l'effet des apports gratuits, et en particulier de l'ensoleillement en demi-saison, sur la vitesse du circulateur ; sous l'effet des apports, la fermeture des robinets thermostatiques des radiateurs suffit à faire réduire la vitesse du circulateur.

Mais même avec ce fonctionnement fin, les consommations des circulateurs en sous-station représentent 4% des consommations électriques totales.

Zoom opération 2 : B4-4500m²-BEPOS-69,

équipée de circulateurs à vitesse variable

L'analyse des journées du 16 et 17 février 2010 permet de mettre en évidence l'intérêt de la variabilité de la puissance des pompes ; arrêt de la pompe du plancher chauffant rafraîchissant (PCR) sud dès que les apports internes et externes sont suffisants.

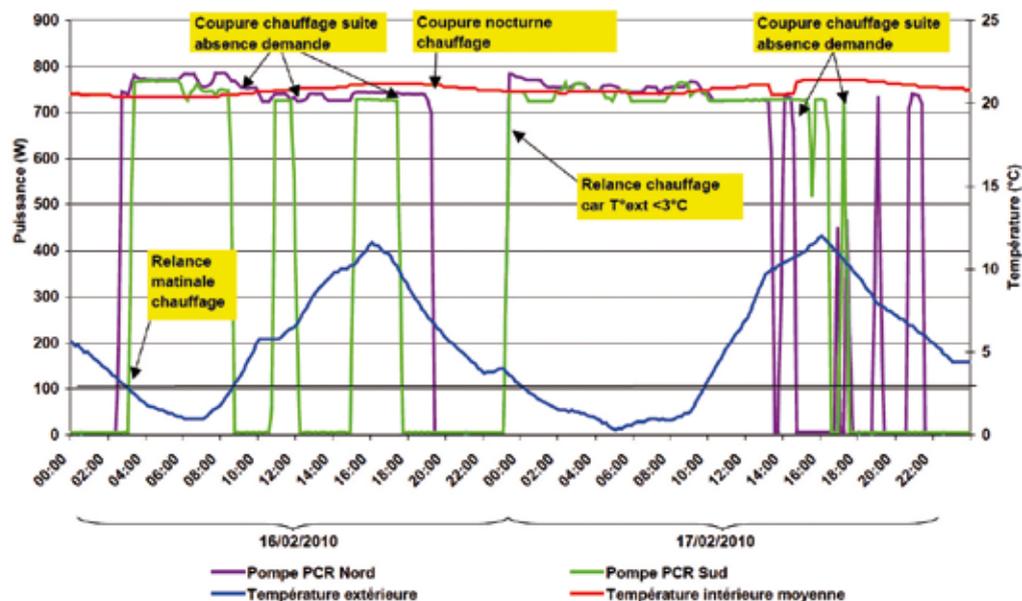


Figure 20 : CONSOMMATIONS ÉLECTRIQUES SOUS STATION : température extérieure, température intérieure moyenne et puissances appelées par les pompes PCR – source ADEME / ENERTECH

Lors d'une opération de maintenance en mars 2010, les pompes du PCR (Plancher Chauffant Rafraîchissant), à l'origine conformes au CCTP, ont été paramétrées en vitesse maximale et ont donc fourni un débit largement supérieur à celui nécessaire. Au cours de cette journée, la puissance utilisée a été multipliée par 1,7, comme le montre le graphique.

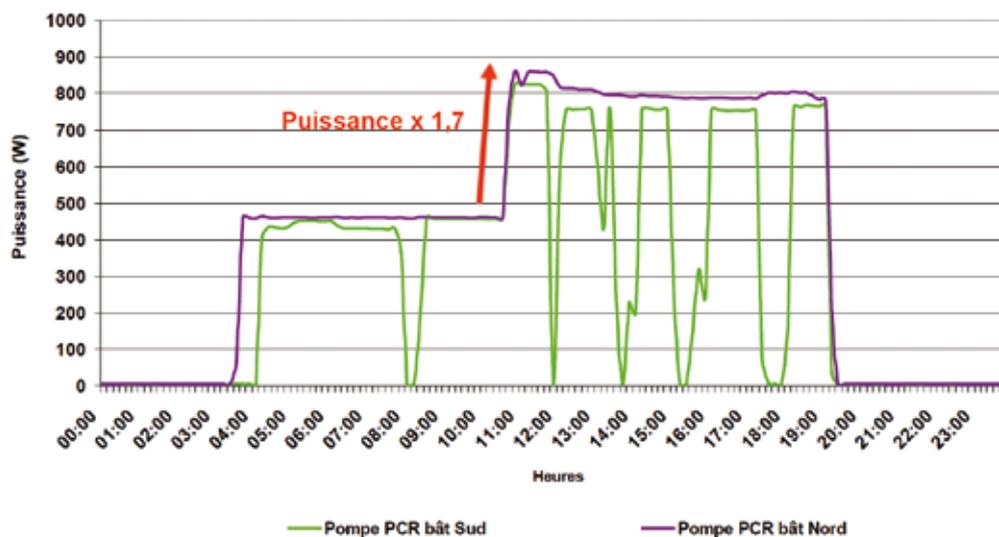


Figure 21 : CONSOMMATIONS ÉLECTRIQUES SOUS STATION : puissances appelées par les pompes PCR au cours du 03/03/2010 – source ADEME / ENERTECH



Témoignage acteur du projet, Christel CORRADINO, chargée d'opération et coordinatrice de l'équipe maîtrise d'œuvre, ENERTECH, bureau d'études spécialisé en énergétique appliquée aux bâtiments

« En plus des économies engendrées par la variabilité, les pompes à vitesse variable peuvent être plus économes que les pompes fixes à un point de fonctionnement donné. Il est donc toujours avantageux, énergétiquement parlant, d'en installer. Le problème des pompes à vitesse variable est qu'elles sont très souvent mal réglées (par exemple, forcées sur la vitesse maximale suite à un besoin ponctuel plus important et laissées en l'état). Le maintien des réglages (hauteur manométrique des pompes) à long terme est un enjeu important de la pérennité des performances énergétiques. »

Témoignage acteur de la filière, Anne-Laure BAZOU, responsable équipe Exploitation, ENGIE Cofely, société de services en efficacité énergétique et environnementale spécialisée en exploitation-maintenance

« Les pompes à vitesse variable ne demandent pas de maintenance particulière par rapport aux vitesses fixes, mais elles nécessitent plus de vigilance de la part du technicien. En effet, à moins d'avoir une remontée sur GTB avec enregistrement du fonctionnement des pompes, le seul moyen de vérifier si une pompe varie et si elle le fait correctement est d'être posté devant... Très souvent, leur fonctionnement n'est donc ni suivi ni optimisé. Afin d'optimiser le fonctionnement d'un tel circuit, il serait intéressant d'asservir la pompe à vitesse variable directement à la commande de régulation (ouverture proportionnelle des vannes par exemple), au lieu que ce soit sur le delta de pression et donc sur le débit que la pompe réagisse (réaction plus tardive). »





LE RÉDUIT DE NUIT, PAS AUTOMATIQUE

Le suivi des consommations de chauffage et des températures intérieures a permis d'étudier le comportement thermique des nouveaux bâtiments performants. Un débat s'ouvre alors sur la nécessité d'un réduit de nuit de la température de départ du chauffage *via* un abaissement de sa loi d'eau.

Du point de vue réglementaire, l'article R131-21 du Code de la construction et de l'habitation instaure la notion de réduction des températures pendant les périodes d'inoccupation des locaux à usage d'habitation, d'enseignement, de bureaux ou recevant du public. Il donne les « limites de température moyenne de chauffage » suivantes :

- 16°C lorsque la durée d'inoccupation est égale ou supérieure à vingt-quatre heures et inférieure à quarante-huit heures,
- 8°C lorsque la durée d'inoccupation est égale ou supérieure à quarante-huit heures.

Bien que ces exigences ne soient jamais respectées (cela demanderait une consigne des bureaux à 8°C durant les week-ends), la programmation d'un réduit de nuit est une solution simple et efficace pour faire des économies de chauffage sur des bâtiments qui sont peu isolés et peu étanches. En revanche, **certains retours d'expériences remettent aujourd'hui en question la pertinence de ce ralenti de nuit sur les bâtiments performants**. Mais cette problématique est complexe et il faut éviter de généraliser une solution à toutes les constructions récentes.

Acteurs concernés : Mo - Moe - exploit

En effet, l'intérêt d'une réduction de la consigne de chauffage en période d'inoccupation va surtout dépendre de quatre paramètres :

- La performance thermique de l'enveloppe,
- Le niveau d'inertie du bâtiment,
- Les périodes d'inoccupation des locaux,
- Le type de système de chauffage.

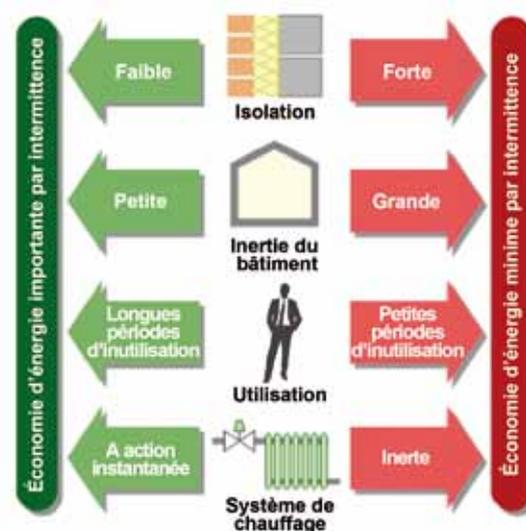


Figure 22 : PARAMÈTRES INFLUENÇANT LE CHOIX D'UN RÉDUIT DE LA TEMPÉRATURE DE CONSIGNE EN INOCCUPATION - source : www.energieplus-lesite.be

La mise en place d'un réduit de nuit est donc à réfléchir suivant l'usage du bâtiment, le mode constructif adopté et le type de terminal de chauffage choisi.

Zoom opération 1 : L5-30 logts-69

Le graphique ci-dessous met en évidence le fait que la présence du ralenti de nuit de 23 h à 5 h 30 (et 6 h 30 sur une autre période) entraîne un appel de puissance au moment de la relance matinale. Pourtant, la variation de la température intérieure reste extrêmement faible, due à la très forte isolation du bâtiment et à son inertie importante. L'analyse de ces mesures pousse alors le bureau d'études en charge du suivi à poser la question de la pertinence de ce ralenti de nuit. En effet, le réduit de nuit implique ici une augmentation sensible de la puissance appelée et donc de la puissance à souscrire, ce qui induit des surcoûts pour les locataires.

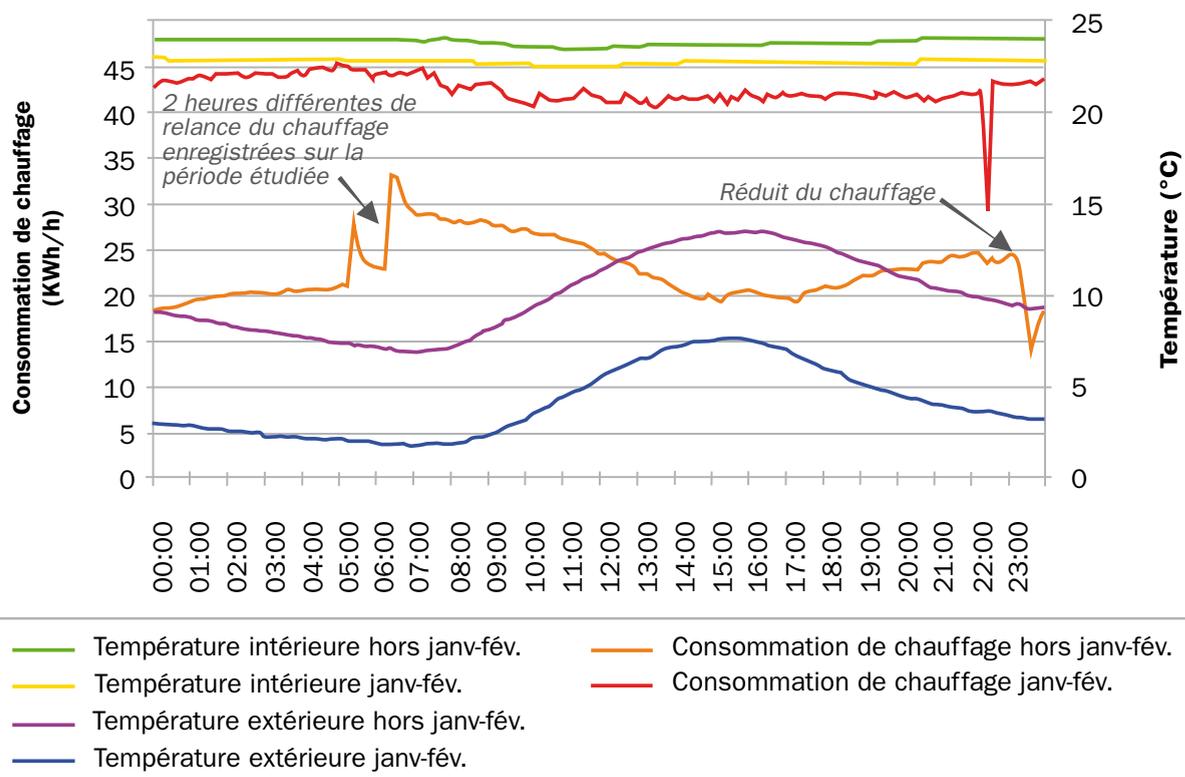


Figure 23 : COURBE DE CHAUFFAGE SUR LA SAISON DE CHAUFFE : janvier-février (04/01/2011 – 16/02/2011) et hors janvier-février – source ADEME / ENERTECH

Zoom opération 2 : L3-15 logts-Minergie-74

Sur cette résidence de logements, le même phénomène que précédemment est observé. Une baisse de la consommation de chauffage apparaît entre 21h et 23h suite au passage en réduit de nuit, puis une relance du chauffage se produit entre 5h et 7h, entraînant un pic de consommation non négligeable. ENERTECH met en avant l'analyse suivante : « La consommation de chauffage n'est pas corrélée à la température extérieure. Ceci est dû à la présence d'une forte inertie [...] et aux apports internes et solaires qui sont plus ou moins bien gérés par les robinets thermostatiques [faible réactivité]. [...] Ce ralenti de nuit provoque un décalage vers le bas de la loi d'eau [du chauffage] : à température extérieure fixe, la température de départ est plus faible la nuit que la journée. » Cela implique une surpuissance au redémarrage le matin sans que la température intérieure n'ait fortement baissé durant la nuit. Ce ralenti n'apporterait donc aucune économie d'énergie d'après le bureau d'études mais celle-ci n'a pas été chiffrée sur l'opération. ENERTECH observe par ailleurs que « hormis en période froide, la température de départ du chauffage réelle est toujours plus élevée que la température théorique. On peut donc s'attendre à des phénomènes de surchauffe, notamment en mi-saison car des températures disponibles plus

élevées entraînent davantage de pertes calorifiques des réseaux et donnent l'accès à des températures intérieures elles-mêmes plus élevées, soit subies par les utilisateurs (mauvais fonctionnement des robinets thermostatiques), soit recherchées par eux (réglage au maximum de la régulation terminale). En réduisant cette température de départ, on éviterait ainsi les surconsommations liées aux températures trop élevées. On doit aussi se souvenir que la loi d'eau définie lors de la conception conduit déjà à des températures trop élevées car elle est établie sans prendre en compte les apports solaires et internes. L'abaissement général de la loi d'eau aurait donc plus d'impact sur la réduction des consommations de chauffage que la mise en place d'un réduit de nuit sur cette opération ».

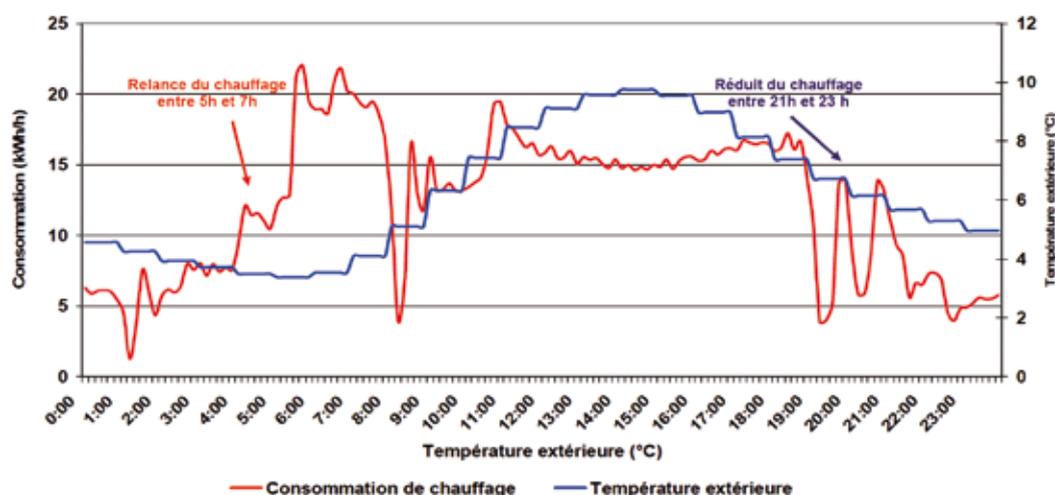


Figure 24 : COURBES DE CHARGE DE LA CONSOMMATION DE CHAUFFAGE ET DE LA TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE du 01/12/2009 au 28/02/2010 – source ADEME / ENERTECH

Zoom opération 3 : B6-700m²-BBC-74

Le suivi de ce bâtiment de bureaux a permis de constater que plus des deux tiers de la consommation électrique du système de chauffage ont lieu en inoccupation, la nuit et les week-ends. Une étude de sensibilité par simulation thermique dynamique montre qu'un réduct de la consigne de température de 5 °C durant les périodes d'inoccupation permettrait de réduire la consommation de chauffage de 30%. La solution proposée par le bureau d'études sur ce bâtiment a donc été de remplacer les thermostats d'ambiance actuels par des thermostats d'ambiance programmables afin d'opérer un réduct efficace durant les nuits et les week-ends.

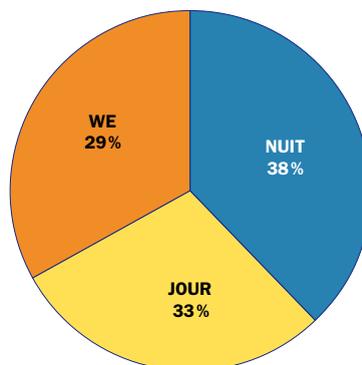


Figure 25 : RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DU SYSTÈME DE CHAUFFAGE pour une semaine type de janvier – source ADEME / MANASLU



Témoignage acteur du projet : Christel CORRADINO, chargée d'opération, ENERTECH, bureau d'études spécialisé en énergétique appliquée aux bâtiments

La mise en place d'un réduct de nuit est-elle toujours utile ?

« ENERTECH ne préconise plus de réduct sur les nouveaux projets de logements car il n'apporte pas d'économie d'énergie étant donné la forte isolation et l'inertie lourde des bâtiments. En revanche, une réduction de la température de chauffage durant les périodes d'inoccupation est toujours bénéfique en tertiaire, surtout pour éviter des consommations d'auxiliaires comme sur les pompes à chaleur.

Sur B4-4500m²-BEPOS-69, le chauffage est par exemple arrêté la nuit avec un redémarrage à 3 h du matin, sauf si la température extérieure est inférieure à 3°C. En cas de températures extérieures trop basses, l'inertie du système de chauffage (ballon tampon et plancher chauffant) est telle qu'il serait difficile d'atteindre 19°C à l'arrivée des

premiers occupants. Toutefois, pour une installation de chauffage tout air par ventilo-convecteur par exemple, l'arrêt de nuit est préconisé quelle que soit la température extérieure. »

Témoignage acteur du projet : Alain CASTELLS, gérant d'Addenda, bureau d'études

Pourquoi un réduct de nuit n'a pas été mis en place sur le bâtiment B2-1700m²-BEPOS-38 ?

« Mettre en place un réduct de nuit sur B2-1700m²-BEPOS-38 n'aurait pas été très judicieux car le bâtiment possède une bonne capacité, une inertie très lourde et un système de bouchons thermiques³ sur les menuiseries extérieures. De plus, le chauffage étant par PAC, il aurait fallu opter pour une puissance plus importante donc un abonnement EDF plus cher et on perdait en coût d'abonnement électrique ce qu'on gagnait en consommation de chauffage. »

³ Volets intérieurs pleins mobiles et motorisés qui se rabattent sur les fenêtres pour retrouver la même performance d'isolation que le mur, une fois fermés.



L'IMPACT DU CALORIFUGEAGE NON NÉGLIGEABLE

Acteurs concernés : Pr - Moe - entrepr - exploit

De nombreux rapports de suivi préconisent de revoir le calorifuge des équipements et des réseaux afin de réduire les consommations des bâtiments. En effet, les pertes thermiques des systèmes de chauffage et d'eau chaude sanitaire sont loin d'être négligeables lorsqu'on cherche à atteindre des niveaux de consommation très bas.

La problématique du calorifuge est donc à prendre en compte sérieusement dans la construction des nouveaux bâtiments, et cela bien en amont du chantier. Le tracé des réseaux hydrauliques et des gaines techniques influence directement l'épaisseur du calorifuge qu'il sera possible de poser (notamment au niveau des points singuliers) et la qualité de sa mise en œuvre (accessibilité pour le poseur). La réflexion sur le calorifuge doit être abordée suivant trois critères :

- L'isolation thermique (protection des calories ou frigories),
- L'isolation anti-condensation (sur les réseaux d'eau froide et d'eau glacée),
- L'encombrement (espacement entre les réseaux suffisant pour une bonne convection).

En bâtiments neufs, les classes d'isolation préconisées par les guides RAGE « Circuits hydrauliques » et « Installations d'eau chaude sanitaire » sont :

- Pour les réseaux de chauffage : classe 3 hors volume chauffé et classe 2 en volume chauffé,
- Pour les réseaux de bouclage d'eau chaude sanitaire : classes de 4 à 6,
- Pour les réseaux d'eau glacée : classe 4.

Une isolation de classe 6 diminue les pertes de la boucle d'ECS d'environ 50 % par rapport à une classe 2

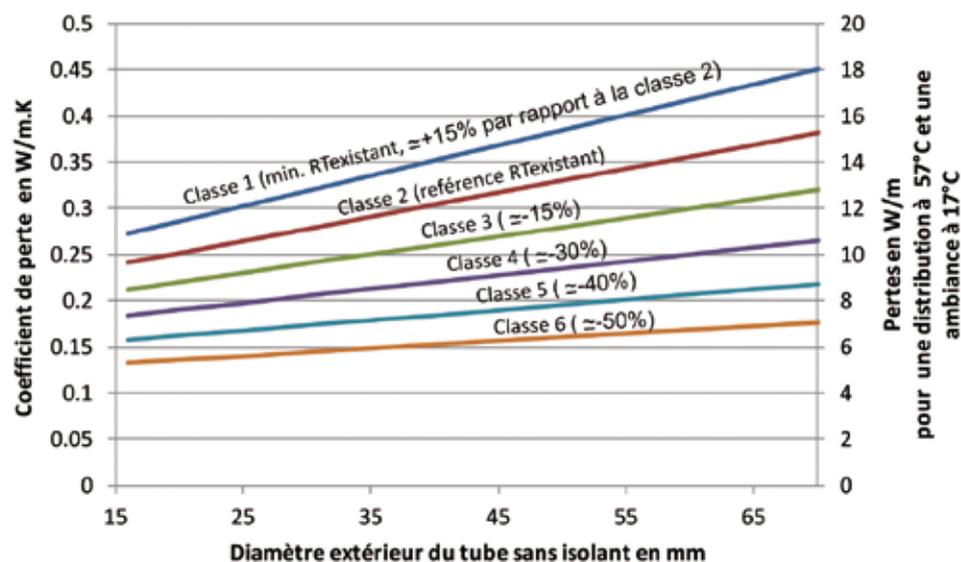


Figure 26 : ÉVOLUTION DES PERTES THERMIQUES EN FONCTION DU DIAMÈTRE EXTÉRIEUR DU TUBE ET DE LA CLASSE D'ISOLATION THERMIQUE telle que définie dans la norme NF EN 12828 - source : guide RAGE - « Installations d'eau chaude sanitaire » - 2014

Cette attention portée sur le calorifuge en conception doit se poursuivre en phase chantier, avec un réel contrôle de la mise en œuvre de l'isolation des réseaux. Les entreprises CVC n'ont apparemment encore pas toutes conscience de l'importance des déperditions engendrées par un mauvais calorifuge. Il faut alors les pousser à former leurs employés, d'autant plus que certains fabricants de calorifuge proposent maintenant des formations spécifiques pour les bureaux d'études et les poseurs. **Durant la vie du bâtiment, il faut aussi veiller à ce que les interventions de maintenance ne viennent pas dégrader le calorifuge.**

Zoom opération 1 : L2-51 logts-Minergie-74

Sur cette opération de logements collectifs, les pertes calorifiques ont été mesurées pour les équipements de chauffage et d'ECS, ainsi que sur les réseaux de distribution. Le total des pertes primaires (chaufferie et réseaux intérieurs et extérieurs) atteint 80 856 kWh, dont 43 200 kWh pour les pertes de chauffage et 37 656 kWh pour les pertes d'ECS. Ces valeurs sont très élevées, puisqu'elles représentent presque un quart de l'énergie fournie par les chaudières.

Le graphique ci-dessous donne la répartition des pertes, la majorité de celles-ci provenant des réseaux de distribution, ce qui n'est pas le cas de tous les bâtiments suivis (cf. opération suivante).

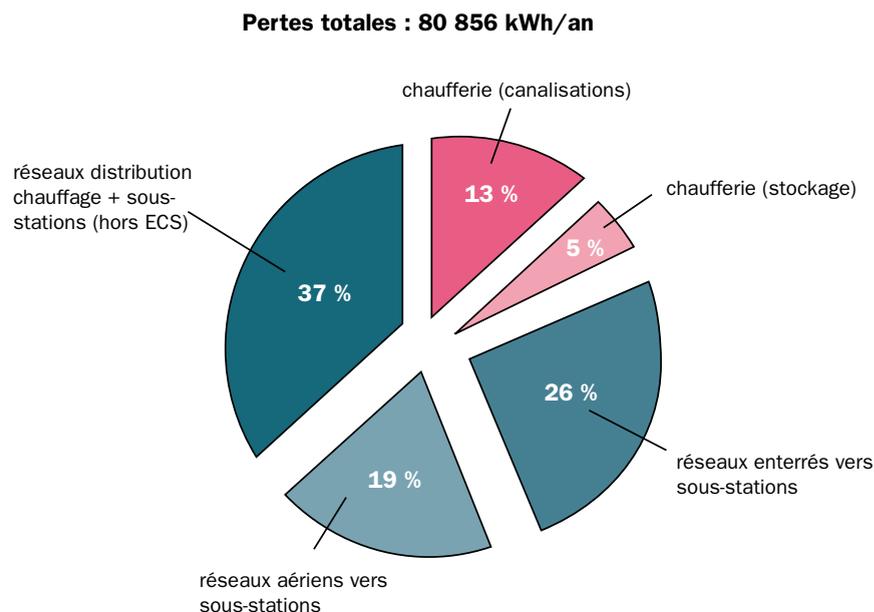


Figure 27 : RÉPARTITION DES PERTES DANS LES RÉSEAUX – source ADEME / ENERTECH

Zoom opération 2 : L5-30 logts-69

Des mesures d'énergie ont été faites sur l'installation d'ECS solaire de cette opération. Le graphique ci-dessous met en évidence des écarts importants entre l'énergie utile fournie en sortie du ballon d'appoint (vert clair) et l'énergie consommée sur le réseau de chaleur (bleu clair). En moyenne sur les 9 mois mesurés, l'énergie réellement fournie en sortie du ballon d'appoint ne correspond qu'à 50% de l'énergie consommée, ce qui signifie que les pertes de stockage dans le ballon d'appoint correspondent à la moitié de l'énergie consommée pour produire l'eau chaude sanitaire. Par ailleurs, le graphique illustre les pertes liées à la distribution, qui représentent la différence entre l'énergie utile en sortie du ballon d'appoint (vert clair) et l'énergie utile fournie au niveau du mitigeur (vert foncé). Celles-ci sont beaucoup plus faibles que celles du stockage mais elles ne sont quand même pas négligeables.

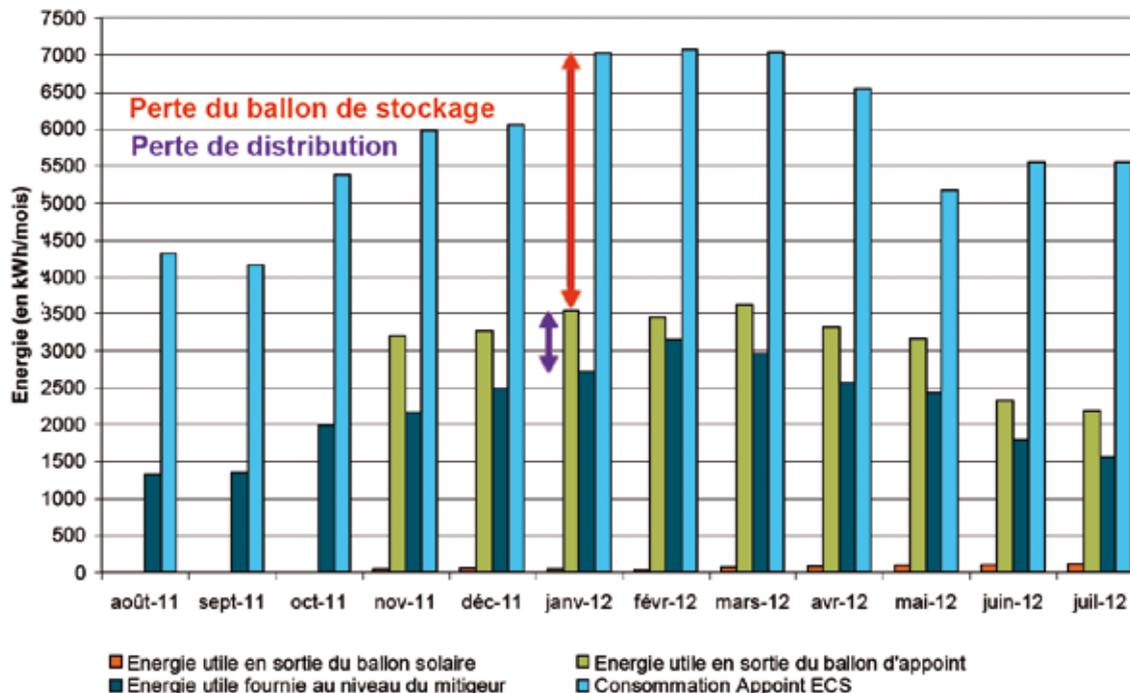


Figure 28 : ECS - ÉNERGIE UTILE EN SORTIE DE BALLON ET CONSOMMATION D'APPOINT
– source ADEME / ENERTECH

Zoom opération 3 : Crèche-1850m²-01

Le suivi des consommations d'eau chaude sanitaire de cette crèche a permis de soulever le problème du calorifuge des ballons d'ECS. En effet, la consommation d'entretien qui permet de maintenir la température souhaitée dans les chauffe-eau n'est pas du tout négligeable, elle représente 37% des consommations annuelles d'ECS. Si on exclut les chauffe-eau de la crèche elle-même (RDC crèche sanitaires moyens dans le tableau ci-dessous), la consommation d'entretien représente même plus de la moitié du total des consommations. Le niveau d'isolation des ballons installés en

est l'unique cause, et celui-ci doit être d'autant plus important que les besoins en ECS sont faibles. En effet, les chauffe-eau des salles de vie étant utilisés moins régulièrement que les autres, leurs déperditions thermiques sont plus impactantes sur les consommations d'entretien. On peut alors s'interroger sur la nécessité de l'ensemble des points de puisage prévus dans ce bâtiment, en privilégiant par exemple des points d'ECS mutualisés pour plusieurs salles ou même l'absence d'eau chaude lorsque cela n'est pas réellement nécessaire.

Implantation	Volume (l)	Consommation annuelle (KWh/an)	Puissance d'entretien (W)*	Consommation d'entretien (KWh/an) Part de l'entretien (%)
RDC RAM office	15 l	423	27	238 (56%)
RDC RAM sanitaires	15 l			
RDC RAM sanitaires enfants	15 l			
RDC crèche sanitaires moyens	NC	5 062	105	924 (18%)
RDC local ménage	200 l			
R+1 local entretien	100 l	3 023	226	1 981 (66%)
R+1 local rangement	200 l			
R+1 salle de vie1	15 l			
R+1 salle de vie2	15 l			
R+1 salle de vie3	15 l			
R+1 salle arts plastiques	15 l			
TOTAL :		8 508	358	3 143 (37%)

* La puissance d'entretien correspond à la puissance moyenne appelée sur l'ensemble des dimanches de la période de mesures.

Figure 29 : DESCRIPTION DES CARACTÉRISTIQUES DES CHAUFFE-EAU DU BÂTIMENT –
source ADEME / ENERTECH (nota : RAM : Relais d'assistantes maternelles)

Zoom opération 4 : B2-1700m²-BEPOS-38



Témoignage acteur du projet, Alain CASTELLS, gérant d'Addenda, bureau d'études

Comment avez-vous réussi à obtenir un calorifuge satisfaisant sur cette opération ?

« La problématique des déperditions thermiques par les réseaux de distribution a été considérée comme un challenge à relever par l'équipe de conception. Il y a donc

d'abord eu une réelle réflexion en conception, avec des locaux techniques situés dans le volume chauffé et des tailles de gaines techniques suffisamment grandes pour bien calorifuger les tuyaux. L'entreprise de CVC a ensuite été très compétente et s'est beaucoup intéressée à cette question. Le bureau d'études fluide était aussi fortement présent sur le chantier pour contrôler la mise en œuvre et trouver des solutions pour les points délicats. »



Figure 30 : INSTALLATIONS DE L'OPÉRATION B2-1700M²-BEPOS-38 CORRECTEMENT CALORIFUGÉES - source ENERTECH



Témoignage acteur de la filière, Diana DECILAP, coordinatrice développement produit, Armacell, fabricant de calorifuge

Quand aborder la question du calorifugeage dans un projet ?

« La question du calorifuge des réseaux doit se poser bien avant le chantier, dès la conception du projet. Il faut chercher une cohérence dans la définition du calorifuge en visant un compromis technique (performance énergétique), économique et spatial (encombrement). En effet, l'épaisseur imposée au CCTP doit être réalisable au moment du chantier par l'entreprise qui pose le calorifuge. Sur les plans, il faut donc prévoir un espacement adéquat (pour les gaines techniques, faux-plafonds, etc.) en fonction de

l'usage du réseau et de la classe d'isolation recherchée. Il est de plus nécessaire d'avoir une réflexion particulière dès la conception sur tous les points singuliers du réseau (vannes, robinets, pompes, coudes, piquages...) afin de trouver des solutions pour les calorifuger correctement. En phase chantier, une mise en œuvre de qualité est gage de la performance effective du calorifuge. Il ne faut pas oublier que ces travaux d'isolation ont leur Document Technique Unifié (DTU 45.2) et que les fabricants mettent à disposition du marché des guides de pose de leurs produits. Par ailleurs, nous espérons une concertation plus continue entre acteurs amont et acteurs aval, dans l'optique d'un calorifuge de qualité sur les projets. »



LE Puits CLIMATIQUE, ÉTÉ COMME HIVER

Le puits climatique, solution d'apparence simple, pose de nombreuses questions au sein des professionnels. Victime d'une mauvaise réputation suite à des contre-références dues pour beaucoup à des négligences en conception (choix des matériaux, dimensionnement...) et maintenance, le puits climatique essaie de se refaire une place dans le bâtiment d'aujourd'hui.

Mais la surface au sol nécessaire, les craintes d'une mauvaise qualité d'air, les inconnues de maintenance, l'éventuel

Acteurs concernés : Mo - Moe - entrepr - exploit

surcoût en construction... en font une solution boudée et même oubliée par les équipes de conception.

Or, pour ceux qui ont tenté l'aventure ces dernières années, sur des projets qui s'y prêtaient bien, **le puits climatique est efficace et sans problème particulier de maintenance.** Son intégration au moteur de calcul RT2012 ainsi que le besoin de systèmes efficaces et sobres en énergie va peut-être lui redonner vie, en espérant qu'elle sera rythmée de choix raisonnables et raisonnés.

Zoom opération 1 : B5-3250m²-26

Cet immeuble de bureaux est équipé d'un puits climatique, couplé à une CTA double flux ; l'air neuf alimentant la CTA provient soit du puits (air neuf préchauffé ou rafraîchi), soit directement de l'extérieur (puits bypassé).

Après quelques années d'exploitation, le bilan de cette installation est globalement positif. Son suivi a notamment permis de mettre en évidence certains points forts du puits :

- Effet important d'amortissement : « *les variations de température au cours de l'année sont plus importantes en entrée qu'en sortie : l'écart entre extremums est de 25°C en sortie et de 44°C en entrée* ». Les variations journalières sont également lissées (voir graphique ci-après).

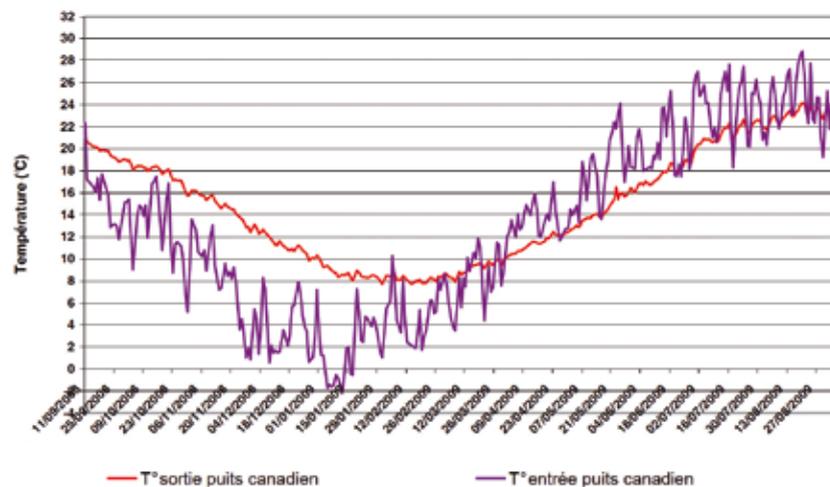


Figure 31 : ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE JOURNALIÈRE d'entrée et de sortie du puits canadien au cours de l'année les jours de fonctionnement de la CTA –source ADEME / ENERTECH

- Déphasage d'environ 2 mois : les phénomènes thermiques sont bien décalés (mais toutefois pas suffisamment pour que le puits soit considéré comme un stockage intersaisonnier).

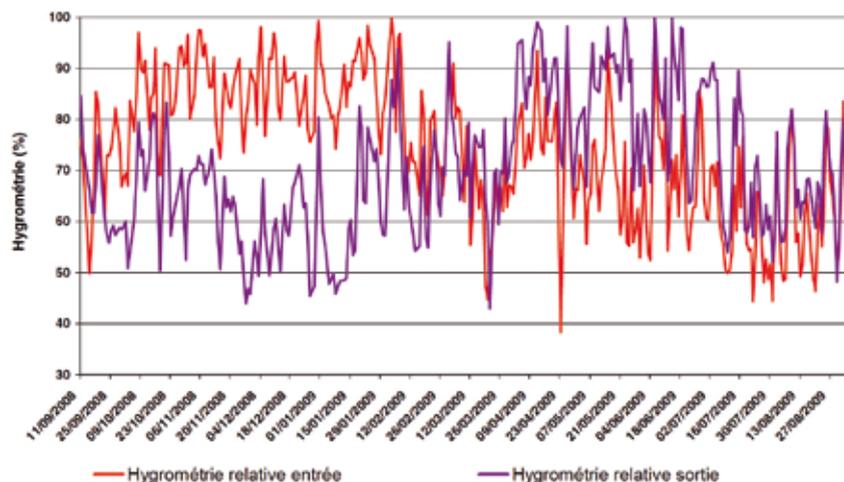


Figure 32 : ÉVOLUTION DE L'HYGROMÉTRIE MOYENNE JOURNALIÈRE d'entrée et de sortie du puits canadien au cours de l'année de suivi, les jours de fonctionnement de la CTA – source ADEME / ENERTECH

- Phénomènes de condensation très ponctuels et peu nombreux : pour ce projet, la condensation n'apparaît pas comme étant un phénomène majeur. En effet, il a été mesuré que l'air en sortie de puits n'a été saturé (100% d'hygrométrie) que 67 heures dans l'année, représentant 88 litres d'eau. Grâce à une pente douce en direction du bâtiment, ces condensats ont pu être évacués dans la terre.

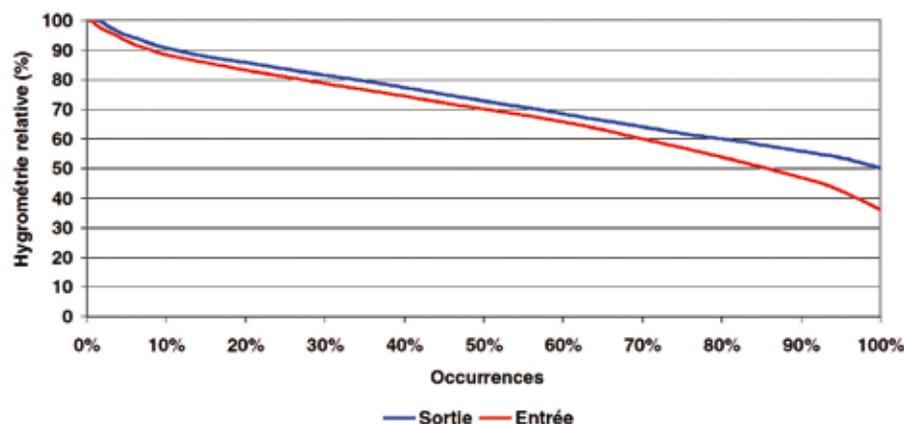


Figure 33 : PUIITS CANADIEN : courbes de fréquences cumulées de l'humidité relative d'entrée et de sortie du puits canadien en dehors de la saison de chauffe – source ADEME / ENERTECH

- Préchauffage de l'air neuf en hiver : il a été mesuré sur ce projet que la batterie chaude de la CTA ne s'est mise à fonctionner que lorsque le puits climatique a été bipassé (par erreur). Cela montre que le puits remplissait bien son rôle de préchauffage d'air neuf, permettant à la CTA de s'affranchir de sa batterie chaude.

Toutefois, ces aspects positifs du système sont entachés de dysfonctionnements dus probablement à une négligence de maintenance, et concernant exclusivement le volet d'amenée d'air neuf de la CTA gérant l'origine de cet air neuf (puits ou air extérieur direct) :

- Défaut d'étanchéité du volet : l'air neuf issu du puits est systématiquement mélangé à l'air issu directement de l'air extérieur,
- Gestion contradictoire du volet : le puits climatique est bipassé en journée au moment où la CTA est

en fonctionnement, et utilisé les nuits alors que la ventilation est supposée être à l'arrêt. Il n'a donc été d'aucune utilité durant plusieurs mois,

- Défaut de régulation du volet : il est arrivé en été que l'air neuf de la CTA continue de provenir du puits alors que la température intérieure dépassait les 23°C (et que l'air extérieur était inférieur à 23°C). La régulation aurait dû bipasser le puits dans ces cas particuliers.

Une pollution au radon a également été détectée *via* le siphon servant à évacuer les condensats dans la terre.

Globalement, des efforts sont encore nécessaires pour rendre cette solution fiable et pertinente (choix techniques et de projets appropriés), mais il est important de noter les progrès déjà réalisés.



Témoignage acteur du projet, Pierre CAMBON, chargé d'opération, ENERTECH, bureau d'études spécialisé en énergétique appliquée aux bâtiments

« Dans le sud de la France, il serait envisageable de s'affranchir d'une batterie chaude en CTA lorsqu'un puits climatique est installé. Mais dans la réalité, le risque de ne pas mettre de batterie n'est pas pris par les équipes de conception ni les maîtres d'ouvrage, la solution souvent retenue étant de mettre une batterie sous-dimensionnée, pour le cas où le puits ne serait pas suffisant.

Depuis le projet B5-3250m²-26 (livré en 2006), le cabinet ENERTECH n'a pas eu l'occasion de mettre en œuvre/préconiser un puits climatique ; les terrains ne s'y prêtent pas.

De manière générale, il faut garder en tête que le puits climatique :

- Nécessite une très bonne étanchéité à l'air pour contrer les éventuels problèmes de pollution des sols au radon,
- Est assez cher pour les projets autres que les maisons car il nécessite de plus gros conduits,
- Permet de ne pas mettre de climatisation. »

Témoignages acteurs de la filière lors de la table ronde VAD du 3 avril 2014

Importance du climat

Les études réalisées par Simulation Thermique Dynamique montrent que le puits climatique peut s'avérer bénéfique lorsque des amplitudes de températures sont fortement présentes (différentiel jour/nuit et hiver/été). Pour des climats dits tempérés, l'intérêt du puits semble beaucoup plus discutable.

Retours d'expériences positifs

Bien que les concepteurs pensent très peu à cette solution au vu du rapport contraintes/avantages souvent défavorable au puits, plusieurs exemples sont décrits comme étant des réussites. Citons par exemple, le bâtiment d'un hôpital psychiatrique avec une impossibilité d'ouvrir les fenêtres et sans climatisation, dont le confort d'été est assuré uniquement par un puits climatique, ainsi qu'un bâtiment de bureaux équipé d'un puits couplé à une CTA double flux. Dans des contextes bien particuliers, le puits climatique peut donc s'avérer intéressant et pertinent.

Rentabilité

Les contraintes financières liées à l'installation d'un puits climatique sont en général importantes sauf pour des cas

bien particuliers qui permettent d'obtenir des conditions techniques propices et donc de rendre son installation économiquement intéressante. D'autre part, il est parfois difficile de réaliser un calcul de rentabilité lorsqu'on parle de confort. Le calcul de rentabilité devrait donc se faire entre systèmes, notamment avec la ventilation double flux équipée de récupérateur, ou les systèmes de rafraîchissement/chauffage.

Contraintes d'installation

Globalement, peu de projets réunissent toutes les conditions nécessaires à la mise en œuvre d'une telle solution. Par exemple, en ville, par manque d'espace, il est souvent difficile de mettre en place un puits climatique.

Témoignage acteurs de la filière⁴

Le puits climatique dans la RT2012

« Dans le moteur de calcul, l'effet du puits est déjà présent dans les parties chauffage et rafraîchissement, mais il faudrait pouvoir l'identifier et le corriger. Actuellement, il est difficile de convaincre un bureau d'études sans pouvoir justifier l'écart colossal entre nos mesures de référence et les simulations du calcul réglementaire. » Pierre CAQUELIN, directeur du service développement chez PAM-Saint-Gobain

Pas de règles de l'art pour le puits climatique

Le puits, « c'est l'une des techniques que le COSTIC explore dans le cadre du programme RAGE, pour pallier le fait qu'il n'existe aucune règle de conception, de mise en œuvre ni d'entretien auxquelles se référer, si ce n'est les spécifications du fournisseur. » Cédric BEAUMONT, directeur technique du COSTIC

Le by-pass remis en cause

Face aux problèmes de régulation des by-pass, Cédric BEAUMONT préconise « de ne pas prévoir de by-pass, ou de privilégier un seul clapet, de bonne qualité, sur l'air neuf, avec maintien d'un débit minimum pour évacuer une éventuelle condensation ».

Le confort d'été

« Le puits climatique est l'une des seules solutions de rafraîchissement ayant un coût énergétique faible. Il permet d'absorber un défaut de confort non chiffrable mais important pour les usagers du bâtiment. » Pierre CAQUELIN
Contre-références, bête noire du puits climatique

Un des grands problèmes rencontrés par le passé, est « l'infiltration d'eau de ruissellement ou de la nappe dans un réseau plastique qui n'a pas résisté à la charge. (...) Quant au PVC pression, il dégage des COV, et ne permet donc pas une bonne qualité de l'air intérieur. » Pierre CAQUELIN

« Une autre cause courante est la mauvaise réalisation ou le positionnement inadapté de l'entrée d'air, sans oublier le mauvais dimensionnement. » Cédric BEAUMONT

Solution compétitive

« Si l'on tient compte des coûts de maintenance et de remplacement des équipements sur la durée de vie de l'ouvrage, le puits climatique est largement compétitif. » Pierre CAQUELIN

Témoignage acteur de la filière, Soline COLLIN, chargée de missions, Ville et Aménagement Durable

Radon

« Pour limiter au maximum la présence de radon dans l'air intérieur, il faut veiller aux points suivants lors de la conception et la mise en œuvre d'un puits canadien : limiter le contact terrain-bâtiment (privilégier les vides sanitaires tampon), prévoir une légère pente et une évacuation des condensats, privilégier un système indirect avec fluide caloporteur, étanchéifier soigneusement l'ensemble du circuit (canalisations proprement dites, joints entre canalisations, points d'évacuation des condensats, regards/puits perdus), mais aussi drainer l'interface sol/bâtiment. »

Pour aller plus loin :

Table ronde « Les puits climatiques pour le chaud et froid », magazine CVC n° 880 (p. 14 à 18), juillet/octobre 2013.

Guide RAGE « Puits climatiques - Conception et dimensionnement, installation et mise en service, entretien et maintenance - Neuf et Rénovation », 2015.

⁴ Source : « Les puits climatiques pour le chaud et froid », magazine CVC n°880, juillet/octobre 2013, p. 14 à 18.



L'IMPACT DE L'USAGER SUR SES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES ET SON CONFORT

Acteurs concernés : Pr - Mo - Moe - exploit - usager

L'utilisateur est le facteur incontournable d'un bâtiment performant, puisque son comportement a une influence directe sur les consommations de chauffage, d'électricité spécifique et sur son confort. C'est pourquoi il est fondamental de l'impliquer en adaptant les outils mis en œuvre à chaque typologie d'utilisateur afin de les rendre les plus efficaces possible.

Le rôle de l'utilisateur dans ses consommations de chauffage

L'instrumentation des bâtiments de logements collectifs a fait ressortir des consommations de chauffage très souvent supérieures aux objectifs donnés sur les opérations. Pour les projets ayant estimé les consommations par simulation thermique dynamique, **les valeurs mesurées sont de 30% à 50% plus importantes que les consommations théoriques.** Bien qu'il soit difficile de connaître la part de ces dérives imputée aux utilisateurs, l'ensemble des rapports de suivi souligne l'impact non négligeable du comportement des habitants sur les consommations de chauffage.

En effet, la quasi-totalité des bâtiments étudiés présente des températures intérieures d'air plus élevées que la limite supérieure de température de chauffage de 19°C donnée par l'article R131-20 du Code de la construction et de l'habitation.

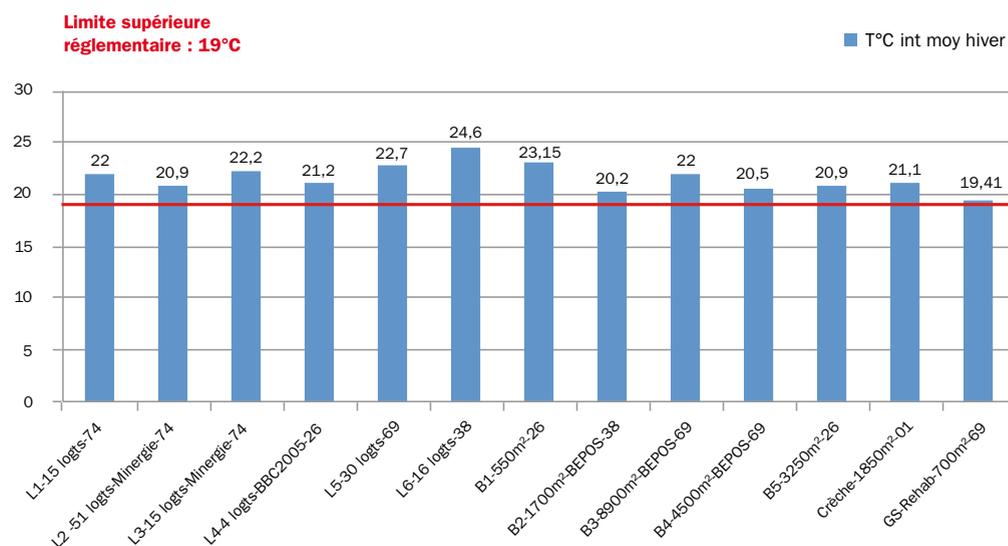


Figure 34 : TEMPÉRATURE INTÉRIEURE MOYENNE EN HIVER

La notion de confort thermique est malheureusement très difficile à mesurer. Il est impossible de qualifier les échanges énergétiques du corps humain avec l'ambiance atmosphérique et la sensation de bien-être ressentie dans cette atmosphère. Le ressenti dépend alors de nombreux facteurs comme le sexe, l'âge, la santé, la physiologie, la sensibilité, l'habillement, la saison, le type de travail, le contact avec l'environnement... et de paramètres psychologiques. Malgré ces facteurs subjectifs, il est possible de s'intéresser à quatre grandeurs mesurables, en plus de l'activité et de l'habillement de la personne, pour définir son confort thermique : la température d'air sèche, la température moyenne des parois⁵, l'humidité de la pièce et la vitesse de l'air arrivant sur cette personne. **C'est pourquoi la température intérieure seule ne suffit pas à juger du confort des usagers**, mais il est primordial de rappeler qu'1°C de température de chauffage en plus entraîne dans un bâtiment à forte performance énergétique une surconsommation de chauffage de l'ordre de 10 à 15 %.

Un autre facteur humain impactant les consommations de chauffage est l'ouverture des fenêtres en hiver. Un temps d'ouverture trop long peut engendrer un besoin en chauffage supplémentaire important pour stabiliser l'ambiance à la température souhaitée. Or, dans la majorité des logements étudiés, les fenêtres ont été ouvertes en hiver beaucoup plus longtemps que les 15 minutes par jour conseillées pour aérer efficacement les pièces.

Il est donc nécessaire de sensibiliser les occupants sur le comportement à adopter pour faire des économies d'énergie. Par exemple, en cas de surchauffe, il faut commencer par baisser la consigne du thermostat du chauffage avant d'ouvrir les fenêtres. Néanmoins comme les bâtiments performants présentent généralement une forte inertie liée à l'isolation renforcée de l'enveloppe, une action sur le thermostat ne sera visible que plusieurs heures après ; les occupants doivent en être conscients afin de ne pas aboutir à des situations aberrantes d'ouverture des fenêtres prolongée. Un autre point à considérer pour pallier ce phénomène est sûrement la ventilation des espaces. En effet, si les usagers ouvrent aussi souvent leurs fenêtres, c'est peut-être parce que les débits hygiéniques sont insuffisants pour un renouvellement d'air des locaux satisfaisant.

Zoom opérations :

L2-51 logts-Minergie-74, L3-15 logts-Minergie-74, L4-4 logts-BBC2005-26, L5-30 logts-69

Sur quatre bâtiments de logements collectifs ayant des mesures sur les températures intérieures et le temps d'ouverture des fenêtres, aucun ne respecte les préconisations données :

- Température limite de chauffage à 19°C,
- Ouverture de fenêtres limitée à 15 minutes en hiver.

Le graphique ci-dessous donne les valeurs moyennes recueillies sur une période de chauffe des bâtiments.

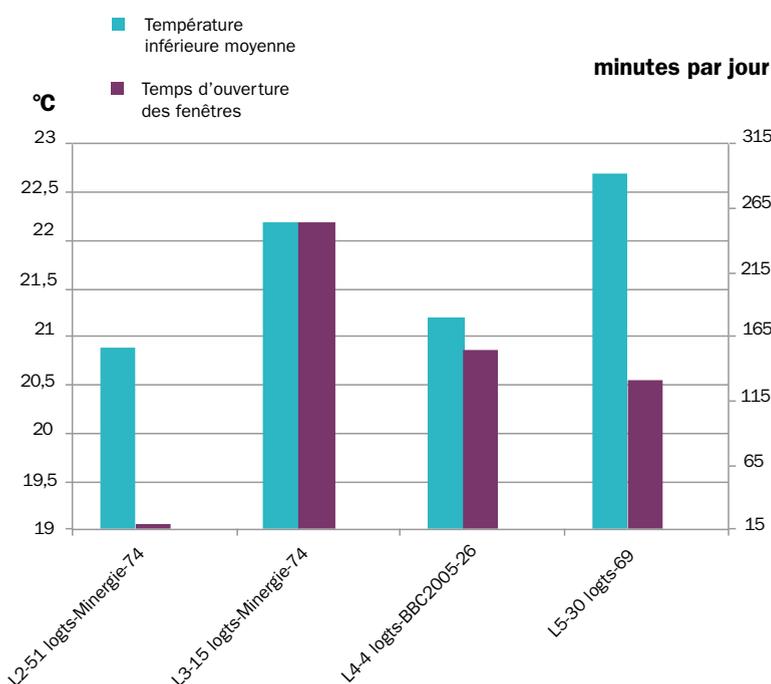


Figure 35 : TEMPÉRATURE MOYENNE INTÉRIEURE ET TEMPS D'OUVERTURE DES FENÊTRES sur la période de chauffe sur 4 bâtiments de logements collectifs

⁵ Température opérative = moyenne de la température intérieure sèche et des températures surfaciques des parois et des vitrages.

Il faut néanmoins rappeler qu'en hiver, la température à l'intérieur des logements dépend de plusieurs paramètres :

- La température de consigne effectivement choisie par les occupants,
- Le réglage de la loi d'eau de l'installation de chauffage,
- Le type de distribution et la qualité de la régulation terminale,
- Les apports de chaleur internes et ceux dus à l'ensoleillement,
- L'ouverture des fenêtres par les occupants.

Mais des températures mesurées entre 21 et 23°C témoignent d'un choix de consigne élevée de la part des occupants, ce ne sont pas les autres paramètres seuls qui permettent d'atteindre de tels niveaux moyens en hiver.

À noter que pour L5-30 logts-69, un bridage mécanique à 20°C avait été installé sur les robinets de régulation dans les logements, mais la technique pour enlever le

bridage s'était rapidement répandue au sein des logements et il n'a pas été possible de savoir combien de logements ont conservé ce dispositif.

Concernant le temps d'ouverture des fenêtres en période de chauffe, seule la moyenne mesurée sur L2-51 logts-Minergie-74 s'approche des 15 minutes raisonnables. En revanche, sur les autres bâtiments, certains habitants ouvrent leurs fenêtres en hiver plusieurs heures par jour. Le graphique ci-dessous relève les durées d'ouverture pour L3-15 logts-Minergie-74. Précisons que les capteurs utilisés permettent seulement de savoir si les fenêtres sont ouvertes ou non, sans connaître l'importance de l'ouverture.

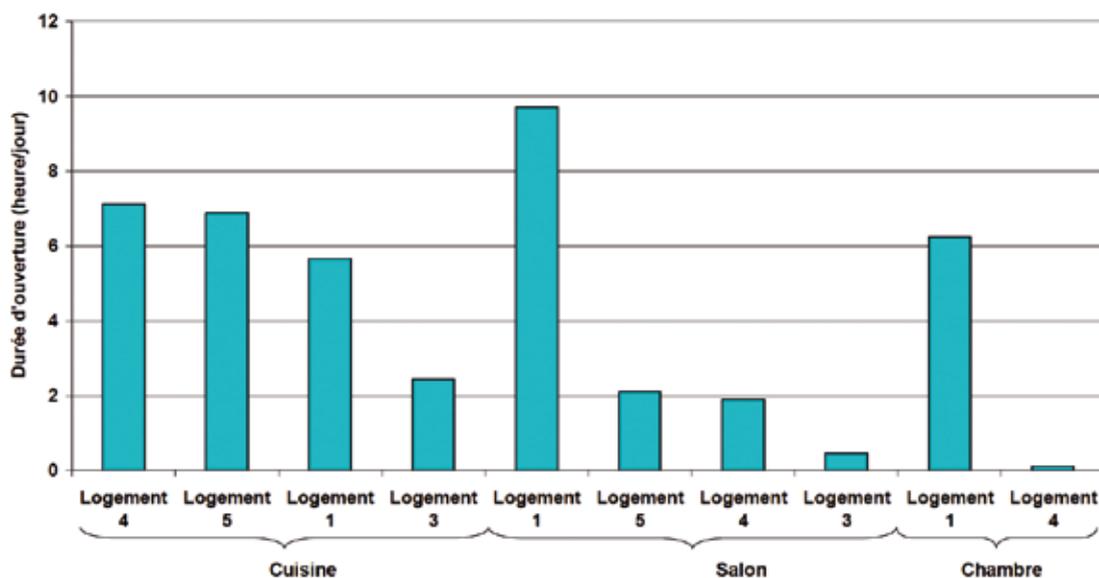


Figure 36 : DURÉES D'OUVERTURE DES FENÊTRES PENDANT LA PÉRIODE DE CHAUFFE – source ADEME / ENERTECH

On observe des durées d'ouverture très importantes. En moyenne les menuiseries suivies sont ouvertes 255 minutes par jour pendant la saison de chauffage (4 h 15), et jusqu'à près de 10 heures par jour dans le cas extrême du logement 1.

Cela conduit inévitablement à des surconsommations de chauffage.

Le rôle de l'utilisateur dans son confort d'été et en mi-saison

L'utilisateur a une réelle influence sur son confort d'été et en mi-saison par sa gestion des ouvrants et des occultations. Par ailleurs, l'impact sur le confort des apports internes dus à l'utilisation d'appareils électriques n'est pas négligeable, bien que celui-ci n'ait pas été quantifié dans les rapports de suivi.

■ CONFORT D'ÉTÉ : RAFRAÎCHISSEMENT DU BÂTIMENT PAR OUVERTURE DES FENÊTRES

Zoom opération 1 : B5-3250m²-26

L'opération B5-3250m²-26 est équipée d'un puits climatique ayant subi un dysfonctionnement de programmation pendant l'année de mesure. En été, il est utilisé la nuit alors que l'air venant directement de l'extérieur est plus frais, et il n'est pas utilisé la journée alors qu'il devrait l'être ! Par ailleurs, ce bâtiment ne bénéficie pas de ventilation nocturne naturelle.

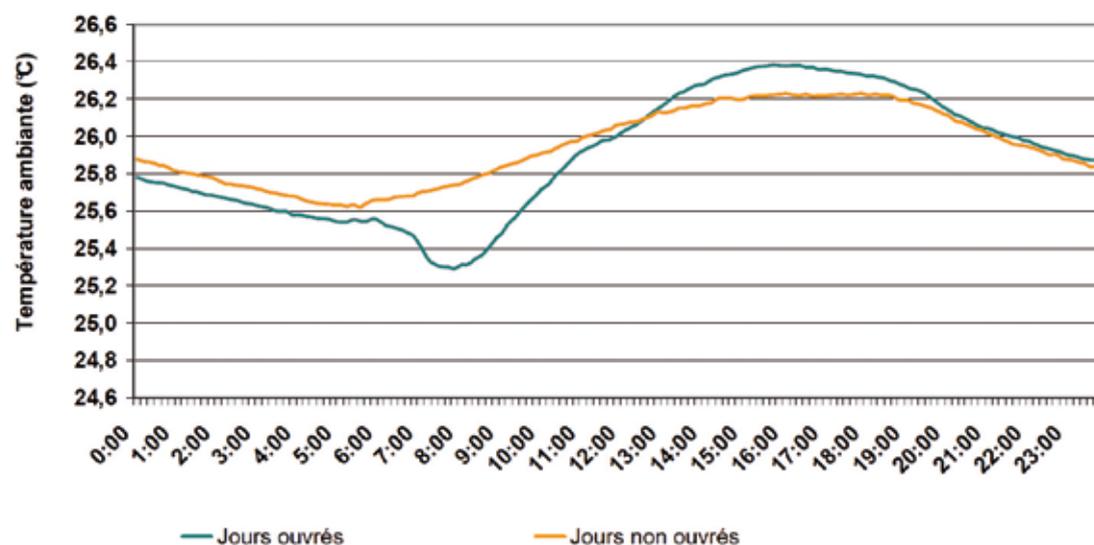


Figure 37 : ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE DANS LES BUREAUX LES JOURS OUVRÉS ET NON OUVRÉS EN ÉTÉ – source ADEME / ENERTECH

■ GESTION DES OUVRANTS EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE

Zoom opération 2 : B4-4500m²-BEPOS-69

Les graphiques présentés ici permettent d'observer la gestion de l'ouverture des fenêtres sur 2 zones (N1W et N2E) en été (du 09/07/2010 au 15/09/2010).

Les occupants du bâtiment ouvrent les fenêtres majoritairement lorsque la température extérieure est plus basse que celle des locaux, ce qui montre qu'ils ont une bonne appréhension du potentiel de rafraîchissement du bâtiment.

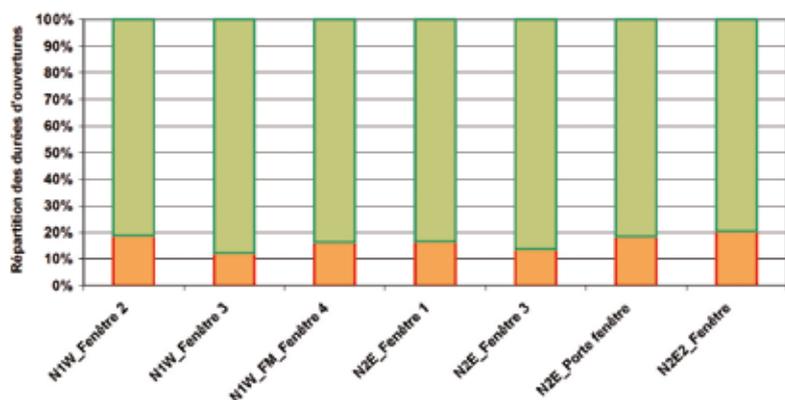


Figure 38 : OUVERTURE FENÊTRES. Répartition des durées d'ouvertures en fonction des températures extérieures et ambiantes – source ADEME / ENERTECH

Ce deuxième graphique met en évidence qu'il est possible de profiter encore plus du rafraîchissement naturel : les fenêtres sont fermées en moyenne 13 heures par jour lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure.

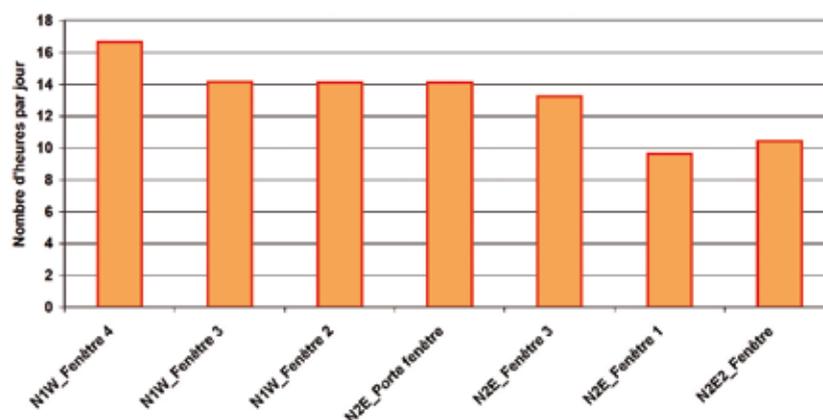


Figure 39 : OUVERTURE FENÊTRES. Nombre d'heures journalières où la température extérieure est inférieure à la température ambiante avec les fenêtres fermées sur l'été 2010 (09/07/2010 au 15/09/2010) - source ADEME / ENERTECH

Le rôle de l'usager dans ses consommations d'électricité spécifique

L'analyse des bilans énergétiques montre que les consommations d'électricité spécifique en logements et en tertiaire représentent une part importante dans les consommations globales des bâtiments mesurés. L'analyse des consommations d'électricité pour les logements collectifs permet de révéler une grande diversité des comportements des usagers en termes de consommations d'électricité spécifique (hors chauffage et ECS).

Zoom opérations : L1-15 logts-74, L2-51 logts-Minergie-74, L3-15 logts-Minergie-74, L4-4 logts-BBC2005-26, L5-30 logts-69.

Plusieurs mesures de consommations d'électricité spécifique ont été réalisées dans les logements. Le graphique ci-dessous présente les moyennes mesurées par opération et par personne. Les 5 bâtiments concernés possédant des installations collectives de chauffage et d'ECS, ces consommations ne sont donc pas incluses dans les valeurs présentées. En revanche, l'éclairage est comptabilisé.

Les consommations sont très variables (de 548 à 1 399 kWhel par personne et par an) et il est donc difficile d'en tirer des enseignements. En effet, ces consommations dépendent certes du comportement de l'usager, mais également des caractéristiques de l'opération, celles-ci pouvant faire varier les consommations d'électricité à l'intérieur des logements, notamment par rapport à l'éclairage (masques de bâtiments environnants...).

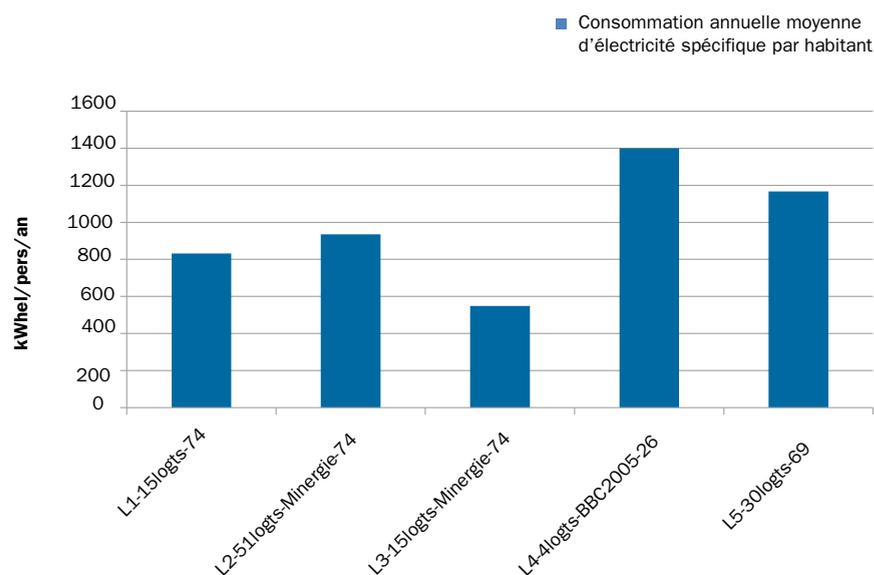


Figure 40 : MOYENNE DES CONSOMMATIONS ANNUELLES D'ÉLECTRICITÉ SPÉCIFIQUE PAR OCCUPANT, pour 5 bâtiments de logements -
Source : Graphique VAD réalisé avec les données de : COSTIC et ENERTECH

Opération	Sensibilisation effectuée	Nombre de logements mesurés	Taille de l'appartement moyen	Taux d'occupation moyen
L1-15logts-74	NC	5	73	NC
L2-51logts-Minergie-74	Oui : 1 livret d'accueil, 1 réunion	11	75,7	85 %
L3-15logts-Minergie-74	Oui : 1 livret d'accueil, 1 réunion, 1 visite chez l'occupant	5	70	73 %
L4-4logts-BBC2005-26	Oui : 1 livret d'accueil + soit une réunion, soit une description des systèmes à la remise des clefs	4	90	82 %
L5-30logts-69	Oui : 1 livret d'accueil + soit une réunion, soit une description des systèmes à la remise des clefs	6	81,8	75 %

Figure 41 : PARAMÈTRES (NON EXHAUSTIFS) IMPACTANT LES CONSOMMATIONS D'ÉLECTRICITÉ SPÉCIFIQUE

Implication de l'utilisateur

Pour la plupart de ces opérations, qu'elle soit sous la forme d'un livret d'accueil, d'une réunion d'information ou encore en allant directement échanger auprès des occupants, une sensibilisation des usagers a été effectuée. À l'issue de la première année d'exploitation, pour 4 des opérations de logements, des questionnaires ont été soumis aux occupants des logements suivis. Ils ont permis de recueillir leurs avis sur les moyens de sensibilisation engagés (livret d'accueil, réunion, à l'oral à la remise des clefs) ainsi que de vérifier l'état de leurs connaissances sur les systèmes en place dans le bâtiment. Sans pouvoir faire de généralité sur l'efficacité des différents dispositifs de sensibilisation, il est en revanche possible d'affirmer que les avis sur l'utilité des moyens de sensibilisation diffèrent en fonction des opérations tout comme la connaissance des systèmes présents dans le bâtiment.



Témoignage acteur du projet, Mathieu CARAVACA, expert en développement durable, Haute-Savoie Habitat, bailleur social

« Pour L3-15 logts-Minergie-74, plusieurs éléments ont été mis en place afin d'informer les occupants sur le bâtiment et diffuser des conseils pratiques :

- Un manuel d'utilisation a été délivré aux locataires lors de la remise des clefs,
- Une réunion d'information a été organisée avant l'entrée des occupants,
- Un organisme associatif spécialisé dans le conseil sur les thématiques environnementales est également intervenu auprès des locataires quelques semaines après leur entrée dans leurs appartements.

Aujourd'hui, l'implication des occupants est élevée au sein de ce bâtiment, et dépasse même les enjeux environnementaux, tel que l'entretien par eux-mêmes des parties communes.

Haute-Savoie Habitat poursuit aujourd'hui ce type de pratique avec un autre projet pilote où une rencontre avec les locataires est systématiquement réalisée avec la présentation d'un manuel d'utilisation et de conseils pratiques pour une bonne gestion interne de l'appartement mais aussi du bâtiment. »

Témoignage acteur de la filière, Sandrine DUCHÊNE, experte en conduite de changement environnemental

Sandrine DUCHÊNE intervient auprès des aménageurs, des promoteurs, des bailleurs, des exploitants... à l'échelle d'un quartier, d'un îlot ou d'un immeuble pour faire le lien entre les choix énergétiques et leurs impacts en termes d'usages réels mais aussi d'empreinte environnementale, de rentabilité verte, de confort et d'image.

Comment réaliser une sensibilisation adéquate des usagers pour obtenir une performance globale des bâtiments ?

« Une sensibilisation est efficace si l'utilisateur peut en tirer un certain bénéfice, qu'il soit financier ou lié à une amélioration de la santé ou du confort (température, qualité de l'air, odeur). Cependant il existe de nettes différences entre les usagers ; une analyse de la cible est donc nécessaire pour adapter les moyens de sensibilisation selon le statut social, le niveau d'éducation/ressources ou le territoire d'habitation. Les meilleurs vecteurs de sensibilisation sont généralement les économies financières, la santé et les enfants. Les usagers ne sont pas tous sensibles aux mêmes arguments et ont besoin d'expérimenter par eux-mêmes la véracité des informations. Au-delà du guide usager, cela peut être fait au moyen de petites expériences et de compteurs d'énergie pour traduire facilement les bonnes pratiques et les quantifier en impact. Dans tous les cas, un accompagnement humain, parfois individuel, est nécessaire pour accompagner cette compréhension qui n'est pas la préoccupation principale des cibles. Il est également à noter que certains occupants, toutes catégories socioprofessionnelles confondues, resteront tout de même non réceptifs aux messages délivrés. »

Quels outils préconisez-vous en logements ?

« Plusieurs supports peuvent être utilisés :

- Affichage en hall d'entrée,
- Formation d'une personne « Casquette verte » pouvant relayer l'information aux autres usagers. Ce type d'action fonctionne très bien et a l'avantage de pouvoir perdurer dans le temps. Lorsqu'une famille témoin est désignée comme casquette verte, elle représente des individus in situ qui sont ainsi plus facilement entendus par les autres locataires,
- Accompagnement individuel avec un questionnaire sur le confort / l'énergie.
Par exemple, dans le cadre d'une mission de sensibilisation des occupants d'un bâtiment performant

d'un bailleur social, ma mission a consisté à passer 1 heure par famille avec des questions sur l'énergie, le confort et le quartier,

- Atelier pour tester soi-même les principes liés à la consommation d'énergie (mesure de consommations des veilles, des luminaires, etc.).
Mon discours est le suivant : Ne me croyez pas, testez par vous-même et constatez.
Avec une sensibilisation « par la preuve », ce type de dispositif permet d'améliorer l'attention de l'utilisateur par la suite notamment concernant l'électricité, l'eau, le chauffage ou la ventilation (exemples : kit ludique pour les enfants, coupe veille pour les lave-linge, économiseurs de douches),
- Installation d'une « box » permettant d'observer l'évolution des consommations sur un téléviseur,
- Affichage des consommations par étage.

Pour les propriétaires de logement, une intervention en assemblée générale de copropriétés permet de présenter facilement les enjeux, les problématiques mais aussi les bonnes pratiques aux propriétaires et occupants. Cette intervention peut aussi se réaliser avec l'appui d'un guide utilisateur qui serait ainsi présenté à cette occasion.

Pour les futurs occupants de logements, le maître d'ouvrage (promoteur, bailleur...) voire l'aménageur peut engager une assistance à maîtrise d'usage en amont. Il est recommandé qu'une analyse de la cible soit réalisée avant l'emménagement des occupants. Ainsi, lorsque les habitations doivent être équipées en électroménagers, il est préférable qu'une sensibilisation pour des appareils performants type A++ soit réalisée. »

Au sein d'un bâtiment de bureaux, quelle est la solution la plus efficace pour une sensibilisation du personnel ? Que pensez-vous des moyens de sensibilisation couramment observés du type panneaux visuels, guide usager... ?

« Pour engager une sensibilisation du personnel adéquate, il est d'abord important d'observer l'esprit de l'entreprise et notamment, pouvoir répondre aux interrogations suivantes :

- Quelles sont les valeurs environnementales portées par l'entreprise et comment sont-elles communiquées aux employés ?
- Quel est le niveau d'éducation/ressources des personnes concernées ?

Cette analyse préalable peut se traduire par la diffusion d'un mini-questionnaire aux employés présents afin de mieux connaître leur profil, leur sensibilité, ce qui les touche ou au contraire les domaines pour lesquels ils ne sont pas réceptifs. Ce questionnaire permettra ainsi de préciser la communication à adopter.

Une journée spécialement organisée pour les employés sur la thématique du développement durable est une bonne solution. Ce type d'action donne aux employés l'occasion d'expérimenter et de s'informer à travers divers ateliers. De plus, le développement financier déployé par l'entreprise participe à la cohésion d'équipe et à l'esprit d'entreprise. Toutefois, pour rendre cette journée efficace, il faut également qu'elle puisse être évaluée par la suite, afin de connaître les messages retenus notamment pour éviter les comportements passifs.

Après cette intervention collective, il est également possible de continuer la sensibilisation avec la mise en place d'affichage, de jeux ou encore d'applications sur chaque ordinateur afin que chaque employé puisse voir ses propres consommations.

Les panneaux visuels fonctionnent assez bien pour les visiteurs ou les personnes qui découvrent le bâtiment. Ils ont également l'avantage d'avoir une valeur institutionnelle forte avec de bonnes retombées sur l'image de l'entreprise. En revanche, ils ne fonctionnent pas tellement au quotidien. Pour une réduction des consommations énergétiques via le comportement des usagers, il faut mettre en place des actions plus concrètes et suivies dans le temps.

Le support papier type guide usager est un bel outil d'image qui permet de faire changer les comportements uniquement si la personne est en recherche d'informations. Pour des usagers déjà sensibilisés ou convaincus, il constitue donc un moyen d'obtenir des réponses, ce qui le rend ainsi efficace. En revanche, cette efficacité dépend de la manière dont il est remis aux usagers : un guide usager qui n'est pas présenté a peu de chance d'être lu. »

Témoignage acteur de la filière, Gaëtan BRISEPIERRE, sociologue indépendant, spécialisé dans les questions d'énergie, d'environnement et d'habitat

Témoignage sur les enseignements issus d'un suivi comportemental de 3 bâtiments instrumentés, au cours de la journée technique « Capitalisation du suivi et de l'évaluation de 14 opérations performantes » organisée par VAD, en partenariat avec la Région Rhône-Alpes et l'ADEME le 29 avril à Lyon :

« Composé d'entretiens avec les usagers, concepteurs, gestionnaires, exploitants..., cette enquête réalisée en 2012 a permis de réfléchir à la performance in vivo de bâtiments basse consommation. Celle-ci intègre le confort ressenti mais aussi le retour des usagers sur leur qualité de vie pouvant aller jusqu'à une dimension identitaire (« Suis-je fier d'habiter dans un bâtiment basse consommation ? »). Les enseignements sont les suivants :

- *Les usagers ne se comportent jamais comme prévu par les concepteurs, ni comme on leur dit de se comporter. La conception normative du comportement des usagers ne doit pas être confondue avec la réalité car les usagers vont toujours inventer leur propre façon de vivre dans le BBC,*
- *L'inconfort ressenti est à prendre au sérieux car il conduit à une compensation électrique énergivore (ex : convecteur électrique, climatisation) et à une désolidarisation du collectif,*
- *La difficulté en conception à jouer sur les usages spécifiques (dont les consommations explosent avec l'informatisation des activités sociales) nécessite de faire participer l'utilisateur au processus d'amélioration continue de la performance.*

Avec d'autres sociologues, un travail est en cours pour le compte du Cerema pour concevoir une méthodologie complémentaire de suivi des bâtiments performants autour des pratiques du confort ressenti. »

Pour aller plus loin :

- « Intégration de la qualité d'usage dans les bâtiments de demain : de la programmation à l'exploitation », DREAL et ADEME Lorraine, CETE de l'Est, 2013
- « Bâtiment intelligent et qualité d'usage », Bourgogne Bâtiment Durable, 2013
- « Retours d'expériences sur 21 bâtiments performants de la région Rhône-Alpes » (zoom sur l'implication des usagers dans l'atteinte des performances), VAD, 2013
- « Les conditions sociales et organisationnelles d'une performance énergétique in vivo dans les bâtiments neufs », Chantier Leroy Merlin Source, 2015

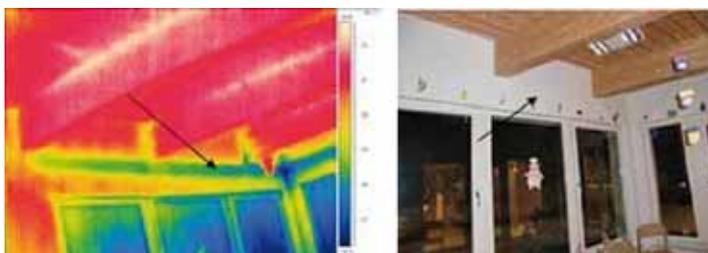


LA QUALITÉ DE L'ENVELOPPE : LIMITATION DES DÉPERDITIONS THERMIQUES ET RENFORCEMENT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

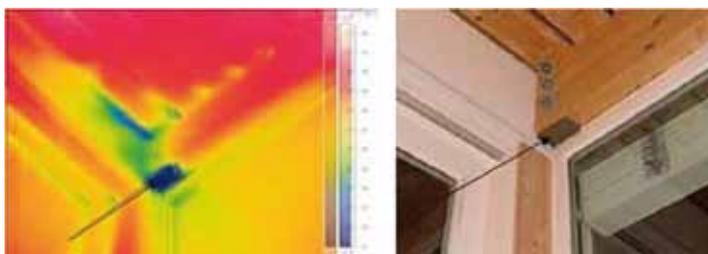
Le renforcement des exigences de la réglementation et des labels a entraîné la réduction des déperditions thermiques ainsi que le renforcement de l'étanchéité à l'air. La performance de l'enveloppe ne dépend plus uniquement des caractéristiques intrinsèques des éléments, mais bien de leur mise en œuvre, ce qui met en avant l'importance de la formation des entreprises sur les lots concernés.

■ Ponts thermiques

Le recours à l'isolation thermique par l'extérieur supprime la plupart des ponts thermiques, même si l'analyse par caméra thermique effectuée sur 8 des 14 opérations suivies met en avant des faiblesses au niveau des menuiseries, des balcons, des planchers des différents étages, des fixations en façade ou des linteaux au-dessus de baies vitrées.

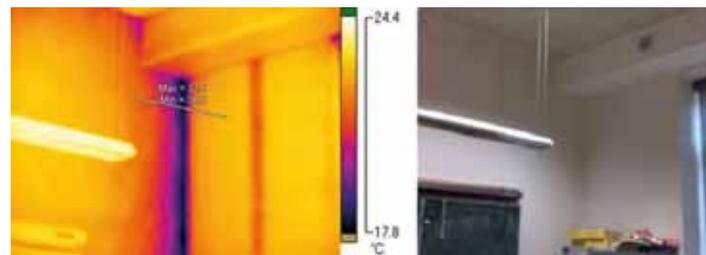


Ponts thermiques au niveau de linteaux de baies vitrées*



Ponts thermiques dus à des accroches métalliques*

Acteurs concernés : Mo - Moe - entrepr



Ponts thermiques à la jonction de 2 murs extérieurs*

* Source ADEME / ENERTECH

■ Étanchéité à l'air

Les exigences réglementaires et celles des labels sont les suivantes :

	RT 2012 / label BBC Effinergie pour les bâtiments RT2005	Label Passivhaus
Logements collectifs	$Q_{4Pa-surf} < 1 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ (RT2012 ou label BBC Effinergie RT 2005)	$n_{50} \leq 0,6 \text{ vol/h}$
Bureaux	Pas d'exigence réglementaire Valeur de référence : $1,2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ Valeur par défaut : $1,7 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$	$n_{50} \leq 0,6 \text{ vol/h}$

Nota : $Q_{4Pa-surf}$: débit de fuite par m^2 de surface déperditive hors plancher bas sous une dépression de 4 Pa.

n_{50} : taux de renouvellement d'air par les fuites d'étanchéité sous une dépression de 50 Pa.

Les performances obtenues sur les projets suivis sont les suivantes :

- En logement : $Q_{4Pa-surf}$ compris entre 0,26 et 0,76 $m^3/(h.m^2)$,
- En bureau : $Q_{4Pa-surf}$ compris entre 0,57 et 1,65 $m^3/(h.m^2)$, deux des trois bureaux visant l'énergie positive atteignant les valeurs les plus faibles, à savoir 0,57 et 0,58 $m^3/(h.m^2)$.

Deux projets (B6-700m²-BBC-74 et GS-Rehab-700m²-69) présentent des niveaux d'étanchéité à l'air particulièrement faibles.

Les assemblages menuiseries / parois et volets roulants / parois restent un point faible. Des difficultés apparaissent également au niveau des appareillages électriques (prises, interrupteur...), des ascenseurs et des éléments traversant les parois.

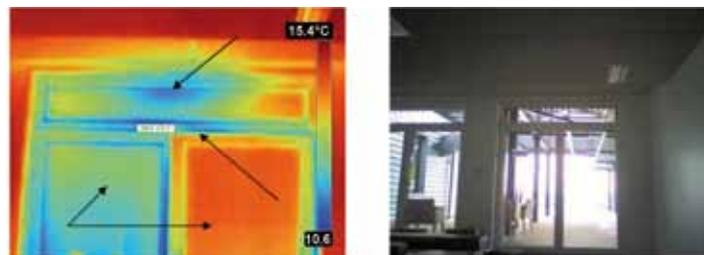


Figure 43 : FUITES AU NIVEAU DES LIAISONS DORMANT/ OUVRANTS ET VITRAGE DE GAUCHE POSÉ DANS LE MAUVAIS SENS – source ADEME / ENERTECH

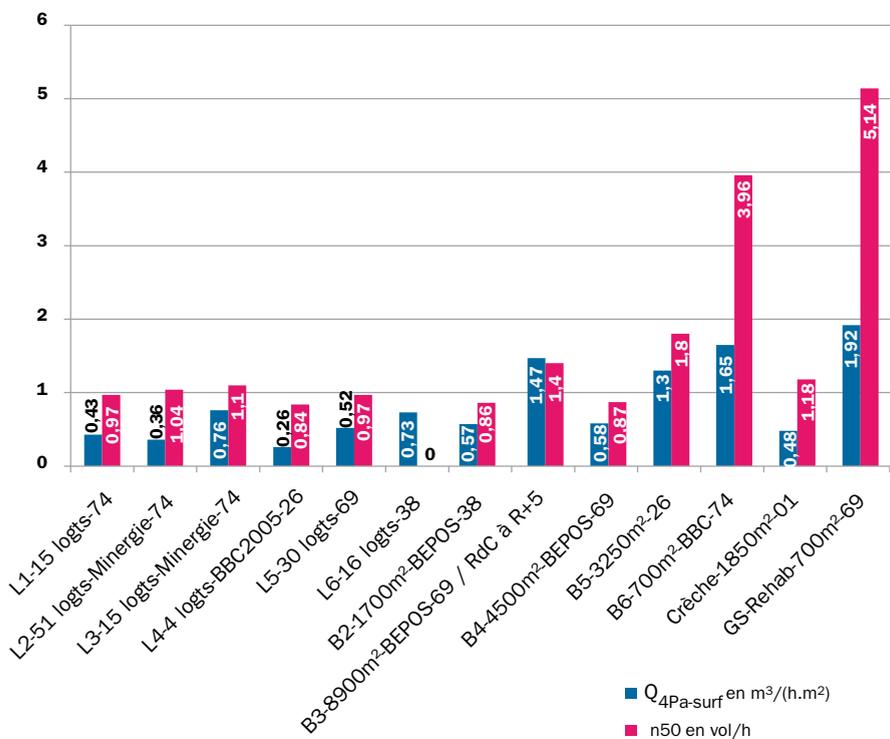


Figure 42 : RÉSULTATS DU TEST À LA PORTE SOUFFLANTE (graphique réalisé avec les données de CETE, COSTIC, ENERTECH, Etamine, MANASLU)

En rénovation, l'amélioration de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe doit s'accompagner de la mise en œuvre d'une ventilation efficace, sous peine de se trouver confronté à des problèmes d'insalubrité.



Témoignage acteur de la filière, Vincent AMALRIC, chef de projet, société CETII, bureau d'études spécialisé dans l'étanchéité à l'air et la thermographie infrarouge

« Beaucoup d'entreprises (ou de maîtres d'œuvre) « subissent » encore la réglementation, et on détecte aujourd'hui plus de problèmes que sur les projets type BBC Effinergie qui relevaient de démarches volontaires. Nous constatons des rebouchages mal réalisés au niveau de passages de réseaux fluides et trémies, des ouvrages en maçonnerie non enduits, des fuites au niveau des joints de dilatation... Au-delà de la constatation de la fuite, il faut s'intéresser à son origine : une fuite constatée au droit d'un boîtier électrique peut être induite par une circulation d'air derrière le doublage qui prend sa source sur un percement de maçonnerie. Les points sensibles sont les interactions entre éléments et traversées : en conception, ces points doivent être identifiés et des solutions adaptées doivent être définies. »

Témoignage acteur de la filière, Philippe GALLIEN, directeur commercial, société GROFILLEX, fabricant de menuiseries extérieures

« La mise en œuvre sur béton ou sur bois ne doit pas poser de problème par rapport à l'ajustement dimensionnel (usage de mannequins métalliques avec le béton notamment). Des problèmes de précision peuvent en revanche être rencontrés sur les ouvrages en maçonnerie. La mise en œuvre des joints expansifs autour des menuiseries ne donne pas toujours satisfaction : joints mal fermés (il en manque un bout) ou expansés trop brutalement (notamment par température extérieure élevée), ce qui peut occasionner des problèmes, par exemple en cas de pose de la menuiserie en tunnel. Cela révèle l'importance de la formation des entreprises pour les produits les plus techniques. À la demande de certains maîtres d'ouvrage, il faut parfois revenir au joint silicone traditionnel. Si tel est le cas, le soin apporté à la mise en œuvre reste de toute façon essentiel. »





EAU CHAUDE SANITAIRE

EAU CHAUDE SANITAIRE

RÉSUMÉ

La recherche d'économies d'énergie dans le milieu du bâtiment s'est surtout focalisée sur le poste « chauffage » depuis les premières réglementations thermiques. L'avènement de l'isolation thermique extérieure, du contrôle de la perméabilité à l'air et de la ventilation double flux à récupération de chaleur a permis de réduire fortement la consommation de ce poste. L'eau chaude sanitaire (ECS) est alors devenue un poste de consommation prépondérant, notamment en logements, et la solution la plus répandue pour le réduire a été de développer la production solaire thermique. En effet, lorsqu'une installation de production d'ECS solaire est correctement dimensionnée, mise en œuvre et mise en service, la couverture annuelle des besoins d'eau chaude peut être très intéressante (de l'ordre de 50 %). Afin d'arriver à de bons résultats, il est toutefois primordial en phase conception de ne pas surestimer les besoins d'ECS et de reprendre des schémas types. Le calorifuge des réseaux et du ballon de stockage est aussi une condition indispensable pour limiter les pertes thermiques de distribution. Par ailleurs, les consommations d'ECS des bâtiments tertiaires très performants ne peuvent dorénavant plus être négligées, et des solutions pertinentes sont à prévoir (cela est favorisé aujourd'hui par la prise en compte de ce poste dans la RT 2012, ce qui n'était pas le cas en RT 2005).

Les consommations d'énergie pour la production d'ECS relevées sur les opérations de logements sont assez divergentes selon les bâtiments car elles dépendent de deux paramètres :

- Les besoins en eau des habitants, variant selon le comportement plus ou moins économe des utilisateurs, mais parfois aussi suivant le temps de puisage (problématique des longueurs de distribution individuelle),*
- La performance de l'installation solaire thermique, avec des couvertures variables selon les dysfonctionnements apparus lors de la première année.*

Pour les bâtiments de bureaux, les consommations d'ECS restent faibles car il y a peu de besoin, mais elles peuvent devenir non négligeables si la conception n'est pas adaptée à du tertiaire (exemple des consommations liées au bouclage et au maintien de la température dans les ballons pour une production centralisée).

La problématique est identique sur la crèche et le groupe scolaire avec des consommations d'entretien pour maintenir la température du ballon d'ECS qui représentent jusqu'à la moitié des consommations totales d'ECS du bâtiment.

Des économies d'énergie sur le poste ECS sont donc possibles et facilement réalisables si les questions de dimensionnement, de schéma hydraulique et de calorifuge sont étudiées durant la conception.

En chiffres :

- Besoins d'ECS en logement variant de 20 à 36 litres/pers/jour selon les utilisateurs et le temps de puisage
- Couverture des besoins d'ECS variant de 44 % à 68 % selon les performances de l'installation solaire thermique et la météo
- Surdimensionnement fréquent des besoins d'ECS de 11 à 50 % par rapport aux besoins réels pour du logement
- Consommations d'ECS en tertiaire jusqu'à 10 fois supérieures avec une production non adaptée comme une installation centralisée pour du bureau
- Division par 4 des consommations d'ECS suite à la mise en place d'une programmation horaire de coupure de la production en inoccupation pour du tertiaire

BILAN ÉNERGÉTIQUE

• LOGEMENTS

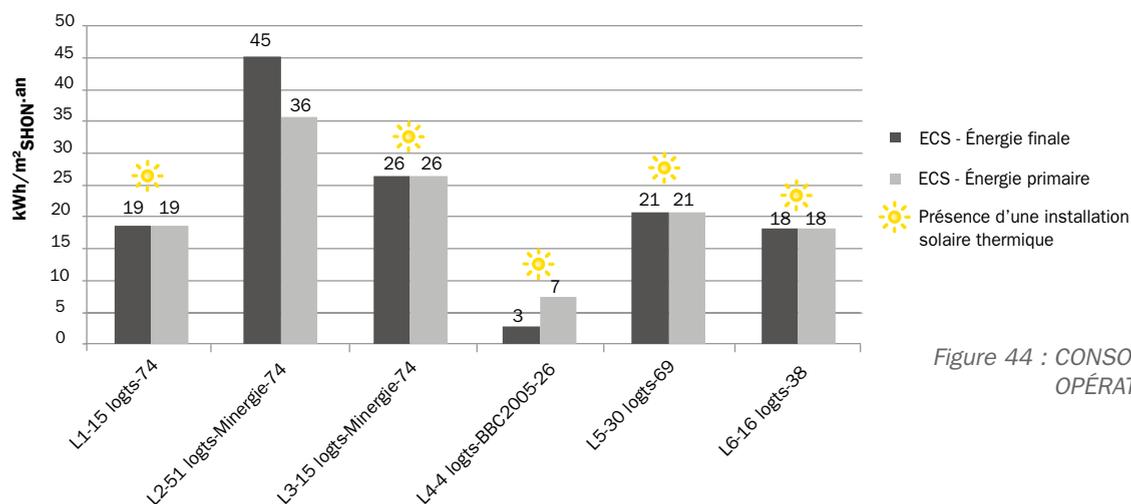


Figure 44 : CONSOMMATION D'ECS DES OPÉRATIONS DE LOGEMENTS

Opération	Système	Centralisé / individuel
L1-15 logts-74	Chaudière gaz	Centralisé
L2 -51 logts-Minergie-74	Chaudière gaz/bois	Centralisé par bâtiment
L3-15 logts-Minergie-74	Chaudière gaz	Centralisé
L4-4 logts-BBC2005-26	PAC sur nappe	Centralisé
L5-30 logts-69	Réseau chaleur	Centralisé
L6-16 logts-38	Chaudière gaz/solaire	Centralisé

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Sur ce panel, les consommations d'ECS sont :

- égales à 7 kWh_{ep}/m²_{SHON}.an pour l'opération avec PAC+ECS solaire
- comprises entre 18 et 26 kWh_{ep}/m²_{SHON}.an pour les opérations avec installation solaire thermique
- égales à 36 kWh_{ep}/m²_{SHON}.an pour l'opération sans solaire

• BUREAUX

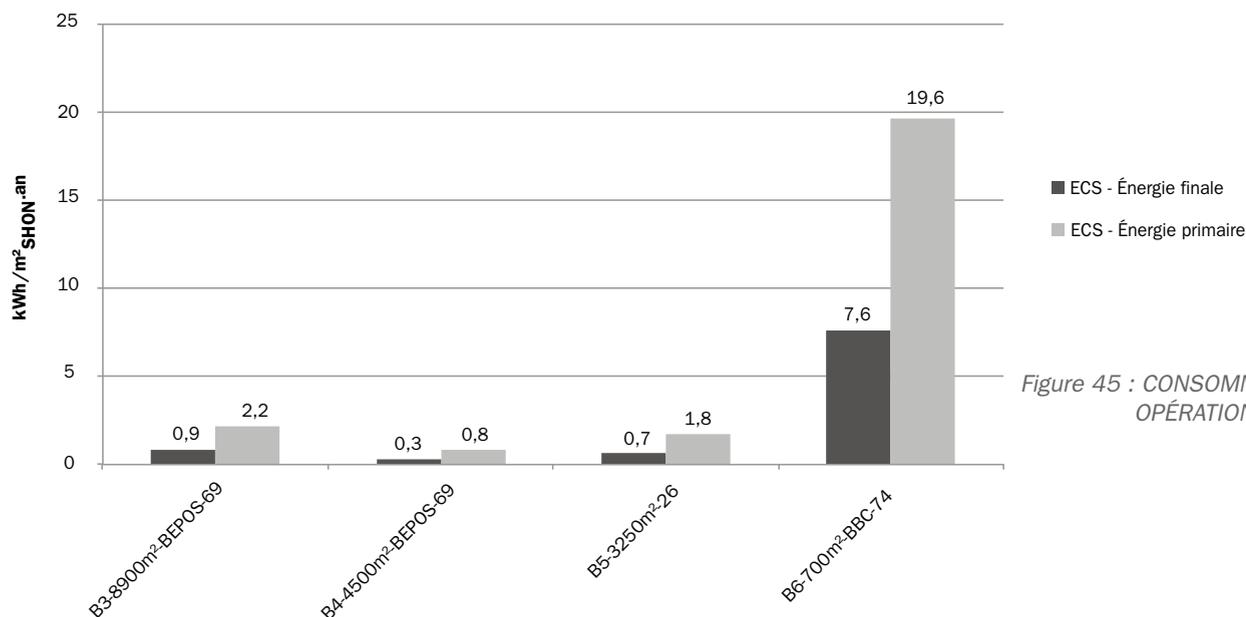


Figure 45 : CONSUMMATION D'ECS DES OPÉRATIONS DE BUREAUX

Opération	Système	Centralisé / individuel
B1-550m²-26	Cumulus électriques	Individuels
B2-1700m²-BEPOS-38	Pas d'ECS	Pas d'ECS
B3-8900m²-BEPOS-69	Cumulus électriques	Individuels
B4-4500m²-BEPOS-69	Cafétéria et local entretien : cumulus électrique Sanitaires (avec douches) : chauffe-eau thermodynamique	Individuels
B5-3250m²-26	Cumulus électriques	Individuels
B6-700m²-BBC-74	Cumulus électriques	Centralisé

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Sur ce panel, les consommations d'ECS sont :

- d'environ 2 kWhep/m²_{SHON}.an pour les opérations avec production individuelle
- égales à 20 kWhep/m²_{SHON}.an pour l'opération avec production centralisée

• ENSEIGNEMENT ET PETITE ENFANCE

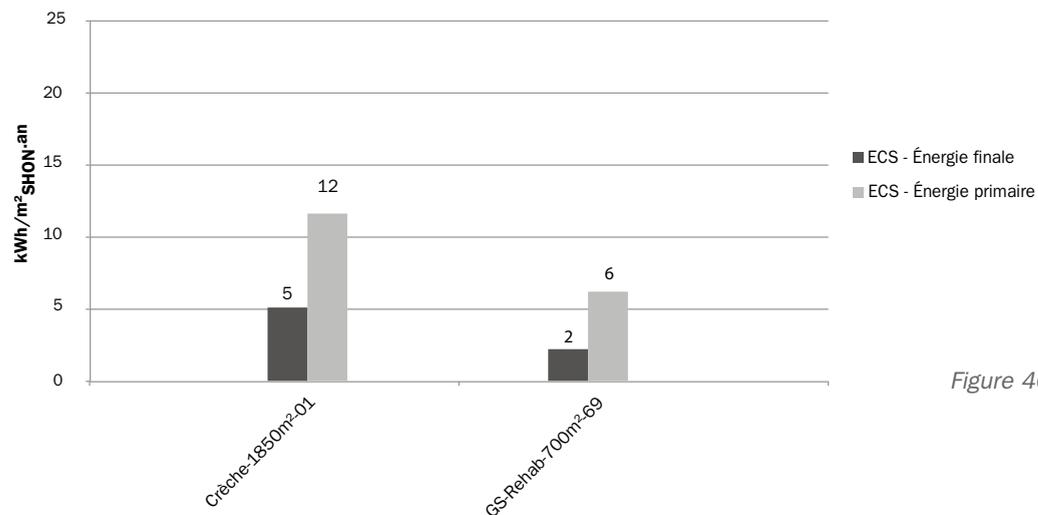


Figure 46 : CONSOMMATION D'ECS DES OPÉRATIONS D'ENSEIGNEMENT ET DE PETITE ENFANCE

Opération	Système	Centralisé / individuel
Crèche-1850m²-01	Cumulus électriques	Individuels
GS-Rehab-700m²-69	Cumulus électriques	Centralisé

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Pour les 2 opérations, les consommations d'ECS sont égales à 6 (groupe scolaire) et 12 kWh/m²_{SHON}.an (crèche)

Bilan énergétique des auxiliaires

Le bilan énergétique des auxiliaires d'ECS et de chauffage est à retrouver dans le chapitre **CHAUFFAGE**

CONCEPTION					
Études / Dimensionnement					
Dimensionnement et besoins	Estimer les besoins au plus juste (besoins d'ECS réels souvent plus faibles que ceux prévus selon les règles de dimensionnement « classiques » ; aspect particulièrement important dans le cadre de production d'eau chaude solaire). Réduire au maximum les parcours de distribution.	€		01 	50
Entretien / Maintenance	Prévoir des organes de coupure en nombre suffisant et facilement accessibles.				
Particularité bâtiment tertiaire	Étudier la possibilité de ne pas installer d'ECS dans les sanitaires ou <i>a minima</i> prévoir des ballons sur-isolés et les couper hors période de chauffage ou une production instantanée à proximité du point de puisage.			08 	86
	Lorsque les besoins sont faibles, éviter une production centralisée, les consommations de bouclage et les pertes thermiques pouvant devenir supérieures aux besoins d'ECS eux-mêmes. Par ailleurs toute programmation de bouclage peut se trouver en contradiction avec les règles de protection contre la légionellose.	€		08 	86
ECS solaire	Rechercher la simplicité lors de la conception du schéma hydraulique de l'installation d'ECS solaire.	€		09 	88
Distribution	Éviter les passages des circuits d'ECS en dalles, surtout s'ils ne sont pas calorifugés.				
Régulation					
Programmation	Mettre en place une programmation horaire ou coupure, à l'exception des logements (tout en restant vigilant vis-à-vis du risque légionelle).				
Choix matériaux / Matériels					
Calorifugeage	Mettre en place un niveau d'isolation suffisant : <ul style="list-style-type: none"> • Classe 2 à 4 pour les réseaux de distribution et bouclage, • R = 7 m².K/W pour les réservoirs de stockage. Prévoir le calorifugeage des vannes, pompes, échangeurs, collecteurs...	€		04 	59
Équipements économes	Poser des équipements hydro-économes ; un surinvestissement dans du matériel performant permettant d'économiser 30% d'eau chaude ET d'eau froide et étant plus efficace énergétiquement qu'une installation solaire mal dimensionnée.	€			
RÉALISATION					
Calorifugeage	Vérifier le bon calorifugeage des vannes et des pompes.				
MISE EN SERVICE					
Réglages					
Légionnelle	S'assurer d'avoir une température de départ adaptée pour éviter les risques de légionelle (impact sanitaire important).				
Vérifications					
Points de réglage	Vérifier-ajuster les points de réglage suivant les prescriptions des cahiers des charges : <ul style="list-style-type: none"> • Température aux points de puisage, • Température de bouclage. 	€			
Réseau de chaleur	Vérifier la température de garantie d'approvisionnement en sortie du réseau de chaleur.				
Pompes	Maintenir les pompes de bouclage de l'ECS en fonctionnement permanent en logement afin d'éviter un tirage d'eau trop important avant l'arrivée de l'eau chaude.				
EXPLOITATION					
Entretien / Maintenance					
Cahier de maintenance	Mettre en place un cahier de maintenance. S'assurer de la réalisation d'une maintenance soignée.				

Rappel : check-list non exhaustive mais établie uniquement sur la base des 14 rapports analysés.



QUELLES SOLUTIONS POUR L'ECS EN TERTIAIRE ?

Les consommations d'eau chaude sanitaire (ECS) des bâtiments tertiaires très performants ne peuvent plus être négligées, et des solutions originales sont à prévoir ; cela devrait être favorisé aujourd'hui par la prise en compte de ce poste dans la RT 2012, ce qui n'était pas le cas en RT 2005 pour les bâtiments tertiaires.

Une production centralisée n'est généralement pas une solution à privilégier pour les bâtiments tertiaires à faibles besoins tels que les bureaux. Parmi les projets étudiés, l'unique cas d'un tertiaire traité de cette manière montre que les consommations de bouclage et de pertes réseaux sont supérieures aux besoins d'eau chaude eux-mêmes.

Même avec une production localisée, **près de la moitié des consommations concerne uniquement le maintien en température des ballons.**

Suite à ce constat, on pourrait envisager ne pas installer d'ECS dans les sanitaires, ou *a minima* de prévoir des ballons sur-isolés et de couper l'alimentation hors période de chauffage (dans la mesure où cela ne provoque pas de gêne, par exemple vis-à-vis de l'entretien des locaux) ou une production instantanée à proximité du point de puisage.

Acteurs concernés : Pr - Mo - Moe

Zoom opérations : Crèche-1850m²-01 et GS-Rehab-700m²-69

Sur ces opérations de crèche et d'école, pour lesquelles l'ECS est produite par ballons électriques, la figure suivante met en évidence la part considérable de la consommation d'entretien dans la consommation annuelle totale d'électricité de la production d'ECS.

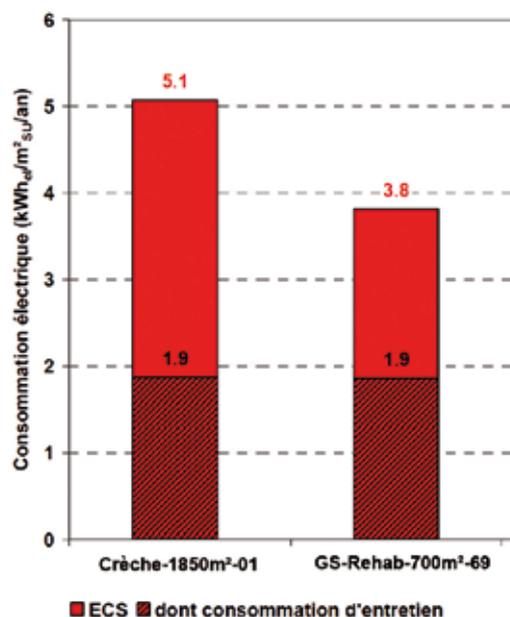


Figure 47 : CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ DE LA PRODUCTION D'ECS - source ADEME / ENERTECH

Zoom opération : B3-8900m²-BEPOS-69

Le graphique suivant représente la répartition de la consommation totale d'énergie dédiée à la production d'ECS sur une journée, pour différentes périodes de l'année d'étude.

On peut noter un talon de consommation en inoccupation (20h-6h) relativement important. Ce talon ne sert qu'à maintenir les ballons en température sans consommations d'eau chaude. Il ressort de cette analyse qu'une isolation complémentaire des petits ballons d'eau chaude pourrait présenter un réel intérêt pour limiter ces pertes inutiles.

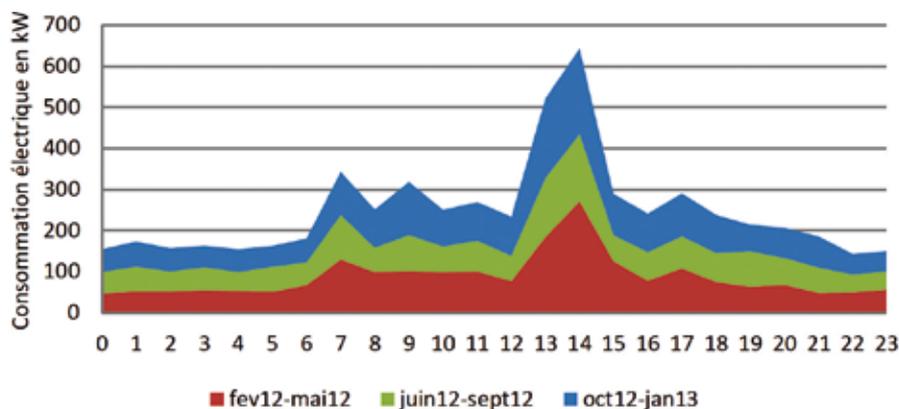


Figure 48 : RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE ANNUELLE POUR L'ECS EN FONCTION DE L'HEURE SUR UNE JOURNÉE – source ADEME / Etamine



Témoignage acteur du projet, Sébastien RANDLE, chargé d'affaires, Etamine, bureau d'études en conception environnementale du bâtiment

« Pour ce qui est de l'eau chaude dans les sanitaires des parties communes, ainsi que dans les sanitaires et les coins cuisine des plateaux de bureaux, celle-ci a été coupée pour test mi-janvier 2013. Cette coupure a été assez mal vécue pendant la période d'hiver. Ainsi, plus d'un tiers des personnes ayant répondu à un questionnaire de satisfaction considère que l'eau chaude est absolument nécessaire en hiver, alors que la moitié pense que c'est un plus. Parmi les commentaires, le besoin d'eau chaude pour faire la vaisselle dans les coins cuisine des plateaux revient très souvent... En période d'été par contre, seuls 15 % des utilisateurs considèrent que l'eau chaude est réellement nécessaire et la moitié la trouve inutile.

En conclusion, il est possible de couper l'eau chaude sans gros problème sur toute la période estivale pour les besoins sanitaires à l'exception des locaux prévus pour la restauration sur place. Pour la période d'hiver, il faudra éventuellement reposer la question quand le confort thermique sera plus satisfaisant. »

Témoignage acteur de la filière, Christel CORRADINO, chargée d'opération et coordinatrice de l'équipe maîtrise d'œuvre, ENERTECH, bureau d'études spécialisé en énergétique appliquée aux bâtiments

« L'ECS n'est pas suffisamment prise en compte au niveau de la conception, ce qui ne permet pas d'anticiper l'emplacement des points de puisage et de prévoir une mutualisation du stockage. La production instantanée avec résistance électrique est intéressante pour les pièces isolées (locaux ménage) car il n'y a pas de pertes dues au bouclage, même s'il y a un gros appel de puissance (le seul « risque » est lié à l'abonnement électrique qui peut être plus cher). Les ballons avec jaquette isolante intégrée sont en général de bonne qualité et plus performants que ceux avec un calorifuge fait sur site. »



INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES : LA SIMPLICITÉ À PRIVILÉGIER

Acteurs concernés : Mo - Moe - entrepr - exploit

La solution la plus répandue pour réduire les consommations d'énergie liées à la production d'eau chaude sanitaire est d'utiliser l'énergie solaire thermique. Malgré sa mise au point depuis le début du XX^e siècle, son développement a longtemps stagné par manque de compétitivité, de maturité technologique et de volonté politique. Cependant, avec l'arrivée des labels énergétiques de type BBC, la filière s'est structurée et permet aujourd'hui la mise en œuvre de matériel de qualité par des professionnels qualifiés. Toutefois, les retours d'expérience sur ces installations ne sont pas toujours bons. Pourtant, les erreurs entraînant ces mauvaises performances ne sont pas très difficiles à éviter, et les gains sur les consommations d'ECS peuvent être intéressants, surtout pour les logements collectifs. Ainsi, un maître d'ouvrage est en mesure d'attendre de son installation solaire une autonomie pour son poste eau chaude sanitaire **de l'ordre de 30 à 70%** et une production solaire annuelle moyenne comprise **entre 450 et 700 kWh/m²capteurs.an**.

Sur les 5 installations solaires thermiques présentes, 3 fonctionnent correctement, avec un taux de couverture des besoins d'ECS variant de 44 % à 68 %.

La principale raison du mauvais fonctionnement d'une production d'ECS solaire est la complexité de son installation. En effet, un schéma hydraulique trop compliqué peut entraîner une réponse technique inadaptée des entreprises, une mise en œuvre imparfaite, une mise en service incomplète et/ou un manque de compétence pour assurer la maintenance. Une autre raison provient de la réduction des missions de suivi de chantier de la maîtrise d'œuvre, qui entraîne **un manque de contrôle des installations réalisées et de coordination**

avec les installateurs et les futurs gestionnaires. Les entreprises elles aussi ont leur part de responsabilité et doivent continuer à se former sur ce sujet car il reste encore des pièges à éviter, ce qui n'est plus trop le cas pour les systèmes de chauffage par exemple. Sur les opérations analysées, il a été observé en particulier l'absence de clapet anti-retour, un fonctionnement en continu de pompes ou des compteurs mal placés.

L'initiative Socol (www.solaire-collectif.fr), portée par Enerplan avec le soutien de l'ADEME, propose différents outils et recommandations permettant de guider les maîtres d'ouvrage et les professionnels dans leur projet de réalisation solaire. On retrouve notamment pour les installations de solaire thermique collectif :

- Un guide du commissionnement, depuis la conception et durant toute la vie de l'ouvrage,
- Un outil de dimensionnement des besoins d'eau chaude sanitaire,
- Une bibliothèque de schémas de principe rappelant les bonnes pratiques de conception.

On note également que le dispositif d'accompagnement des professionnels du bâtiment « RAGE 2012 » a permis la rédaction de Recommandations Professionnelles sur les chauffe-eau solaires collectifs centralisés ou individualisés. Elles exposent les bonnes pratiques ainsi que les points de vigilance à respecter pour garantir une conception, une mise en œuvre, une mise en service et une maintenance correctes de ces systèmes.

Zoom opération 1 : L1-15 logts-74

Sur cette opération de 15 logements collectifs, 30 m² de capteurs solaires plans ont été installés en toiture, orientés au sud, et raccordés sur un échangeur à plaques qui alimente un ballon solaire de 1500 litres. L'appoint est réalisé par un ballon de 500 litres alimenté par une chaudière gaz. Ils ont produit 16 960 kWh utiles durant l'année 2009, soit une productivité solaire de 565 kWh/m² capteurs. Le taux de couverture annuel des besoins en eau chaude a donc été de 68 % sur cette année, les besoins d'ECS s'élevant à 24 910 kWh (de 67 à 107 l/jour et par logement).

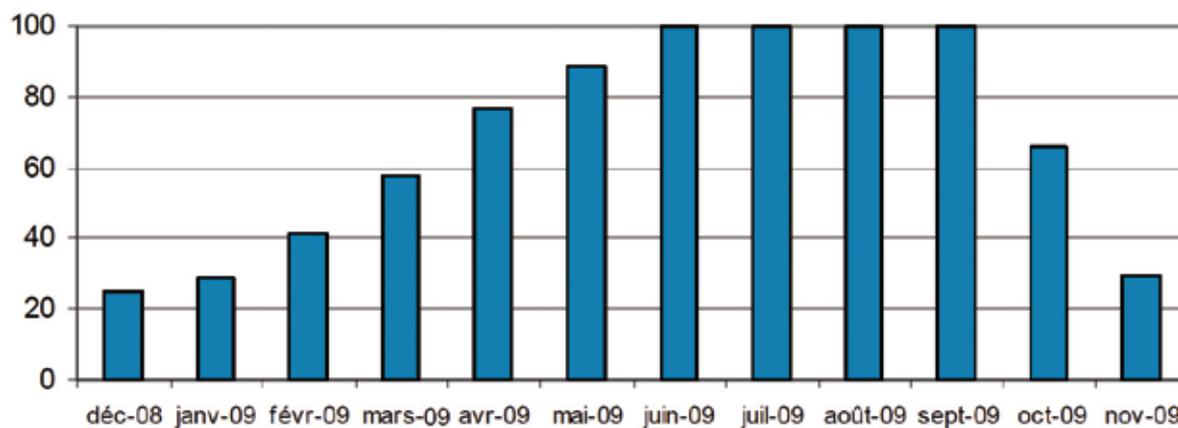


Figure 49 : TAUX DE COUVERTURE SOLAIRE (EN %) -
source ADEME / COSTIC / Pouget Consultants

La consommation d'appoint au solaire pour la production d'ECS a aussi été mesurée et s'élève à 16 430 kWh. La consommation d'ECS sans production solaire a alors été estimée en considérant les besoins mesurés et une production assurée uniquement par une chaudière gaz. En l'absence de production solaire, l'installation aurait consommé 33 213 kWh, soit 2 fois plus qu'avec l'équipement actuel. La couverture des consommations d'ECS par le solaire est donc de 50 % pour cette année.

Les mesures effectuées sur cette opération ont permis d'analyser différentes températures du réseau hydraulique de l'installation (voir graphiques page suivante).

Le graphique ci-dessous s'étale sur une semaine d'hiver.

On constate que les températures d'arrivée d'eau froide au ballon sont de l'ordre de 8°C durant les périodes de soutirage, et les températures d'eau en sortie du ballon d'appoint sont de 53°C, proche de la température de consigne. En présence d'ensoleillement (le 9 janvier), on note une température en sortie du ballon solaire allant jusqu'à 30°C environ, soit une économie de presque 50% en consommation d'appoint.

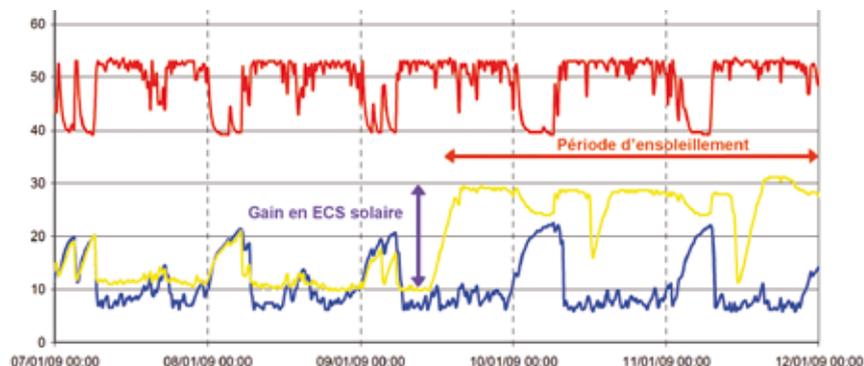


Figure 50 : TEMPÉRATURES SUR LA PRODUCTION SOLAIRE EN HIVER (°C) - source ADEME / COSTIC / Pouget Consultants

En été, durant les périodes de soutirage, la température d'eau froide est en moyenne de 15°C et une température en sortie de ballon solaire de 75°C est atteinte sous l'effet d'un ensoleillement important. La température en sortie du ballon d'appoint est, elle, de 62°C et un mitigeage avec de l'eau froide est alors nécessaire pour l'abaisser à 55°C. L'abaissement de température de 75°C en sortie de ballon solaire à 62°C en sortie de ballon d'appoint s'explique par les pertes thermiques dans ce dernier. Cela souligne bien l'importance du calorifugeage des équipements, notamment des ballons de stockage.

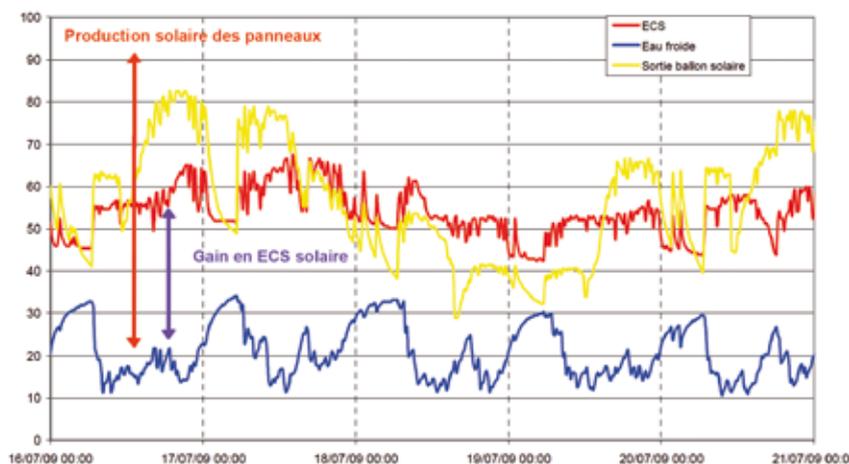


Figure 51 : TEMPÉRATURES SUR LA PRODUCTION SOLAIRE EN ÉTÉ (°C) - source ADEME / COSTIC / Pouget Consultants

Le rapport de suivi de l'opération L1-15 logts-74 conclut qu'il n'y a pas eu de surdimensionnement excessif de l'installation solaire, tant au niveau de la surface des capteurs que du volume du ballon solaire, ce qui aurait pu constituer une erreur classique. Les taux de couverture de 100 % sur les mois d'été réclament toutefois une surveillance particulière. En effet, un taux de couverture maximal de 85 % à 90 % est généralement recherché pour cette période afin d'éviter les surchauffes néfastes qui engendrent des détériorations du fluide caloporteur et une contre-performance énergétique de l'installation solaire.



Témoignage acteur de la filière, Boris JEAN, directeur commercial de CLIPSOL, fabricant d'équipements solaires thermiques

Comment éviter la problématique des surchauffes sur les installations solaires thermiques ?

« La principale solution afin d'éviter la surchauffe des panneaux est bien évidemment de correctement dimensionner l'installation pour ne pas dépasser les 50 % à 60 % de couverture des besoins d'ECS sur l'année et 90 % sur les mois d'été. Les panneaux solaires ne sont alors pas très judicieux sur des bâtiments inoccupés durant la période estivale, comme les établissements scolaires par exemple. »

Quelles sont les conséquences d'une surchauffe des panneaux ?

« S'il y a surchauffe, la conséquence la plus grave n'est pas la réduction des caractéristiques du fluide caloporteur, mais une montée en pression et en température qui va dégrader les joints de toute l'installation et faire apparaître des fuites. La soupape peut aussi évacuer du fluide caloporteur avec pour conséquence une entrée d'air dans le circuit, donc une diminution du rendement. »

Hormis le dimensionnement correct de l'installation, quelles sont les autres solutions possibles ?

« Des solutions techniques existent pour réduire ces surchauffes, comme la décharge nocturne qui consiste à renvoyer l'eau du ballon solaire vers les capteurs durant la nuit pour diminuer sa température. Une autre technique est de faire fonctionner l'installation en mode dégradé, c'est-à-dire en laissant volontairement monter la température des capteurs pour en diminuer leur rendement. Le système auto-vidangeable (ou drain back) est une troisième solution qui consiste à faire redescendre le fluide caloporteur des panneaux dès que les besoins sont satisfaits. »

Y a-t-il d'autres pièges à éviter pour assurer un bon fonctionnement de l'ECS solaire ?

« Arrêtons les schémas hydrauliques trop complexes. Il faut concevoir des schémas d'installation simples, ayant fait leurs preuves et que les entreprises et les gestionnaires connaissent, car la moindre imperfection entraîne le mauvais fonctionnement de toute l'installation d'ECS. De plus, crise économique oblige, les entreprises cherchent à réduire leurs dépenses et peuvent choisir du matériel plus économique mais moins performant, moins durable, avec un entretien plus complexe. »



RAFRAÎCHISSEMENT

RAFFRAÎCHISSEMENT

RÉSUMÉ

Le rafraîchissement prend une part de plus en plus importante dans le bilan énergétique des bâtiments de bureaux, et est géré en parallèle du chauffage, parfois par le biais du même équipement. On retrouve d'ailleurs des problématiques identiques, telles que l'importance du dimensionnement des équipements et des auxiliaires, du zoning selon les besoins, de l'asservissement des éléments entre eux ainsi que de la bonne utilisation des nouvelles technologies.

Concernant la surventilation nocturne, il est nécessaire de comparer les bénéfices et les surconsommations de ventilation induite, et de bien adapter la régulation. Favoriser le freecooling et garder un œil critique sur les règles de l'art permettraient également d'améliorer les performances énergétiques des bâtiments et d'éviter la «sur-climatisation».

Le rôle de l'occupant est bien sûr également primordial, il faut donc l'intégrer au mieux dans la gestion du rafraîchissement de son bâtiment.

BILAN ÉNERGÉTIQUE

• BUREAUX

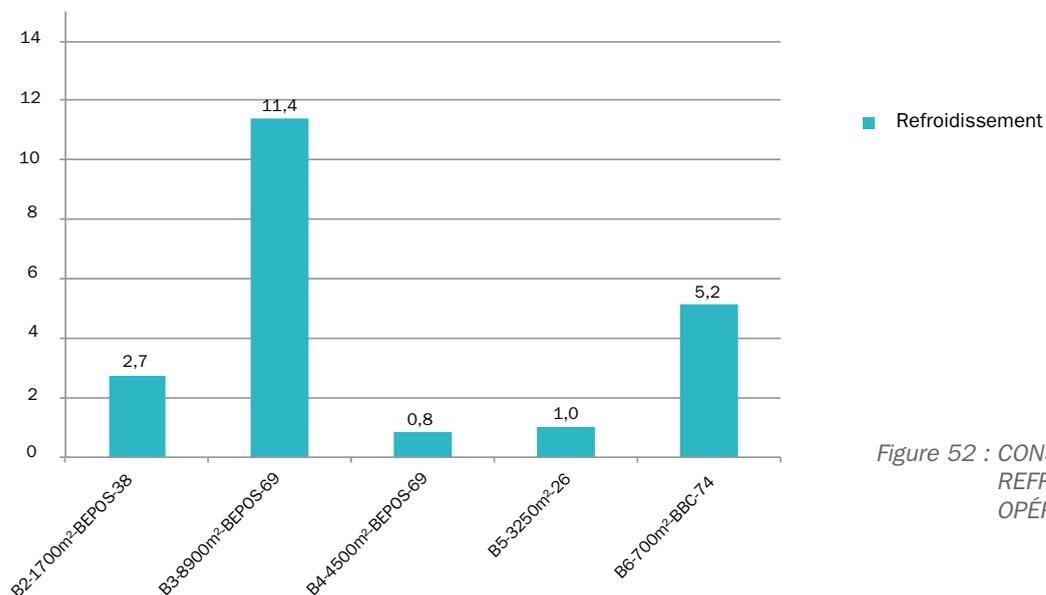


Figure 52 : CONSOMMATION DE REFROIDISSEMENT DES OPÉRATIONS DE BUREAUX

Opération	Système	T°C int moy été	Nb heures > 28°C
B2-1700m²-BEPOS-38	Freecooling sur nappe	26,5	0
B3-8900m²-BEPOS-69	Freecooling sur nappe	25	NC
B4-4500m²-BEPOS-69	PAC géothermique horizontale + groupe froid (salles de formations)	25,3	Pour la zone bureau la plus chaude : 75 h
B5-3250m²-26	Groupe froid	24,6	Bureaux : 19 h
B6-700m²-BBC-74	PAC sondes géothermiques	NC	NC

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Sur ce panel, les consommations de refroidissement sont comprises entre 1 et 11 kWh/m²_{SHON}·an

CONCEPTION					
Études / Dimensionnement					
PAC	Veiller à ce que la PAC soit dimensionnée et utilisée correctement (adéquation du COP et de la durée de vie avec les cycles arrêt/démarrage, utilisation d'un ballon de stockage pour réduire les cycles...).				
Organes de régulation	Dimensionner au plus juste les organes de régulation (vannes 3 voies, pompes) et les équipements énergétiques.				
Zoning de distribution	Rendre cohérent le zoning des réseaux de distribution (hydrauliques ou aérauliques) avec les besoins.				
(Sur)ventilation nocturne	Étudier systématiquement l'intérêt d'une (sur)ventilation nocturne, mais sans systématiser sa mise en place (à étudier selon les besoins en froid et les consommations électriques induites).				
Puits climatique	Analyser l'intérêt du puits climatique selon la surface de pleine terre disponible, le type de bâtiment et son occupation, la possibilité de ventilation nocturne et l'économie du projet.			05 	64
Régulation					
Asservissement aux besoins	Asservir les systèmes entre eux, arrêter les systèmes (producteurs et auxiliaires) en inoccupation ou lorsqu'ils sont inutilisés.				
MISE EN SERVICE					
Réglages					
Débits de distribution	Ajuster le débit des pompes de distribution hydraulique aux besoins de froid.				
Vérifications					
Régulation / programmation	Vérifier l'ensemble des paramètres de régulation/programmation de chaque système et pour chaque cas de figure envisagé au moment de la mise en service.				
EXPLOITATION					
Sensibilisation					
Température des salles serveurs	Prendre en compte les contraintes informatiques liées à la température de consigne des salles serveurs à leur juste valeur, sans les surestimer.			11 	106
Entretien / Maintenance					
Équipements non standard	Être particulièrement vigilant en exploitation aux équipements « non standard » (ex. puits climatique).			22 	158
Ajustement					
Température de consigne	Étudier systématiquement la possibilité d'augmenter la température de consigne par rapport à la prévision initiale.				
Suivi	Être vigilant lors de la mise en place du suivi énergétique afin d'éviter les erreurs de comptage (ex : emplacement des sondes des compteurs calorifiques).			23 	159

Rappel : check-list non exhaustive mais établie uniquement sur la base des 14 rapports analysés.



L'INFORMATIQUE AIME LE FROID MAIS SUPPORTE AUSSI LE CHAUD

Acteurs concernés : Pr - Mo - Moe - exploit

En France, les salles informatiques ou salles serveurs, situées au sein des bâtiments de bureaux, sont très souvent maintenues à des températures plus basses que nécessaire. En effet, la « règle de l'art » veut que ces pièces soient maintenues à moins de 20°C, hiver comme été, et les mentalités sur ce point, que ce soit chez les maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre ou encore les responsables informatiques, sont difficiles à faire évoluer.

Or, dans de nombreux pays les températures ambiantes tolérées de ces salles sont largement supérieures, avec la bénédiction des constructeurs de composants informatiques.

Ce point est très important, notamment pour des bâtiments qui sont très performants sur la majorité des postes de consommation, mais qui, par habitude et par crainte du changement, continuent de climatiser inutilement des pièces « oubliées » des consommations réglementaires notamment.

Or une économie substantielle serait possible en augmentant, ne serait-ce que de quelques degrés, cette température ambiante.

Aussi, en complément des réflexions sur la température ambiante, la mutualisation des salles serveurs entre les entreprises situées dans un même bâtiment est une bonne solution qui mérite d'être étudiée à chaque nouveau projet. La climatisation peut alors n'être installée que dans une seule pièce du bâtiment, abritant plusieurs serveurs.

Zoom opération 1 : B4-4500m²-BEPOS-69, climatisation présente pour la salle serveurs

En période de chauffage, le fonctionnement d'un split pour rafraîchir une salle serveurs peut être non seulement inutile, mais aussi contre-productif : il arrive que, pour maintenir la température de consigne de la salle, le split passe en mode chauffage (voir graphique). En effet, la demande de climatisation abaisse trop la température ambiante qui implique le déclenchement du chauffage.

Initialement à 19°C, la température de consigne a été augmentée à 21°C. Cette modification a permis de réduire la consommation de climatisation par 3 par rapport à la première année ; seul le ventilateur du split fonctionne maintenant (pas de mise en route du compresseur). La part du poste climatisation (salle serveurs et bureaux) ne représente donc plus que 2% des consommations globales du bâtiment, contre 5% avant augmentation de la consigne.

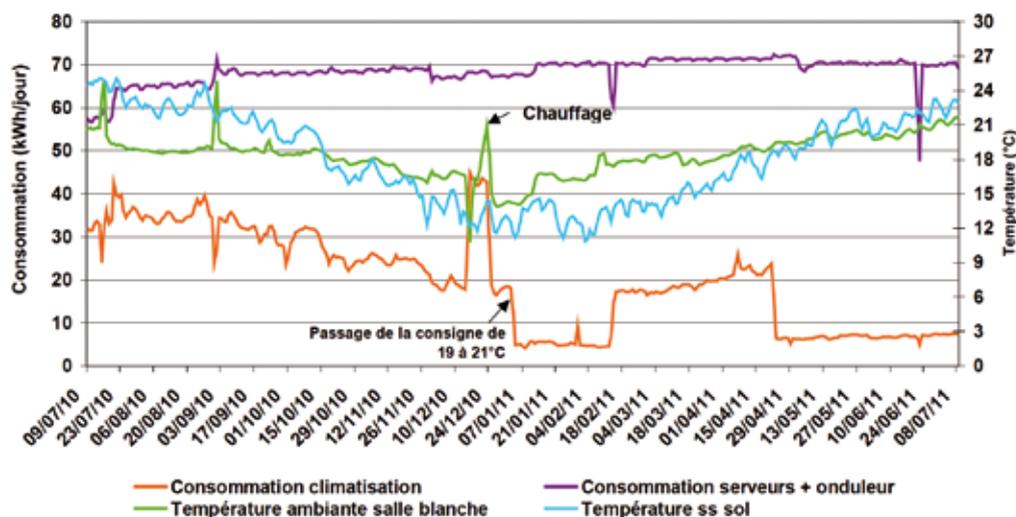


Figure 53 : CLIMATISATION-SALLE BLANCHE - évolution de la consommation de la climatisation et des températures ambiante et du sous-sol – source ADEME / ENERTECH

Suite au constat de la première année d'exploitation et à la première augmentation de la température de consigne (de 19°C à 21°C), il a été préconisé et mis en application une nouvelle augmentation de la température ambiante de la salle serveurs (de 21 à 26°C).



Témoignage acteur de la filière, Christel CORRADINO, chargée d'opération et coordinatrice de l'équipe maîtrise d'œuvre, ENERTECH, bureau d'études spécialisé en énergétique appliquée aux bâtiments

« Concernant l'augmentation de la température ambiante des salles serveurs, les mentalités évoluent doucement, et les progrès technologiques favorisent cette tendance. Par exemple, dans un bâtiment neuf en région parisienne, le client a tout de suite accepté une température ambiante de 24°C. »

Témoignage acteur de la filière, Simon VAILLANCOURT, Systems Engineer, Cisco Systems Canada, solutions pour le transport des données, de la voix et de la vidéo

« Les composants constituant les serveurs sont conçus pour supporter des températures importantes, la plage de fonctionnement recommandée s'échelonnant de 0 à 45°C. Le processeur supporte 60-70°C. Pour une température ambiante de 16°C dans la salle, le processeur est à environ 40°C, et à 26°C ambiant il est à environ 50°C, ce qui est tout à fait acceptable.

Concernant les data center, plusieurs fonctionnent en freecooling, et certains n'ont aucun système de rafraîchissement (Dublin). »

A photograph showing a mechanical ventilation system. On the left, a metal rack holds three white control boxes. To the right, a large, multi-segmented metal duct is visible, connected to a white ceiling-mounted unit. The scene is set in a technical room with a blue carpet.

VENTILATION

VENTILATION

RÉSUMÉ

Les enjeux d'une bonne ventilation sont nombreux :

- *Qualité de l'air intérieur : la ventilation contribue à améliorer la qualité de l'air intérieur grâce à un apport d'air neuf en quantité suffisante, à l'évacuation de l'air vicié (polluants et particules), et à la réduction du développement de moisissures,*
- *Maîtrise des consommations énergétiques : il s'agit de maîtriser les consommations électriques liées au fonctionnement des ventilateurs, via une bonne conception des réseaux, une régulation adaptée, mais aussi les consommations énergétiques liées au chauffage ou refroidissement de l'air soufflé,*
- *Confort acoustique : si la ventilation double flux peut éviter la mise en place d'entrées d'air dans les menuiseries, et donc beaucoup mieux traiter l'acoustique par rapport à l'extérieur, sa conception doit toutefois être soignée pour éviter toute gêne acoustique (bruits issus du système de ventilation ou interphonie),*
- *Confort hygrothermique (été/hiver) : la ventilation influe sur les conditions de température, vitesse d'air, humidité et donc participe au confort de l'ambiance intérieure ; elle peut également permettre une diffusion d'air préchauffé ou prérafraîchi plus confortable pour les occupants (dans certains cas elle constitue même le seul système amenant de la chaleur ou du froid dans l'espace),*

- *Préservation du bâti : une ventilation maîtrisée diminue l'humidité relative et les phénomènes de condensation, et par conséquent réduit les risques de dégradation des matériaux.*

Dans les suivis réalisés, même si certains points de vigilance concernent la phase de conception (exemple : diminution des pertes de charge), la majeure partie des problèmes soulevés concerne la réalisation, la mise en service et l'exploitation du bâtiment : étanchéité à l'air des réseaux, équilibrage des débits, ajustement de la loi de fonctionnement des batteries / by-pass, changement des filtres...

À noter que des dysfonctionnements importants non corrigés sont observés pendant plusieurs mois par absence de maintenance (exemple : moteur du ventilateur d'extraction tournant à l'envers, installation fonctionnant sur un clapet fermé).

Ces problèmes mettent en évidence l'importance de la réalisation des tests à réception, de la vérification de la régulation mise en place et de la souscription à un contrat d'entretien / maintenance adapté.

Des problèmes par ailleurs récurrents, tels que l'inconfort lié à des sensations de courant d'air, le mauvais positionnement des bouches de ventilation entraînant une mauvaise diffusion de l'air neuf, ou encore l'obstruction de bouches par les occupants, ne sont pas constatés ici.

BILAN ÉNERGÉTIQUE

• LOGEMENTS

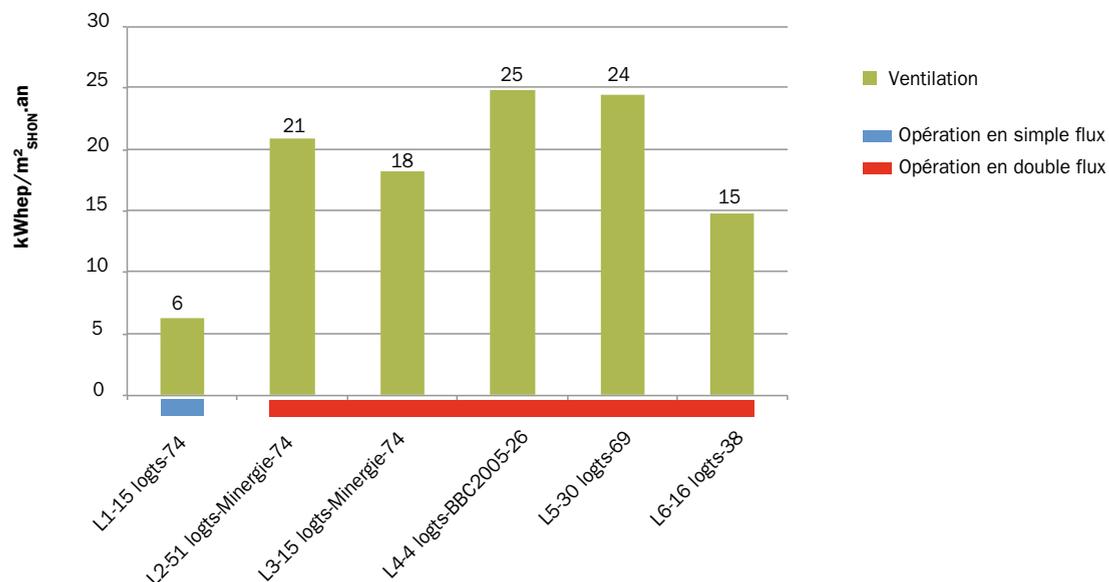


Figure 54 : CONSOMMATION DE VENTILATION DES OPÉRATIONS DE LOGEMENTS

Opération	Système
L1-15 logts-74	Simple flux hygro
L2 -51 logts-Minergie-74	Double flux
L3-15 logts-Minergie-74	Double flux
L4-4 logts-BBC2005-26	Double flux
L5-30 logts-69	Double flux
L6-16 logts-38	Double flux

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées
(cf. résumé projet si besoin)

Sur ce panel, les consommations de ventilation sont :

- comprises entre 15 et 25 kWhep/m²_{SHON}.an pour les projets équipés d'une VMC double flux
- égales à 6 kWhep/m²_{SHON}.an pour le projet équipé d'une ventilation simple flux hygro

• BUREAUX

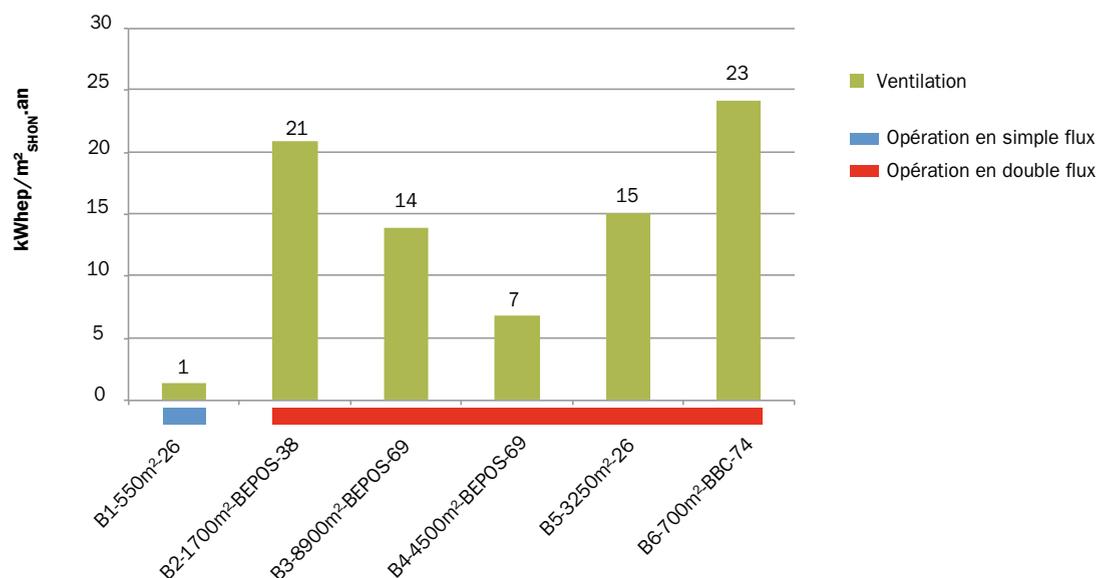


Figure 55 : CONSOMMATION DE VENTILATION DES OPÉRATIONS DE BUREAUX

Opération	Système	Autres
B1-550m²-26	Simple flux	Surventilation nocturne l'été
B2-1700m²-BEPOS-38	Double flux	Chauffage + refroidissement (géocooling)
B3-8900m²-BEPOS-69	Double flux Sanitaires : simple flux	1 CTA : appoint chaud/froid
B4-4500m²-BEPOS-69	Bureaux et salles de formation : double flux Cafétérias : simple flux bi-débits Parking : 2 caissons	Batterie chaude et froide
B5-3250m²-26	Bureaux et salles réunion : double flux Salle conférence et salle exposition : double flux sans récup Laboratoires : simple flux	Bureaux : batterie chaude Salle conférence : batterie chaude et froide Salle expo : batterie chaude Puits canadien
B6-700m²-BBC-74	Double flux	Batterie chaude et froide

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Sur ce panel, les consommations de ventilation sont :

- comprises entre 7 et 23 kWhep/m²_{SHON}.an pour les projets équipés d'une VMC double flux
- égales à 1 kWhep/m²_{SHON}.an pour le projet équipé d'une ventilation simple flux hygro

• ENSEIGNEMENT ET PETITE ENFANCE

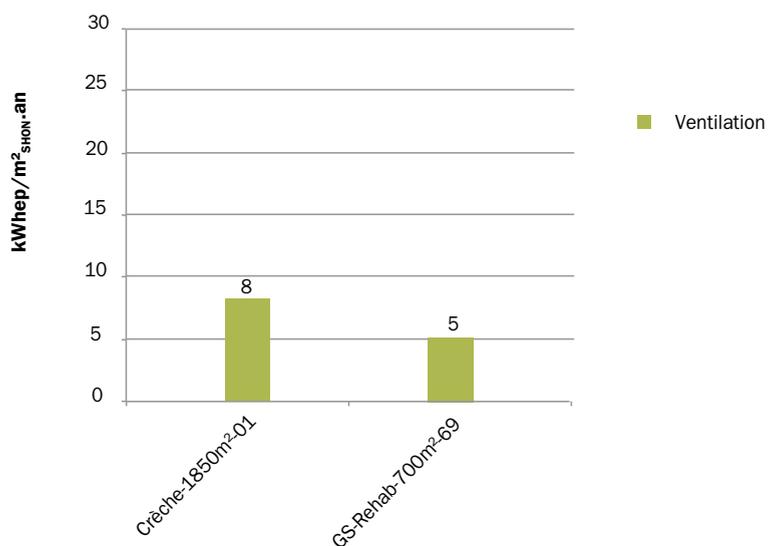


Figure 56 : CONSOMMATION DE VENTILATION DES OPÉRATIONS D'ENSEIGNEMENT ET DE PETITE ENFANCE

Opération	Système	Autres
Crèche-1850m²-01	Simple flux débit variable	Puits canadien
GS-Rehab-700m²-69	Double flux Sanitaires : simple flux	

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Pour les 2 opérations, les consommations ventilation sont égales à 5 (groupe scolaire) et 8 kWhep/m²_{SHON}.an (crèche)



CONCEPTION					
Études / Dimensionnement					
Batterie de dégivrage	Dans le cas où une batterie de dégivrage est utilisée, prévoir un fonctionnement par étages de puissance progressifs en fonction de la température extérieure.	€		 12	108
Surventilation mécanique/ventilation mécanique nocturne	Compte tenu de la période de fonctionnement, vérifier que les bénéfices sont suffisants pour contrebalancer la surconsommation électrique des ventilateurs.	€			
Chauffage/rafraîchissement par air	Hors occupation, adapter le débit aux besoins thermiques et asservir le fonctionnement de la ventilation au fonctionnement de la production de chaleur / froid.				
Pertes de charge	Réduire au maximum les pertes de charge des réseaux : éviter les défauts d'étanchéité, limiter les coudes, prévoir une vitesse basse et des batteries à très faibles pertes de charge, être attentifs aux pertes de charge des échangeurs de récupération...				
Choix de régulation de la ventilation	Pour une régulation à pression constante, réaliser la mesure de la pression aux bornes du caisson (incluant donc les filtres) et non uniquement aux bornes du ventilateur.			 13	110
	Lors du choix d'une régulation à pression variable (permettant une baisse nettement plus importante des consommations à faible débit), prendre en compte que celui-ci est plus complexe à mettre en œuvre.				
Consommations liées à la régulation	Faire attention au poids des consommations liées aux organes de régulation pour des CTA très peu utilisées.				
Débit variable en cuisine	Temporiser le débit variable en cuisine pour éviter que l'occupant oublie la ventilation en grand débit. Tenir compte dans la conception d'une utilisation réelle très faible des bouches bi-débit (usage réel très éloigné des hypothèses théoriques type RT).				
Puits climatique	Éviter ce système avec une ventilation simple flux par extraction mécanique seule. Tenir compte des pertes de charge liées au puits climatique pour le choix et le réglage des ventilateurs. Prévoir un système de by-pass.			 05	64
Performance des échangeurs de chaleur	Tenir compte de l'efficacité des échangeurs de chaleur dans leurs conditions réelles d'utilisation ; ne pas prendre comme acquise l'efficacité théorique annoncée.			 14	114
RÉALISATION					
Étanchéité à l'air des réseaux	Porter une attention particulière à la mise en œuvre des réseaux de ventilation de manière à atteindre une bonne étanchéité à l'air.	€		 15	118
Modules de régulation motorisés en cuisine (RMA)	Vérifier le calibrage et le fonctionnement des modules «RMA» avant leur installation (les joues obstruant les ouvertures peuvent facilement se décoller).				
MISE EN SERVICE					
Réglages					
Batterie de dégivrage	Régler les batteries de dégivrage pour un démarrage à des températures extérieures négatives (de - 2°C à - 5°C en général, selon les caractéristiques de l'échangeur) ou en l'asservissant à la température d'air vicié en sortie d'échangeur.	€		 12	108
Régulation	Adapter le fonctionnement de la ventilation aux horaires d'occupation, notamment en bureaux / enseignement.	€			
Programmation	Prendre en compte l'intermittence de l'occupation dans le fonctionnement de la ventilation, de manière à éviter des consommations électriques inutiles.	€			
Variation de vitesse	Paramétrer correctement la variation de vitesse et vérifier son bon fonctionnement. Les variations de débits ou de puissances appelées doivent être cohérentes avec l'usage : <ul style="list-style-type: none"> • Consigne de delta P correcte au regard des débits souhaités et appareils mis en œuvre (si valeur trop élevée jamais atteinte, inutile), • Bon fonctionnement des volets (paramétrage automate...), • Paramétrage de la consigne CO², • Paramétrage des CTA. 				

VÉRIFICATIONS					
Débits et pressions	Réaliser une mesure des débits sur un échantillon avant livraison. Vérifier l'équilibrage entre débits soufflés et débits extraits. Vérifier la pression dans les réseaux.	€			106
Étanchéité à l'air des réseaux	Réaliser un test d'étanchéité des réseaux pour les installations, notamment en double flux.	€			118
Sens de rotation	Vérifier que le sens de rotation des ventilateurs est correct.	€			
Circuits de désenfumage	S'assurer de la bonne fermeture des circuits de désenfumage lors de la mise en service.	€			
Récupérateurs de chaleur	Vérifier la régulation : notamment prévoir l'arrêt de la roue (récupérateur à roue) / le by-pass (récupérateur à plaques) en été si Text < Tint.				
Puits climatique	S'assurer de son bon fonctionnement en comparant température extérieure, température intérieure et température de l'air en sortie de puits. Vérifier le bon fonctionnement du by-pass.				64
EXPLOITATION					
Entretien / Maintenance					
Filtres	Changer les filtres régulièrement. Dans les bâtiments tertiaires, outre la vérification des pertes de charge, réaliser un contrôle visuel régulièrement. Pour les logements, il est conseillé de prévoir l'entretien des filtres suivant ce modèle : <ul style="list-style-type: none"> • Le 4^e mois : changer les filtres de soufflage et nettoyer les filtres d'extraction, • Le 8^e mois : changer les filtres de soufflage et les filtres d'extraction, • Le 12^e mois : idem 4^eme mois, • Et ainsi de suite. Par ailleurs, mettre à disposition en permanence un jeu de filtres à air neuf en chaufferie ou en local technique ventilation.	€			
Régulation	Bien ajuster le fonctionnement de la ventilation aux horaires d'occupation réels.	€			
Modules de régulation motorisés en cuisine (RMA)	Prévoir une vérification périodique du bon fonctionnement des RMA.				
Horloges programmables	Contrôler régulièrement la programmation des horloges.	€			
Surventilation nocturne	Optimiser le fonctionnement pour éviter les surconsommations des ventilateurs, voire le réchauffement du bâtiment au lieu de son refroidissement.	€			
Circuits de désenfumage	S'assurer de la bonne fermeture des circuits de désenfumage périodiquement pendant l'exploitation.	€			
Étanchéité à l'air des réseaux	Après intervention sur le réseau de ventilation, reprendre correctement l'étanchéité des réseaux aérauliques.				
Niveau de maintenance	Prévoir une mission de maintenance suffisante (notamment dans le cas de ventilation double flux) pour s'assurer d'un fonctionnement correct de la ventilation.				156
Sensibilisation					
Débit variable en cuisine	Sensibiliser les occupants sur le fonctionnement à débit variable en cuisine.				

Rappel : check-list non exhaustive mais établie uniquement sur la base des 14 rapports analysés.



LA VÉRIFICATION DES DÉBITS ET PRESSIONS DE VENTILATION : UNE ÉTAPE PRIMORDIALE EN FIN DE CHANTIER

Dans de nombreux projets, les débits de ventilation réellement mis en œuvre sont relativement éloignés des débits initialement prévus. Les conséquences sont nombreuses :

- Surconsommation électrique des ventilateurs,
- Surconsommation énergétique (dégradation de la récupération de chaleur au niveau d'un échangeur, débit d'air neuf inadéquat...),
- Mauvaise qualité de l'air dans les locaux,
- Problèmes acoustiques au niveau des bouches de soufflage ou reprise (un débit trop important peut créer un sifflement),
- Dégradation du confort thermique.

Ce phénomène de non-respect des débits n'est pas nouveau en soi, mais devient plus problématique dans le cas des bâtiments performants actuels du fait de leur meilleure étanchéité à l'air.

Dans certains cas, il est possible que les occupants ressentent de ce fait un inconfort et fassent alors remonter le problème (nuisances acoustiques, courants d'air...), mais dans d'autres cas, cela n'est pas décelable facilement. Il est donc indispensable qu'une vérification systématique des débits soit faite en amont.

Ainsi, en fin de chantier, **une campagne de vérification des débits et pressions est fortement conseillée**. Selon la taille du projet, il s'agira d'une vérification de toutes les bouches (à privilégier) ou d'un échantillon représentatif. Par ailleurs, les débits totaux, ainsi que la pression, seront mesurés au

Acteurs concernés : Mo - Moe - entrepr - exploit

niveau des centrales de traitement d'air ou des caissons, ainsi que dans les réseaux (en tête de colonne par exemple).

Cette campagne de vérification sera réalisée de préférence par une entité indépendante : de nombreuses sociétés proposent aujourd'hui ce type de prestation. Elle viendra en complément des autocontrôles réalisés par l'entreprise de CVC. Cette dernière assistera à ces mesures et réalisera les éventuels réglages nécessaires pour équilibrer les réseaux et obtenir les bons débits et pressions. Cette campagne de vérification pourra être renouvelée au cours de la vie du bâtiment, pour déceler une éventuelle dérive. À noter qu'il est préférable de réaliser ces mesures après changement des filtres.

Outre des mauvais réglages initiaux, ces mesures pourront permettre de déceler des problèmes d'étanchéité des réseaux, un encrassement anormal des filtres, un mauvais fonctionnement de modules de régulation...

Zoom opération : L2-51 logts-Minergie-74

Les mesures réalisées lors de la première année d'analyse de l'opération L2-51 logts-Minergie-74 montrent par exemple que le « *débit du caisson d'extraction [a été] réglé à une valeur trop élevée d'environ 25%* » par rapport au débit théorique prévu.

Il est également possible que certains modules RMA (modules de régulation motorisée, en cuisine) dysfonctionnent et restent en permanence en grand débit, car il s'agit de modules calibrés « *grâce à des joues obstruant plus ou moins les ouvertures, ces joues pouvant très facilement se déplacer* ».



Témoignage acteur du projet, Christel CORRADINO, chargée d'opération et coordinatrice de l'équipe maîtrise d'œuvre, ENERTECH, bureau d'études spécialisé en énergétique appliquée aux bâtiments

« Sur des opérations de logements équipés de systèmes de ventilation double flux, nous préconisons de ne pas mettre en œuvre de RMA, mais une solution de soufflage et reprise à débit constant. Cela permet de simplifier le réglage des centrales de ventilation. »

Témoignage acteur de la filière, Florian SERVAT, gérant d'Enexco, bureau de mesures et de contrôle pour tout bâtiment

La société Enexco réalise des mesures de débits d'air dans tous types de bâtiments ; ces mesures sont en général réalisées au moment de la réception du bâtiment.

De quelle manière procédez-vous aux mesures de débit / de pression ? Quel matériel utilisez-vous ?

« Pour réaliser des mesures au niveau des bouches, nous utilisons un cône associé à un anémomètre à hélice ou à une sonde à fil chaud.

Lorsque les diffuseurs d'air sont grands (diffuseurs longs par exemple), il n'est pas possible d'utiliser le cône ; la mesure se fait alors directement dans le conduit, entre le module de régulation (MR) et la bouche ; cela nécessite de percer le conduit à plusieurs endroits de manière à effectuer plusieurs mesures sur la section du conduit (trous de 8-10 mm de diamètre) ; une fois la mesure réalisée, les

trous sont rebouchés avec du scotch alu. L'entreprise CVC ayant normalement déjà fait des autocontrôles, nous tâchons en général de réutiliser les mêmes trous, d'où l'intérêt – entre autres – de la présence de l'entreprise de CVC pendant les tests. Si cela s'avère nécessaire, nous vérifions également la pression à l'aide de jauges de pression en amont et en aval du MR.

Pour mesurer le débit au niveau des centrales d'air, nous réalisons de la même façon des trous pour faire des mesures en différents points de la section. »

Quels sont les principaux constats / enseignements que vous pouvez tirer des mesures que vous réalisez ?

« Sur une intervention donnée, des défauts sont toujours constatés. Il peut s'agir d'un mauvais réglage au niveau d'une colonne entière (ce qui arrive en général si l'on rencontre des débits insuffisants dans plusieurs bouches proches), de modules de régulation mis en œuvre qui ne correspondent pas au débit prévu au marché (problème fréquemment rencontré), de trous réalisés dans les gaines par l'entreprise CVC pour faire les mesures de débit qui ne sont pas ou mal rebouchés, d'un mauvais raccordement du conduit souple entre le module de régulation et la bouche de ventilation (ce qui peut d'ailleurs être imputable à d'autres lots que le lot CVC)... Il est très rare que le module de régulation en lui-même soit défectueux.

Il est selon nous souhaitable que l'entreprise CVC soit présente lors de notre intervention, car cela permet de réaliser les corrections in situ le cas échéant. »



PRÉCAUTIONS AUTOUR DE L'UTILISATION D'UNE BATTERIE DE DÉGIVRAGE

En hiver, dans certaines configurations, un phénomène de givrage peut se produire au sein de l'échangeur de chaleur d'une centrale de traitement d'air. En effet, l'air extrait, en général plus humide que l'air neuf, peut être amené à condenser lorsqu'il refroidit pour céder sa chaleur à l'air neuf. Si l'échange de chaleur est tel que la température superficielle des plaques est inférieure à 0 °C, l'eau condensée va alors givrer.

Le givre n'est pas acceptable dans un échangeur de chaleur, puisqu'il conduit notamment à une augmentation des pertes de charges (augmentation des consommations électriques des ventilateurs), à une diminution de l'échange de chaleur, voire à une détérioration des échangeurs.

Le problème du givre se pose quasiment uniquement avec les échangeurs fixes (à plaques notamment), les échangeurs à roue étant toujours suffisamment mobiles. Il se pose par ailleurs différemment suivant la typologie de bâtiment concerné : un bâtiment tertiaire, non ventilé mécaniquement la nuit, ne présentera quasiment pas de risques de givrage (voire aucun, selon certains professionnels) contrairement à un bâtiment de logements par exemple.

Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour y pallier, parmi les plus courantes :

- **By-pass de l'échangeur** : dans ce cas, il n'y a plus aucune récupération de chaleur ; cette solution est généralement préférée par les professionnels, car c'est celle qui présente le moins de risques de dysfonctionnement et elle est efficace contre les risques de givre,
- **Préchauffage de l'air neuf**, avant échangeur, à l'aide d'une batterie à eau chaude ou électrique,
- **Dégivrage périodique** en recyclant entièrement l'air rejeté ; pendant cette courte période de dégivrage, le bâtiment n'est par contre plus ventilé avec de l'air neuf,
- **Diminution du débit d'air neuf**.

Acteurs concernés : Moe

La réalisation du dégivrage diminue sensiblement la performance énergétique, du fait de la dégradation du rendement de l'échangeur, de l'utilisation d'une batterie de dégivrage, et/ou la qualité de l'air intérieur, si le débit d'air neuf est diminué ou annulé. **Il est donc très important de choisir au plus juste les conditions de réalisation du dégivrage.**

Dans le cas de l'utilisation d'une batterie de dégivrage, il est notamment conseillé de respecter les points suivants :

- Démarrage des batteries de dégivrage à des températures extérieures négatives, en général de -2 °C à -5 °C, selon les caractéristiques de l'échangeur (cette donnée doit pouvoir être fournie par le fabricant). Dans ces conditions, l'air extrait, au niveau duquel le risque de givre existe, présente alors une température positive. Il n'est donc pas utile de faire fonctionner les batteries de dégivrage à partir d'une température d'air extérieur plus élevée. Une autre solution peut être de réguler le démarrage des batteries de dégivrage directement sur la température d'air vicié,
- Prévoir une utilisation progressive de la puissance de la batterie (étages de puissance) en fonction de la température extérieure.

Zoom opération 1 : L2-51 logts-Minergie-74

Les caissons de soufflage de l'opération L2-51 logts-Minergie-74 sont équipés d'une batterie électrique de dégivrage. L'étude du fonctionnement de ces batteries par le bureau d'études montre qu'elles ont été peu sollicitées en exploitation, et que leur fonctionnement a été très bien réglé. La mise en route se fait pour une température extérieure de -5 °C, avec une régulation par étage de puissance en fonction de la température extérieure.



Témoignage acteur du projet, Jean-Marc BREMU, ADF, bureau d'études fluides sur l'opération

« Les risques de givre sont particulièrement importants dans le cas d'échangeurs à plaques (risques de déformations et de perte d'étanchéité) ; les échangeurs à roue sont mobiles, il n'y a donc très peu de risques. Nous préconisons de ce fait de plus en plus des échangeurs à roue plutôt qu'à plaques.

Pour traiter le problème du givre pour les échangeurs à plaques, une des solutions consiste à réguler (diminuer) le débit d'air neuf. ADF n'est pas vraiment partisan de le prévoir car cela signifie réduire les débits d'air neuf soufflés, ce qui est préjudiciable à la qualité de l'air. Cela ne nous paraît acceptable que pour des projets de types bureaux ou enseignement, pour lesquels la ventilation est éteinte la nuit, et donc où le nombre d'heures pour lesquelles la température extérieure crée un risque de givre est faible.

Sur l'opération L2-51 logts-Minergie-74, il y a un seul ventilateur de soufflage et un seul ventilateur d'extraction communs à l'ensemble des logements, mais des échangeurs à plaques ont été mis en place au niveau de chaque logement afin de limiter les pertes de chaleur et garder un échange efficient.

Le problème de cette configuration est le dégivrage ; réguler sur le débit n'est pas souhaitable car les conditions diffèrent selon les logements ; la mise en place d'une batterie de dégivrage a donc été retenue.

Initialement, dans la précipitation de fin de chantier, et sans véritable vérification, la batterie antigivre avait été réglée par l'entreprise de façon à démarrer à +3°C extérieur ; des consommations très importantes ont donc été relevées la première année. Des tests ont été réalisés en laboratoire par le fabricant, et un démarrage à -5°C a été validé comme permettant une absence de risque de givre. »

Témoignage acteurs de la filière, Christine PREVOST, ingénieure commerciale et Pascal LAPLAUD, directeur des ventes, Swegon, fabricant d'appareils de climatisation et de traitement de l'air

ÉCHANGEURS À PLAQUES

« Selon l'hygrométrie intérieure, un échangeur à plaques va givrer entre 0°C et -5°C extérieur. Le givre colmate très rapidement l'échangeur et fait donc chuter le débit d'air neuf. Le phénomène de givre se produit au niveau du flux d'air rejeté, qui est chargé en humidité et condense puis givre s'il y a un point froid du fait de l'air neuf (si le givre était côté air neuf, il aurait lieu au niveau du filtre).

Ainsi, plus un échangeur à plaques est efficace, plus il givre, le point froid étant plus rapidement atteint !

Pour traiter le problème du givre, les solutions de dégivrage périodique ou de réduction du débit d'air soufflé ne sont pas souhaitables du fait de la dégradation de la qualité de l'air. L'utilisation d'une batterie de dégivrage dans l'échangeur lui-même est à exclure car non efficace. En revanche, la mise en place d'une batterie de réchauffage de l'air neuf, ou d'un puits canadien, permet de s'assurer d'une température d'air en entrée de l'échangeur suffisamment élevée pour éviter tout risque de givre au niveau de l'air extrait. La solution de by-pass de l'échangeur est également très fréquente mais mériterait d'être optimisée avec l'utilisation d'un registre de by-pass :

- By-pass de l'échangeur simple : cas principalement rencontré en France, solution la moins chère. Lorsqu'il y a besoin de dégivrer, un volet s'ouvre sur la section du by-pass ; l'air neuf passe alors entièrement par le by-pass. Il n'y a donc plus aucune récupération de chaleur ; tout doit donc être dimensionné pour le cas où il n'y a pas de récupération de chaleur,
- By-pass de l'échangeur avec registre : utilisé dans les pays nordiques, très peu en France. Il s'agit d'un véritable registre permettant de moduler la quantité d'air passant dans l'échangeur pour maîtriser le dégivrage. Plus performant, il s'agit toutefois d'une solution plus chère, et la régulation est plus difficile à mettre en place ».

ÉCHANGEURS ROTATIFS

« Le dégivrage est plus intelligent avec un échangeur rotatif qu'avec un échangeur à plaques.

Le fait que la roue tourne, et passe du flux d'air neuf au flux d'air extrait, recule le seuil de givrage. Un échangeur rotatif va givrer entre -10°C et -15°C extérieur. En France, hormis en montagne, il n'y a donc pas de raison que les échangeurs rotatifs soient amenés à givrer.

Malgré tout, s'il y a du givre, nos échangeurs à roue présentent un dégivrage intégré : une mesure en continu de la différence de pression aux bornes de la roue permet de savoir qu'il y a du givre ; la vitesse de la roue est alors ralentie pour permettre le dégivrage, ce qui diminue le rendement de l'échangeur mais maintient le débit d'air neuf ; une batterie de réchauffage préalable n'est nécessaire que pour des températures extérieures en deçà de -20°C.

Les pays nordiques n'utilisent quasiment que des échangeurs rotatifs pour ces raisons. »



LA RÉGULATION DE LA VENTILATION À DÉBIT VARIABLE

Pour réduire les consommations électriques et / ou thermiques liées à la ventilation, il est intéressant, dans les espaces dont l'usage est très variable (salles de réunions, parkings, commerces...), **d'ajuster les débits de ventilation aux besoins** : nombre d'occupants présents, niveau de pollution de l'air et/ou besoins thermiques lorsque l'air est utilisé pour le chauffage ou le rafraîchissement.

Pour réguler indépendamment le débit de différentes zones alimentées par une même CTA, des bouches de soufflage et d'extraction sont placées en amont des registres terminaux. Il peut s'agir de volets tout ou rien actionnés par un interrupteur ou par la GTB, ou de clapets actionnés par un servomoteur, appelés boîtes à débit variable (souvent dénommées boîtes VAV) ; dans ce dernier cas le servomoteur reçoit des informations issues de détecteurs de présence, de sondes de détection de CO₂ ou de CO (voire de COV), et ferme ou ouvre plus ou moins le registre en conséquence. À noter qu'il est ainsi possible d'alimenter avec une même CTA à la fois des zones où le débit est variable et des zones où le débit est constant. Pour mémoire, en amont des bouches fournissant un débit constant, on place des modules de réglage (MR) qui maintiennent le débit constant sur une certaine plage de pression, généralement de 50 à 200 Pa (grâce à une membrane qui se gonfle ou se dégonfle en fonction de la pression dynamique en amont, faisant ainsi varier la perte de charge) ; ces modules, également présents dans une installation à débit constant visent à éviter que le débit ne varie lors de légères fluctuations non souhaitées de la pression en amont dans les réseaux.

En l'absence de régulation spécifique des ventilateurs au niveau de la centrale de traitement d'air, c'est uniquement l'augmentation de la perte de charge due aux boîtes à débit variable qui engendre une réduction du débit. Dans ce cas, les consommations liées au traitement de l'air (préchauffage

Acteurs concernés : Moe - exploit

notamment) sont réduites, mais pas celles du ventilateur. En outre, la pression dans le réseau n'est pas contrôlée ce qui peut entraîner une surpression et donc une augmentation de la vitesse dans le réseau, susceptible de générer des nuisances acoustiques. Cette méthode peu performante n'est plus utilisée.

Plusieurs solutions de régulation des ventilateurs sont possibles :

Variation de la vitesse de manière à maintenir une pression constante en sortie de CTA

Dans cette configuration de régulation dite « à pression constante », lorsque certains registres se ferment, la pression sur le réseau augmente momentanément, ce qui engendre une réduction de la vitesse de rotation du ventilateur afin de maintenir une pression constante. Cette solution est la plus courante, et elle permet d'avoir sur un même réseau à la fois des bouches à débit variable et à débit constant, sans avoir à mettre en œuvre de système spécifique sur les réseaux à débit constant.

Les consommations de ventilateur sont réduites, mais seulement proportionnellement au débit, puisque les pertes de charge sont constantes. En effet :

$$P_{elec} = \frac{(\Delta P * \text{Débit})}{(\eta_{global} (\text{aéraulique} + \text{moteur}))}$$

Où P_{elec} puissance du ventilateur, ΔP pertes de charge du réseau, η_{global} rendement du ventilateur.

Variation de la vitesse en maintenant un débit suffisant à toutes les bouches (pression variable)

Lorsque le débit diminue, les pertes de charge dans le réseau diminuent, il est donc également possible de diminuer la

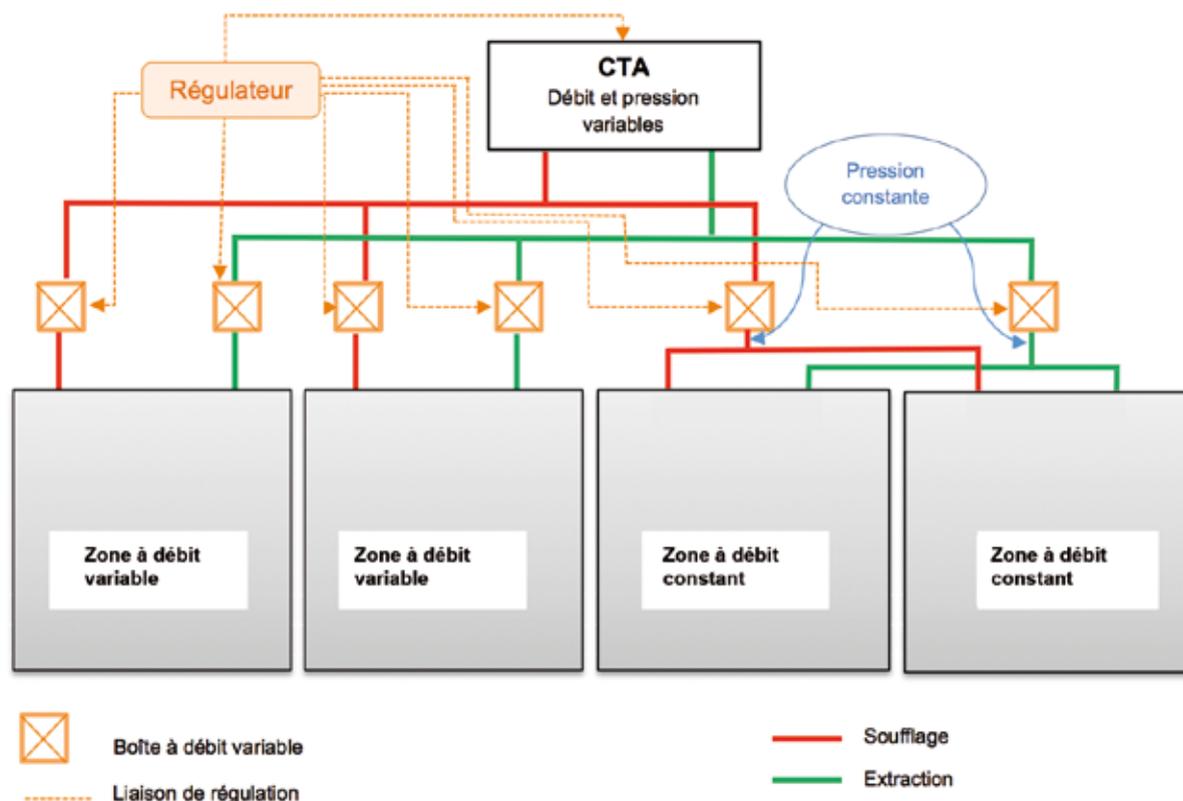
pression délivrée par le ventilateur, à condition de s'assurer qu'on obtient toujours un débit suffisant sur la branche la plus défavorisée. La consommation électrique du ventilateur est ainsi encore réduite.

- **Une solution consiste à maintenir la pression constante** aux bornes de la bouche la plus éloignée. Mais ce n'est pas encore optimal : si à un moment donné le débit nécessaire n'est pas celui maximal à cette bouche, il serait possible de réduire encore la pression,
- **Une stratégie optimale consiste à vérifier qu'à chaque bouche**, il est possible d'obtenir le débit demandé. Pour cela il est nécessaire d'avoir au niveau

du circuit d'alimentation de chaque zone une boîte à débit variable. La régulation vérifie alors que la consigne (débit, taux de CO₂...) est atteinte pour toutes les boîtes dont le registre est entièrement ouvert. Si ce n'est pas le cas, cela signifie que la pression n'est plus suffisante, auquel cas la vitesse du ventilateur est augmentée.

Remarque : S'il y a des zones où l'on ne souhaite pas faire varier le débit, il est nécessaire d'y placer néanmoins des registres (dont la position variera pour maintenir le débit constant quelle que soit la pression), ou à défaut de maintenir la pression en sortie du ventilateur dans une plage de valeurs prédéterminée pour laquelle on s'est assuré que le débit dans les zones à débit constant était correct.

Le schéma ci-dessous illustre ce fonctionnement :



Nota : comme sur une installation classique, il faudra prévoir des registres ou modules de régulation (zones à débit constant) pour l'équilibrage des différentes bouches alimentées par un même réseau.

Figure 57 : RÉGULATION À DÉBIT ET PRESSION VARIABLES (MR : module de réglage)

Zoom opération 1 : B4-4500m²-BEPOS-69

La ventilation est assurée par une CTA double flux à débit variable équipée d'un récupérateur à roue. Le débit varie selon un système propre à chaque zone :

- Dans chaque plateau de bureaux, le débit est ajusté en fonction de la plage horaire et du nombre d'occupants, qui sont indiqués par les usagers au niveau de la GTB.
- Dans les salles de réunion, le débit de soufflage et d'extraction est ajusté selon la capacité des salles, par un interrupteur de présence minuté ou par un détecteur de présence (système « tout ou peu »).
- Dans les salles de formation, la ventilation est commandée par des boutons ON/OFF placés dans chaque salle.

La pression est maintenue constante à la sortie du ventilateur de soufflage (solution 1). Elle a été ajustée à la mise en service de manière à ce qu'elle soit suffisante pour un fonctionnement correct des boîtes à débit d'air variable.

Un suivi détaillé a été réalisé sur la ventilation des bureaux. Il a permis de constater les résultats suivants :

- Le fonctionnement est conforme aux attentes : le débit de soufflage varie bien durant la période de fonctionnement de la CTA, le débit d'extraction varie également, malgré quelques difficultés dues à l'encrassement progressif des bouches d'extraction. La pression au niveau du ventilateur de soufflage varie très peu.
- Conformément à la théorie, la puissance varie proportionnellement au débit, comme le montre le graphique ci-contre.

La consommation d'énergie par volume d'air est de 0,33 W/m³/h pour le soufflage et 0,35 W/m³/h pour l'extraction.

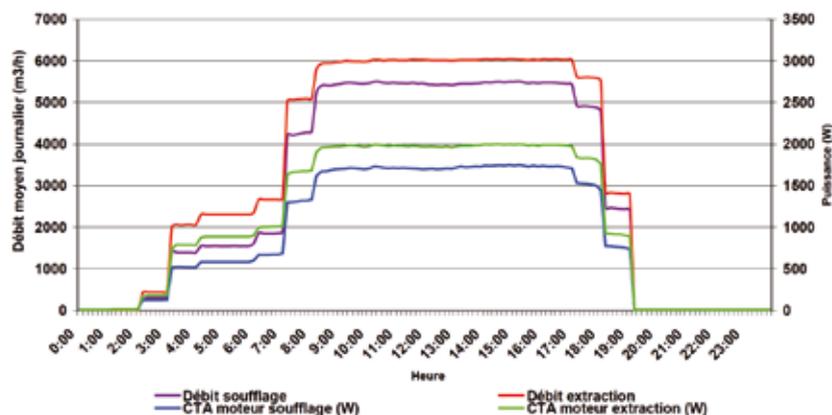


Figure 58 : COURBE DE CHARGE DES DÉBITS ET CONSOMMATIONS ÉLECTRIQUES DE LA CTA (jours ouvrés) – source ADEME / ENERTECH

Zoom opération 2 : B5-3250m²-26

Une CTA double flux avec récupérateur à roue assure le renouvellement d'air des bureaux et des salles de réunions. Le débit est ajusté en fonction de la présence grâce à des registres motorisés fonctionnant en tout ou rien, dans les bureaux comme dans les salles de réunion. La vitesse du ventilateur est régulée de manière à maintenir une pression constante au niveau de l'entrée de la bouche la plus éloignée de la CTA (solution 2a).

Le graphique ci-contre présente l'évolution de la puissance du moteur de soufflage par m³ d'air soufflé en fonction du nombre de salles de réunion occupées.

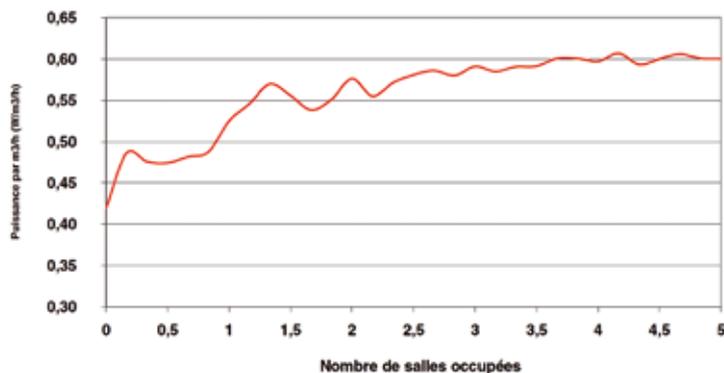


Figure 59 : CTA BUREAUX – ÉVOLUTION DU RAPPORT PUISSANCE/DÉBIT EN FONCTION DU NOMBRE DE SALLES DE RÉUNION OCCUPÉES – source ADEME / ENERTECH

On constate que cette puissance par m³ diminue avec le nombre de salles occupées (et donc le débit soufflé), ce qui s'explique par le fait que la perte de charge de l'installation diminue avec le débit.

Les économies d'énergie au niveau du ventilateur sont donc nettement supérieures à celles qu'on aurait avec une régulation à pression constante, où la puissance diminue seulement de manière proportionnelle au débit. Cette relation est spécifique à l'installation et à son mode de régulation.



Témoignage acteur de la filière, Yann DAUDE, responsable des ventes Rhône-Alpes, Auvergne, Bourgogne et Franche-Comté, BELIMO, fabricant de servomoteurs et de vannes pour le chauffage, la ventilation et la climatisation

BELIMO propose une solution intégrée, permettant un fonctionnement à débit variable avec une pression dans le réseau variable, et minimisée (solution 2b).

« Les régulateurs « Fan Optimiser » envoient un signal au variateur de vitesse du ventilateur en fonction de la position des boîtes à débit d'air variable, plus particulièrement du débit et de la position de la boîte à débit d'air variable la plus défavorisée. Il est possible de commander jusqu'à huit boîtes à débit d'air variable par régulateur ; plusieurs régulateurs peuvent être montés en cascade.

Cette solution présente de nombreux avantages. De façon classique les boîtes VAV créent des pertes de charge dans les réseaux, avec la solution Fan Optimizer, les boîtes VAV sont les plus ouvertes possible : l'ouverture est de 80% à 85 % sur les boîtes les plus défavorisées. Il est ainsi possible d'économiser jusqu'à 50 % d'énergie par rapport aux systèmes classiques ; plus l'occupation varie, plus le système permet d'économiser de l'énergie. En termes de rentabilité la solution Fan Optimiser est amortissable

Par ailleurs, la consommation d'énergie par volume d'air est plus élevée que dans le cas précédent (0,49 W/m³/h en moyenne pour le soufflage), mais il faut garder à l'esprit que cet indicateur est propre à chaque installation (car dépendant des pertes de charge elle-même liées aux longueurs et configuration de réseaux d'une part, à la constitution de la CTA d'autre part).

au bout de deux à trois ans. En outre la réduction de la pression permet de réduire le bruit au niveau des bouches. Au-delà de la régulation, afin de réduire les consommations des ventilateurs quelques précautions sont à prendre :

- En premier lieu les diffuseurs de soufflage et de reprise ne doivent pas être proches, car cela peut entraîner un recyclage d'air et rend la ventilation inefficace ; cela paraît évident mais on constate encore régulièrement ce problème,
- Il ne faut pas surdimensionner les boîtes VAV ; en effet, si la boîte VAV est surdimensionnée, l'autorité de la lame est mauvaise ; en conséquence elle passe rapidement et fréquemment de très ouverte à très fermée, et cela entraîne une usure prématurée,
- Il faut soigner l'étanchéité à l'air et l'équilibrage du réseau,
- Dans les systèmes tout air, éviter des températures de chauffage trop élevées et de climatisation trop basses qui entraînent des surconsommations thermiques, mais aussi des débits plus importants et donc des surconsommations de ventilation. »



CTA DOUBLE FLUX AVEC RÉCUPÉRATION DE CHALEUR : DES PERFORMANCES TRÈS VARIABLES

Acteurs concernés : Moe

Dans les bâtiments tertiaires, afin de réduire les consommations énergétiques, la ventilation est généralement réalisée par des CTA double flux avec récupération de chaleur. Celles-ci permettent de préchauffer l'air neuf en récupérant de la chaleur sur l'air extrait en hiver et de refroidir l'air neuf

en été. **Mais quelles sont les performances réelles de ces échangeurs ?**

Tout d'abord, il faut bien savoir de quoi on parle, car différentes méthodes sont utilisées pour évaluer les performances des échangeurs. Le tableau ci-dessous résume les principales⁶

	1 - Le rapport des températures (sur air soufflé ou rejeté)	2 - L'efficacité de récupération de chaleur (rapport des enthalpies)	3 - Le facteur de puissance (« coefficient de performance » énergétique)
PRINCIPE	<p>L'efficacité est déterminée en fonction des températures soit côté air rejeté soit côté air soufflé :</p> $\eta_{\text{air soufflé}} = \frac{(T_{\text{soufflage}} - T_{\text{ext}})}{(T_{\text{ambiance}} - T_{\text{ext}})}$ $\eta_{\text{air rejeté}} = \frac{(T_{\text{ambiance}} - T_{\text{rejet}})}{(T_{\text{ambiance}} - T_{\text{ext}})}$	<p>Pour mesurer réellement la récupération de chaleur, il faut raisonner sur l'enthalpie, et donc tenir compte de l'humidité de l'air. On remplace pour cela les températures par les enthalpies dans les formules précédentes.</p>	<p>Il permet de déterminer le rapport entre la puissance thermique récupérée et la puissance électrique consommée.</p> $\xi = \frac{(H_{\text{soufflage}} - H_{\text{ext}})}{P_{\text{el}}}$ <p>Il est possible de soustraire à P_{el} la puissance que consommerait un système simple flux.</p>
AVANTAGE / INCONVÉNIENT	<p>Méthode utilisée dans la norme EN308 (sur air soufflé) et couramment utilisée.</p> <ul style="list-style-type: none"> + Méthode simple, nécessitant seulement la connaissance des températures. + En connaissant la valeur de cette efficacité on peut évaluer facilement $T_{\text{soufflage}}$ (dans des conditions standard), ce qui est utile pour le dimensionnement et l'évaluation des consommations. – Si le calcul se fait sur l'air soufflé, on prend en compte la chaleur transférée depuis l'air du local où se trouve l'échangeur. Cela augmente de l'ordre de 10% à 15% le rendement. – Cette méthode ne prend pas en compte l'énergie de condensation car le calcul se fait sur les températures sèches. 	<ul style="list-style-type: none"> + Calcul traduisant mieux les performances réelles de l'échangeur. – Efficacité affichée nettement plus faible : par exemple sur un échangeur d'efficacité 87% sur les températures d'air soufflé, on peut passer à une efficacité de 67% en enthalpie et seulement 58% sur l'air rejeté. – Plus difficile à calculer notamment en exploitation car demandant plus de mesures. 	<ul style="list-style-type: none"> + Évalue la rentabilité énergétique du système de ventilation. + Pertinent pour évaluer l'intérêt énergétique d'un système de ventilation double flux ou simple flux ; dans cette optique, il vaut mieux soustraire au dénominateur la puissance d'un système simple flux. + Favorise des systèmes intégrant des ventilateurs performants et/ou dont les pertes de charge sont faibles. – Moins adapté pour comparer des échangeurs entre eux.

ABRÉVIATIONS : η : rendement / $T_{\text{soufflage}}$: Température de soufflage / T_{ext} : Température de l'air extérieur / T_{ambiance} : Température ambiante (température de la reprise) / T_{rejet} : Température de l'air rejeté / P_{el} : Puissance électrique du moteur / $H_{\text{soufflage}}$: enthalpie de l'air soufflé / H_{ext} : enthalpie de l'air extérieur

Figure 60 : MÉTHODES D'ÉVALUATION DES PERFORMANCES DES ÉCHANGEURS

⁶ D'après Eberhard PAUL, fondateur de la Société Paul Wärmerückgewinnung GmbH, fabricant de systèmes de ventilation double flux performants. Traduction ENERTECH.

À noter que dans des conditions réelles, au-delà de ses caractéristiques propres, plusieurs paramètres influencent l'efficacité d'un échangeur :

- **Le débit** d'air : en général, plus il est faible, meilleure est l'efficacité (sauf débits très faibles),
- **L'équilibre des débits** d'air extrait et d'air soufflé,
- **Les températures** : un écart important favorise l'échange, le climat notamment a donc une influence,
- **L'humidité de l'air** (si calcul avec les enthalpies) : plus l'air est humide, meilleure est l'efficacité.

Il faut aussi savoir que les tests de caractérisation des échangeurs sont réalisés dans des conditions standard, et qu'il est donc normal que les performances réelles mesurées diffèrent des valeurs données par les fournisseurs.

Zoom opération 1 : B5-3250m²-26

La ventilation des bureaux est assurée par une CTA de type double flux avec récupérateur de chaleur à roue. Le graphique ci-contre indique les valeurs prises par le rendement de l'échangeur sur une année. Le rendement de l'échangeur a été calculé en faisant le rapport des températures sur air soufflé.

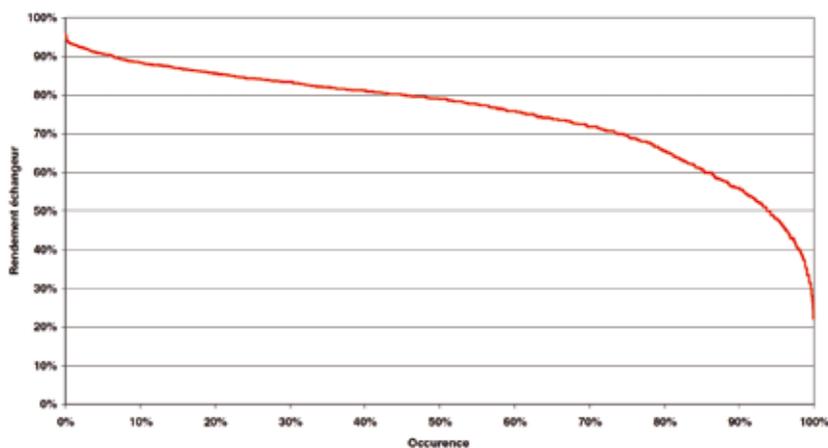


Figure 61 : FRÉQUENCES CUMULÉES DE L'EFFICACITÉ DE L'ÉCHANGEUR DE LA CTA BUREAUX - source ADEME / ENERTECH

On constate que l'efficacité moyenne est de 74,8% avec un maximum de 96% en hiver, pour une efficacité théorique de 80%.

L'étude menée par ENERTECH mentionne plusieurs facteurs qui peuvent expliquer la variation importante de rendement selon la période :

- La variation de l'humidité dans l'air au cours de l'année, qui induit une variation de la chaleur latente récupérée,
- La CTA est à débit très variable ; or l'efficacité augmente lorsque le débit diminue du fait de l'augmentation du temps de séjour de l'air dans l'échangeur,
- La régulation de la vitesse de la roue en fonction de la température d'entrée d'air : plus la température d'entrée d'air est élevée moins la vitesse de la roue est importante. On constate que l'efficacité de l'échangeur diminue significativement quand la consommation du moteur diminue, c'est-à-dire quand la roue ralentit (voir graphique ci-dessous).

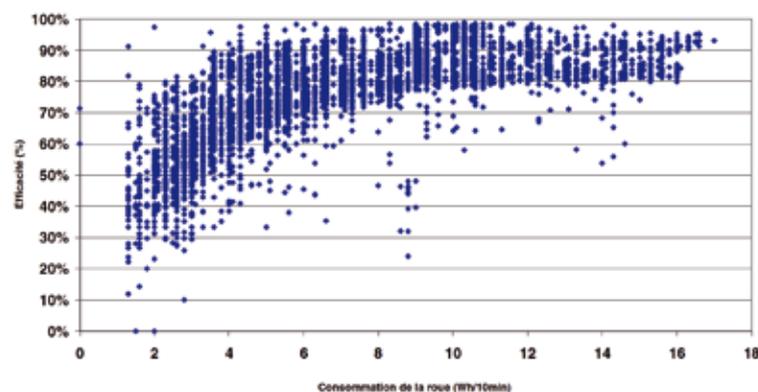


Figure 62 : EFFICACITÉ DE L'ÉCHANGEUR EN FONCTION DE LA CONSOMMATION DU MOTEUR DE LA ROUE – source ADEME / ENERTECH

Autres opérations :

Lors de la rénovation de l'opération GS-Rehab-700m²-69, il a été mis en place une CTA avec échangeur à plaques à haut rendement. L'efficacité moyenne a été évaluée via le rapport des températures sur air soufflé. L'efficacité évaluée est de 65 %, contre 80 % annoncés par le constructeur. Cet écart s'explique principalement par le déséquilibre des débits de ventilation qui dégrade fortement le rendement. En effet, le débit d'air soufflé est supérieur au débit d'extraction, donc la quantité d'air neuf qui traverse l'échangeur est plus importante que la quantité d'air reprise, et l'air neuf ne se réchauffe donc pas autant que prévu. L'efficacité que l'on aurait à débit d'air identique a été évaluée à 77 %.

Sur B3-8900m²-BEPOS-69, équipé d'une CTA à roue d'efficacité théorique 80 %, le facteur de puissance, évalué en comparaison par rapport à un système simple flux

$$\left(\frac{\text{énergie apportée par l'échangeur}}{\text{conso.élec.CTA} - \text{conso.élec.simple flux}} \right) \text{ est de } 12.$$

Sur B6-700m²-BBC-74, équipé d'une CTA avec récupérateur à plaques, l'efficacité mesurée en réalisant le rapport des enthalpies est de 30 % à 40 %, ce qui est similaire à l'efficacité théorique de 40% recalculée en faisant également le rapport des enthalpies (contre un rapport des températures de 62 % indiqué sur la fiche technique). L'efficacité a baissé en moyenne de 2 % la deuxième année, peut-être en raison de l'encrassement de l'échangeur.



Témoignage acteur de la filière, Olivier BONDIGUEL, directeur de marchés Rhône-Alpes Auvergne, CIAT, industriel fabricant des systèmes de climatisation, chauffage, réfrigération et traitement d'air

Comment est déterminée l'efficacité des échangeurs indiquée dans les fiches techniques ? Quels sont les autres indicateurs traduisant les performances énergétiques de la centrale ?

« L'efficacité indiquée est calculée en respectant la norme NF EN 13141-7 relative à la ventilation des bâtiments ; elle correspond au rapport des températures sur air soufflé. Cette norme indique les procédures d'essai de performances des centrales double flux (y compris la récupération de chaleur) pour les systèmes de ventilation mécanique. La formule et les conditions standard sont ceux définis par Eurovent d'après la norme EN308 qui décrit les procédures d'essai pour la détermination des performances des échangeurs air/air et air/gaz. »

Quelles performances théoriques peuvent être atteintes par les échangeurs, selon la technologie ?

« Pour les échangeurs à roue, le rendement peut en théorie atteindre 90 % à 95 %, mais cela supposerait d'avoir exactement le débit optimal par rapport à l'échangeur, ce qui ne sera jamais le cas dans la réalité. Actuellement,

les échangeurs à roues performants, utilisés à iso-débit, atteignent des rendements plutôt de 85 %.

Les échangeurs à plaques classiques ont une efficacité de l'ordre de 65%. Les échangeurs à haut rendement, plus longs et constitués de feuille d'aluminium avec des sections de passage très faibles, peuvent atteindre des efficacités de 75 % à 80 % (modèles disponibles jusqu'à 30 000 m³/h). Les débits sont limités à cause de l'encombrement des équipements et du coût de ces derniers.»

Quelle est l'incidence de la performance de l'échangeur sur le coût ?

« Une roue performante sera environ 30 % plus chère qu'une roue standard. Mais sur le prix total de la centrale, cela représente une différence de moins de 10%. De plus, la différence d'efficacité est telle (environ 85 % contre environ 70 %) que l'investissement sera très vite rentabilisé. »

Sur quels points faut-il être vigilant pour optimiser les performances de la récupération ?

« Pour maintenir les performances des échangeurs dans la durée, il faut à tout prix éviter leur encrassement. Pour cela, il faut prévoir des filtres suffisamment performants, notamment des filtres de type F5 – F6 et non G4

sur l'extraction. De plus, lors du choix d'un filtre, il faut tenir compte de la classe du filtre, mais aussi de sa capacité de rétention, de sa surface filtrante et de sa perte de charge à un débit d'air donné. Pour une même classe, la qualité du filtre peut être très variable. Enfin les filtres doivent être changés régulièrement. La vérification des pertes de charge n'est pas suffisante, un contrôle visuel est nécessaire pour s'assurer que la capacité maximale de rétention du filtre n'est pas atteinte. Lors du remplacement, il faut s'assurer que les filtres mis en place ne sont pas de qualité inférieure aux filtres initiaux. Il faut noter que les échangeurs à plaques à haut rendement sont impossibles à nettoyer (les échangeurs à plaques standard le sont déjà difficilement). Dans les échangeurs à roue, un nettoyage par soufflage est envisageable ; de plus, de manière régulière et automatique, un cycle est réalisé en sens inverse pour limiter l'encrassement.

Par ailleurs, la régulation doit être correctement réalisée. Normalement, sur les roues, la vitesse de rotation est régulée en fonction de la température de soufflage ; la roue s'arrête donc automatiquement, en intégrant tout de même des cycles de rotation périodiques pour éviter les encrassements et les dégradations mécaniques si la récupération n'est pas utile. La régulation devrait d'ailleurs être ajustée après un an de fonctionnement : elle est souvent réglée sur une température dite neutre, alors que dans certains cas il serait préférable de moins récupérer pour éviter des surchauffes. Les échangeurs à plaques peuvent être quant à eux by-passés dans des conditions qui devraient également être ajustées avec soin. »

Témoignage complet à retrouver sur www.ville-amenagement-durable.org





L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES RÉSEAUX DE VENTILATION

Le sujet de l'étanchéité à l'air des réseaux commence à prendre de l'importance depuis quelques années. Auparavant non vérifiée, l'étanchéité à l'air des réseaux est aujourd'hui testée sur certains projets. Cela est notamment devenu obligatoire dans le cadre du label Effinergie+.

Les conséquences d'une mauvaise étanchéité à l'air des réseaux peuvent être de plusieurs ordres :

- Dégradation de la qualité de l'air intérieur,
- Surconsommation énergétique,
- Gêne acoustique.

Parmi les principales techniques de mise en œuvre de réseaux, on peut citer d'une part l'utilisation de mastic, et d'autre part l'utilisation d'accessoires à joints. L'obtention d'une bonne étanchéité à l'air des réseaux avec du mastic nécessite une mise en œuvre extrêmement soignée ; **il est donc largement recommandé d'utiliser des accessoires à joints qui permettent par ailleurs une mise en œuvre plus rapide**. À noter que l'étanchéité des réseaux est également d'autant meilleure que la conception du réseau est simple (jonctions, coudes... évités au maximum), et que l'utilisation de gaines cylindriques plutôt que rectangulaires aide également à obtenir de meilleurs résultats.



Figure 63 : LIAISONS AVEC MASTIC (à gauche) ET ACCESSOIRE À JOINT (à droite) - source : Etamine

Acteurs concernés : Pr - Mo - Moe - entrepr - exploit

Zoom opération : L2-51 logts-Minergie-74

Lors de l'analyse des débits d'air après une année d'exploitation, le bureau d'études a constaté une différence importante entre le débit total mesuré sur le caisson d'insufflation, et le débit mesuré aux bouches de soufflage (sur la base de mesures ponctuelles dans quelques logements, et d'une extrapolation à l'ensemble du bâtiment). L'une des explications pourrait être un problème d'étanchéité à l'air du réseau ; toutefois, aucune mesure n'avait été faite en fin de réalisation.



Témoignage acteur du projet, Denis MERMILLOT, chargé d'affaires, Aquatech, entreprise CVC

« Nous utilisons depuis plusieurs années, de façon systématique sur tous nos projets, une solution de raccords à joints avec vis auto-foreuses. Dans le cas du projet L2-51 logts-Minergie-74, nous avons utilisé des manchettes de raccordement souples, car le prix des gaines rigides est prohibitif. Cette utilisation de manchettes souples est moins performante au niveau étanchéité à l'air que des gaines rigides, mais nous avons utilisé sur le projet une technique de fixation préconisée par Aldes : fixation de la peau intérieure avec un collier de serrage en plastique type rilsan, rabattement de la seconde peau et nouvelle fixation avec rilsan.

Concernant les tests d'étanchéité à l'air des réseaux, aujourd'hui, il nous est de plus en plus demandé d'en chiffrer. Nous ne sommes pas habilités pour réaliser les tests et faisons donc appel à une entreprise spécialisée. En plus du surcoût lié à la sous-traitance des tests et à leur déroulement (bouchonnage des bouches), nous nous questionnons sur le moment adéquat pour réaliser le test en phase travaux : tout le réseau de ventilation doit être en place, mais le placo ne doit pas encore être réalisé de manière à pouvoir corriger les fuites éventuelles... Cela est difficile à gérer avec les différents corps d'état. »

Témoignage acteur de la filière, Christel CORRADINO, chargée d'opération et coordinatrice de l'équipe maîtrise d'œuvre, ENERTECH, bureau d'études spécialisé en énergétique appliquée aux bâtiments

« Les défauts d'étanchéité à l'air des conduits de ventilation constituent un sujet primordial en chantier. Des travaux sont en cours visant à intégrer cette problématique au sein même des formations des compagnons. Parmi les solutions pour remédier à ces défauts d'étanchéité à l'air :

- Préconiser des conduits étanches (des conduits semi-rigides pouvant se substituer aux gaines souples),
- Inclure des préconisations au sein du CCTP du lot concerné (détailler la mise en œuvre de scotch par exemple et d'accessoires adaptés),
- Suivre de près le chantier (la classe C est atteignable avec un bon suivi et des mesures d'étanchéité à l'air des réseaux durant les travaux).

Selon nous, les 2 points indispensables pour avoir une CTA en bon état de marche sont :

- Des réseaux étanches,
- Des filtres changés.»

Témoignage acteur de la filière, Julien BOXBERGER, responsable, Allie'Air, bureau d'études aéraulique et acoustique

Dans quels contextes êtes-vous en général sollicités ?

« De manière générale, Allie'Air est directement contacté par la maîtrise d'œuvre ou la maîtrise d'ouvrage d'un projet pour réaliser des tests d'étanchéité à l'air des réseaux en fin de chantier, dans le cadre de projets ayant une obligation de résultat à ce sujet. Nous intervenons donc plutôt comme des « pompiers » en fin de chantier, alors qu'il serait plus intéressant de travailler en amont (nous sommes encore très peu sollicités de cette manière).

Nous conseillons, comme pour l'étanchéité à l'air du bâti, la réalisation d'un premier test en cours de chantier (pour valider le principe de montage) et d'un second en fin de chantier (ce dernier doit être fait à réception selon la norme en vigueur ; mais il est alors compliqué de réaliser des mesures correctrices, d'où la nécessité d'un test préalable). »



L'intérêt porté à l'étanchéité à l'air est-il le même suivant le type de bâtiment ?

« Actuellement, les demandes de tests d'étanchéité à l'air des réseaux concernent surtout du tertiaire, des laboratoires. Très peu concernent des logements, même si celles-ci semblent augmenter avec les labels et certifications ; pourtant, la vérification de l'étanchéité à l'air des réseaux a tout son sens puisqu'une étanchéité de qualité conditionne en grande partie l'obtention des bons débits et donc la conservation du bâti, la qualité sanitaire des logements et la qualité d'air intérieur. »

Quelles sont les fuites généralement constatées ?

« Il y a de tout... notamment :

- Problèmes d'étanchéité au niveau des jonctions, mastic pas correctement mis en œuvre,
- Problématiques de fuites au niveau des piquages express,
- Conduits souples terminaux isophoniques mis en place entre le diffuseur et le réseau : il arrive que l'enveloppe intérieure (légèrement perforée pour les questions acoustiques) soit bien raccordée, mais que l'enveloppe extérieure ne le soit pas : il y a alors fuite d'air.

Les manchettes souples ne sont pas nécessairement plus fuyardes ; il existe des produits adaptés pour réaliser les raccords sur les gaines rigides. »

Les entreprises commencent-elles à changer leurs habitudes ?

« Les raccords à joints commencent à être utilisés, mais ce n'est pas encore une habitude. L'argument selon lequel les raccords à joints sont plus chers ne tient pas, car effectivement ils le sont légèrement à l'achat, mais il existe un gain de 30% à 40% sur le temps de main-d'œuvre, donc l'entreprise s'y retrouve. Par ailleurs, les sociétés ne sont pas encore demandeuses de formation sur le sujet, celui-ci est encore naissant. À noter que le label Effinergie+ demande maintenant la réalisation de tests d'étanchéité à l'air des réseaux et des vérifications visuelles, ce qui devrait aider à développer le sujet. »

Figure 64 : UTILISATION D'UNE VESSIE POUR OBTURER UNE BOUCHE LORS D'UN TEST - source Etamine



ÉCLAIRAGE

ÉCLAIRAGE

RÉSUMÉ

Pour réduire les consommations d'éclairage, au-delà du travail sur l'apport en éclairage naturel, le bon sens indique qu'il faut d'une part limiter les puissances installées, et d'autre part ajuster au mieux le fonctionnement à l'usage.

Le panel de bâtiments analysés montre que la réduction des puissances peut passer par des solutions très diverses (lampadaires, plafonniers avec ou sans lampes d'appoint...), de même que l'ajustement du fonctionnement aux besoins : certains mettent en place des solutions très automatisées (détection de présence et gradation) quand d'autres misent sur un bon usage des solutions très basiques (commandes manuelles). Les consommations obtenues in fine n'indiquent pas la supériorité d'une stratégie sur une autre ; une conception adaptée au bâtiment et à ses utilisateurs, attentive à tous les postes ainsi qu'un réglage fin des installations et une sensibilisation des utilisateurs sont déterminants.

En effet, dans les bâtiments suivis, il s'avère que l'éclairage fonctionne souvent pendant les périodes d'inoccupation ou dans des zones où il n'est pas utile, ce qui constitue le principal gisement d'économie :

- *En cas de commande automatique de l'éclairage, le réglage des temporisations et seuils est d'une importance capitale lors de la mise en service, mais la dérive de ces réglages doit être également surveillée pendant les mois suivants,*
- *Plus la solution d'éclairage est performante (efficace et avec un temps de fonctionnement optimal) et plus les veilles prennent de l'importance dans le bilan de consommation ; il faut donc être vigilant à la consommation des détecteurs, contrôleurs d'éclairage, etc.*
- *Dans les communs (circulations, parkings), les zones de détection de présence sont fréquemment de trop grande dimension, et la zone d'allumage sans rapport avec le passage détecté (par exemple allumage de l'atrium en allant aux toilettes).*

Par ailleurs, les consommations d'éclairage non prises en compte dans la réglementation thermique (sous-sols, espaces extérieurs, paliers et escaliers, atrioms notamment) ont pris un poids d'autant moins négligeable que les consommations sur les usages réglementaires ont été réduites.

BILAN ÉNERGÉTIQUE

Nota : L'éclairage des communs comprend les pièces communes (hall, circulations...), les parkings, les espaces extérieurs.

• LOGEMENTS

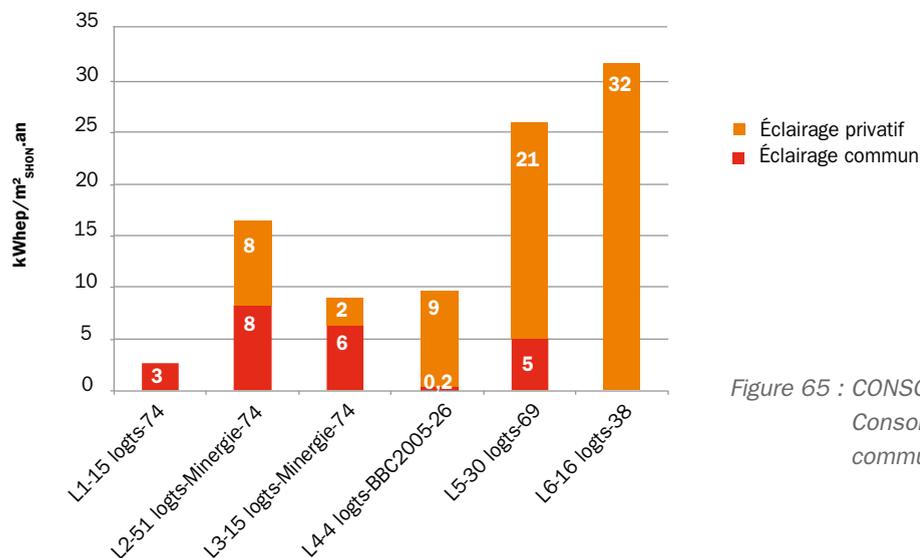


Figure 65 : CONSUMPTION D'ÉCLAIRAGE DES OPÉRATIONS DE LOGEMENTS.
Consommations non mesurées : éclairage privatif L1, éclairage commun L6.

Opération	Éclairage (Système et régulation)			
	Logements	Circulations	Extérieur	Parking
L1-15 logts-74	NC	NC + détecteurs de présence	NC	NC + détecteurs de présence
L2-51 logts-Minergie-74	NC	Lampes à incandescence + détecteurs de présence	NC	Tubes T8 + détecteurs de présence
L3-15 logts-Minergie-74	Lampes fluocompactes + interrupteurs	Lampes à incandescence + détecteurs de présence	NC	Ampoules à incandescence + tubes T8
L4-4 logts-BBC2005-26	NC	Luminaires L5 et L6 + minuterie	Projecteur + détecteurs de présence avec sonde crépusculaire	
L5-30 logts-69	Lampes fluocompactes	Lampes fluocompactes + minuterie	Lampe Sodium Haute Pression	Tubes T5 + détecteurs de présence
L6-16 logts-38	NC	Lampes à incandescence	NC	

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Les consommations des espaces privés et des communs sont comprises entre 8 et plus de 32 kWhep/m² SHON.an

• BUREAUX

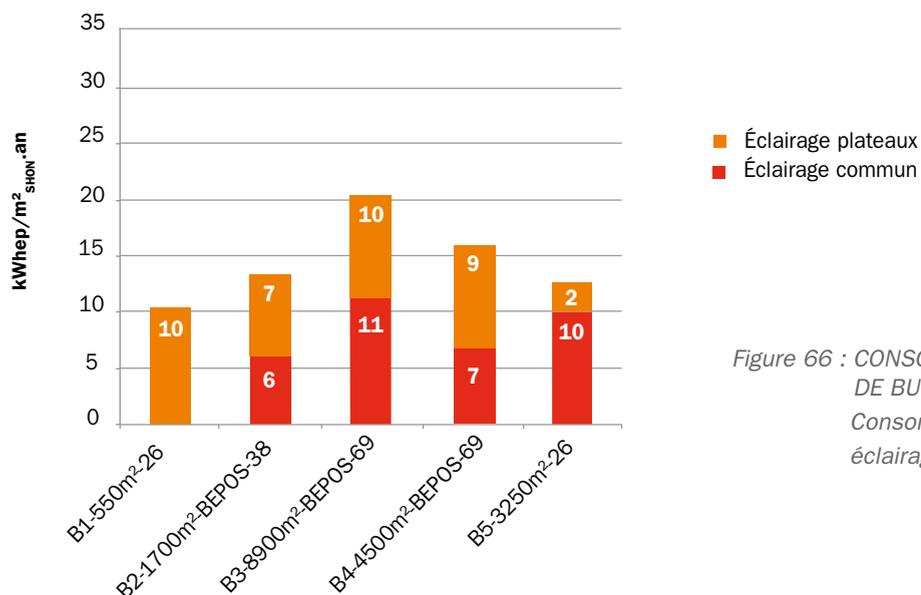


Figure 66 : CONSOMMATION D'ÉCLAIRAGE DES OPÉRATIONS DE BUREAUX.
 Consommations non mesurées : éclairage commun B1, éclairage B6.

Opération	Éclairage (Système et régulation)			
	Bureaux	Circulations	Extérieur	Parking
B1-550m²-26	Néons + interrupteurs	Lampes basse consommation + détecteurs de présence	NC	
B2-1700m²-BEPOS-38	Tubes T8 + détecteurs de présence et cellules de luminosité	NC + détecteurs de présence	NC + détecteur crépusculaire et horloge	
B3-8900m²-BEPOS-69	Mâts d'éclairage mobile + détecteurs de présence et gradation	Tubes T5, Iodure métallique + détecteurs de présence et sondes de luminosité	Profilé luminaireux lampes fluocompactes + détecteurs de présence, sonde de luminosité	Tubes fluocompactes + détecteurs de présence
B4-4500m²-BEPOS-69	Tubes T5 + lampes de bureau + interrupteurs radiocommandés sans fil et gradation ponctuellement	NC	NC + horloge hebdomadaire et détecteur crépusculaire	Tubes T5 + détecteurs de présence
B5-3250m²-26	Tubes T5 + avec ballasts électro + interrupteur et gradation ponctuellement et lampes de bureau	NC + détecteurs de présence	Sodiums	Sodiums + horloge

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

**Les consommations des plateaux et des communs sont comprises
 entre 12 et 21 kWh/m² SHON*an**

• ENSEIGNEMENT ET PETITE ENFANCE

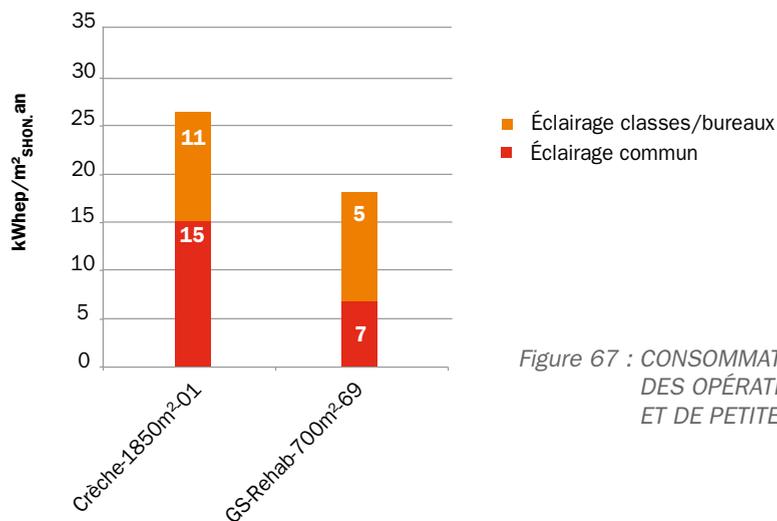


Figure 67 : CONSUMMATION D'ÉCLAIRAGE DES OPÉRATIONS D'ENSEIGNEMENT ET DE PETITE ENFANCE

Opération	Éclairage (Système et régulation)			
	Salle de classe	Circulations	Extérieur	Parking
Crèche-1850m²-01	Tubes T5 + détecteurs de présence/ luminosité, interrupteurs, gradateurs manuels ponctuellement	NC + détecteurs de présence et cellule crépusculaire	NC + détecteur crépusculaire et fonctionne toute la nuit	
GS-Rehab-700m²-69	Luminaires 14W + interrupteurs	NC + détecteurs de présence	NC + interrupteur crépusculaire avec minuterie	

Caractère non exclusif des caractéristiques présentées (cf. résumé projet si besoin)

Les consommations des classes-bureaux + communs sont égales à :

- **26 kWh/m²_{SHON}.an pour la crèche**
- **et 12 kWh/m²_{SHON}.an pour le groupe scolaire**

CONCEPTION					
Études / Dimensionnement					
Dimensionnement	Dimensionner l'éclairage artificiel au plus juste, avec des éclairages moyens adaptés aux usages (selon norme NF EN 12464-1 par exemple), et des indicateurs d'efficacité en W/m ² mais aussi en W/m ² /100 lux, avec des valeurs garde-fous par usage (par exemple ≤ 8 W/m ² , ≤ 2,5 W/m ² /100 lux pour des bureaux, etc.).	€		 16	126
Zones annexes	Ne pas négliger les consommations d'éclairage des zones annexes (parkings, atrium, espaces extérieurs, etc.) qui représentent une part importante de l'éclairage des communs (poste généralement oublié car non pris en compte dans le calcul RT). Étudier avec soin les puissances installées, les zones de détection et d'allumage ainsi que les temporisations à paramétrer.	€		 18	132
Consommations en veille	Faire attention à la consommation de l'éclairage en veille : les ballasts, les détecteurs et les systèmes de gestion d'éclairage numérique consomment de l'énergie en veille, sauf si hors tension (contrôleurs, capteurs). Sélectionner ces matériels en fonction de leur consommation, et étudier leur mise hors tension hors occupation (manuelle ou par GTB), sans en diminuer la durée de vie.	€		 17	130
Choix matériaux / Matériels					
Équipements et gestion performants	Mettre en place des équipements performants (vérifier le rendement optique et l'efficacité de la source et surtout de l'ensemble du luminaire en lm/W) associés à une gestion adaptée à l'usage.				
MISE EN SERVICE					
Réglages					
Temporisation de l'extinction	Adapter le réglage des temporisations aux usages (ex : ne pas traiter les circulations comme des bureaux).	€			
EXPLOITATION					
Entretien / Maintenance					
Luminaires à capteurs intégrés	Contrôler régulièrement le réglage des capteurs intégrés, des cellules photoélectriques et des détecteurs de présence (afin d'éviter les dérives à la hausse des niveaux d'éclairage et les consommations hors occupation).	€			
Détecteurs de présence	Contrôler régulièrement le paramétrage des détecteurs de présence (consommation hors occupation), en lien avec le suivi de consommation.	€			
Horloges programmables	Contrôler régulièrement la programmation des horloges.	€			
Éclairage extérieur	Choisir et entretenir avec soin les détecteurs crépusculaires.				
Ajustements					
Commandes manuelles	Remplacer lorsque l'usage montre que cela est pertinent les commandes manuelles classiques, par exemple simple allumage par double allumage (double interrupteur permettant la commande de 2 points d'éclairage différents) ou manuelle par automatique.				
Sensibilisation					
Usagers	Sensibiliser les usagers à l'utilisation de l'éclairage : commandes distinctes des premier et second jours, réglages des capteurs et des temporisations, utilisation des commandes manuelle/auto, réglage du niveau d'éclairage par gradation...	€			

Rappel : check-list non exhaustive mais établie uniquement sur la base des 14 rapports analysés.



LE JUSTE DIMENSIONNEMENT DE L'ÉCLAIRAGE

L'éclairage artificiel peut être caractérisé par l'éclairement moyen calculé ou mesuré sur une surface, en lux. **Cet éclairement moyen doit être adapté en fonction de l'utilisation de l'espace, ou de la tâche à éclairer.** Il doit être maintenu tout au long de la durée de vie de l'installation et prendre en compte la dépréciation des lampes, l'empoussièrément du local et des luminaires. La définition précise et différenciée des niveaux d'éclairement par espaces doit être un élément de programme de toute opération.

Des guides et normes définissent les règles de l'art en matière de niveaux d'éclairement, notamment la norme NF EN 12464-1 : Éclairage des lieux de travail – Partie 1 : Lieux de travail intérieur. Le Code du travail donne les niveaux minimums à maintenir en tout point du local (Articles R.4213-1 à R.4213-4 et R.4223-1 à R.4223-11).

Une fois le bon niveau d'éclairement choisi, il existe souvent plusieurs solutions techniques pour atteindre cet objectif. Le concepteur doit alors se poser la question de la performance des solutions d'éclairage. Un indicateur important de cette performance est la puissance installée spécifique en W/m^2 mais aussi en $W/m^2/100$ lux.

Le niveau d'éclairement et la puissance installée spécifique doivent être calculés en amont de la réalisation avec un logiciel de calcul. Par exemple, **la puissance installée spécifique d'une bonne solution d'éclairage tertiaire** (bureau, enseignement, etc.) **est aujourd'hui de $2 W/m^2/100$ lux** (soit par exemple $6 W/m^2$ pour 300 lux), **et celle d'une solution très performante inférieure à $1,5 W/m^2/100$ lux.**

Il existe plusieurs solutions d'éclairage pour atteindre ces objectifs : luminaires plafonniers avec ou sans appoint par lampes de bureau, lampadaires (luminaires sur pied).

Il existe également plusieurs types de sources performantes. Leur efficacité est mesurée en lumens/W (cette efficacité dépend de leur température de couleur, en Kelvin, et du mode

Acteurs concernés : Pr - Moe

d'alimentation) : par exemple lampes fluorescentes T5 alimentées par ballasts électroniques (avec ou sans gradation) ≥ 90 lm/W, LED ≥ 90 ou 100 lm/W (attention, pour les luminaires à LED, c'est le flux lumineux net sortant du luminaire qui est précisé dans les caractéristiques de celui-ci, et non le flux lumineux brut de la lampe comme pour les autres types de luminaires, incluant donc les pertes dues au luminaire). Au-delà de l'efficacité de la source, c'est toutefois bien **l'efficacité globale du luminaire dans son ensemble, ballast compris, qui doit être considérée** (incluant les caractéristiques du réflecteur, et son rendement lumineux, c'est-à-dire le rapport entre le flux sortant du luminaire et le flux produit par la ou les lampes).

Zoom opération 1 : B3-8900m²-BEPOS-69

La solution d'éclairage retenue dans les bureaux est un éclairage par lampadaires équipés de lampes fluorescentes et de ballasts électroniques. Les puissances installées correspondantes sont de l'ordre de $4 W/m^2$ sur les plateaux de bureaux. La commande de chaque lampadaire est automatique et autonome : chaque lampadaire possède un détecteur de présence et un capteur de lumière du jour.

Ces équipements permettent d'atteindre des consommations de $9,2 kWh/m^2_{SHON}\cdot an$ dans les zones de bureaux et de $11,3 kWh/m^2_{SHON}\cdot an$ dans les communs.

Seul bémol par rapport à la solution par lampadaires retenue : ceux-ci sont souvent peu ou mal réglés par l'utilisateur, qui ne les exploite donc pas pleinement.



Témoignage acteur du projet, Ingrid GUILLERMINET, chargée d'affaires, Katene, bureau d'études fluides

Du point de vue du dimensionnement de l'éclairage, quels sont les avantages d'un éclairage par lampadaires par rapport à un éclairage par plafonniers ?

« En préambule, il faut rappeler que pour la plupart des usages courants de bureau, un éclairage moyen de 300 lux est suffisant. Un éclairage moyen de 500 lux est donc surdimensionné. Dans un souci d'efficacité, il peut être proposé aux utilisateurs qui souhaitent quand même 500 lux, un éclairage général à 300 lux, avec une lampe d'appoint sur la table pour atteindre ponctuellement 500 lux (au final la puissance installée en W/m^2 est plus faible). Les lampadaires vont également dans le sens d'un éclairage ponctuel au plus près des besoins. Lorsque l'éclairage est réalisé par des plafonniers, on aura tendance à prévoir deux fois plus de luminaires, pour être sûr de couvrir tous les aménagements possibles, et donc à surdimensionner⁷.

Autre avantage des lampadaires, les capteurs (de présence et de lumière naturelle) sont mobiles et individuels, le réglage et le fonctionnement peuvent donc être adaptés finement à chaque poste de travail (en bureau paysager comme en bureau cloisonné). Au contraire, lorsque l'éclairage et les capteurs sont fixes, le fonctionnement de l'éclairage sera rarement bien adapté à tous les postes de travail à la fois, d'une part en fonction de la position du capteur commun par rapport aux postes de travail du bureau, et d'autre part en fonction de la position de ceux-ci par rapport au 1^{er} jour et 2nd jour. Avec un lampadaire, la question de la bonne position du capteur ne se pose pas. »

Les puissances installées sont-elles comparables ?

« Pour un même aménagement de bureau, la puissance installée d'un éclairage par lampadaires pourra être réduite à 4 ou 4,5 W/m^2 , alors que celle d'un éclairage par plafonniers sera plutôt de l'ordre de 6 W/m^2 (pour 300 lux)⁸. »

Quelles sont les consommations atteintes avec les lampadaires ?

« La consommation annuelle d'éclairage des bureaux B3-8900m²-BEPOS-69 (avec détection de présence et de lumière naturelle) est d'environ 9 kWh_{élec}/m²_{SHON} soit 3,50 kWh_{élec}/m²_{SHON} soit encore 4,2 kWh_{élec}/m² de surface utile de bureau. »

Quels sont les inconvénients des lampadaires ?

« Les lampadaires doivent impérativement fournir un éclairage direct/indirect, pour éviter un effet de douche sur le poste de travail, avec un plafond non éclairé, et l'inconfort résultant notamment de ce contraste. D'autre part, dans les open space les soirs où il y a peu de présents, il peut faire très sombre (nombreux lampadaires éteints). »

Quelles sont les problématiques liées au réglage des détecteurs ?

« Concernant les lampadaires du projet B3-8900m²-BEPOS-69, les capteurs ont été réglés à la mise en service. Une seconde campagne de réglage a eu lieu pour corriger les dérives de fonctionnement. À l'usage, d'autres réglages ont été réalisés, par exemple la temporisation d'extinction de l'éclairage des circulations (qui restait allumé) a été diminuée petit à petit. »

Quelle est l'importance de la formation des utilisateurs ?

« À la mise en service tous les usagers doivent être formés à l'utilisation des lampadaires. L'effort doit être fait à ce moment-là, sinon les utilisateurs insatisfaits du confort modifient eux-mêmes les réglages, les consommations augmentent, et il faut refaire une campagne corrective de réglage. 5 minutes suffisent à chacun pour prendre en main le luminaire, mais ce temps d'information est indispensable. »

A-t-il fallu faire des compléments d'éclairage dans certaines zones de bureaux ?

« Non, pas dans les espaces de bureaux à proprement parler. En revanche, il y a un éclairage spécifique intégré en faux plafond dans les circulations. Dans ces espaces, l'éclairage est également commandé par détection de présence et de lumière naturelle (allumage / extinction fonction de l'apport de lumière naturelle). »

⁷ Cependant, rappelons que le Code du travail impose 120 lux minimum dans les locaux de travail (200 lux si aveugles), et que ce niveau d'éclairage peut être difficile à atteindre en tout point avec un lampadaire, en bureaux paysagers ou lorsque la surface de bureau par utilisateur est importante. NDLR.

⁸ Ces puissances sont actuellement à la baisse avec l'augmentation de la performance des LED (≥ 100 lm/W).NDLR.

Zoom opération 2 : B5-3250m²-26

La solution d'éclairage retenue dans les bureaux est un éclairage général par plafonniers (à lampes fluorescentes T5 et ballasts électroniques) avec des lampes de bureau en appoint.

La puissance installée est de 5 W/m² pour les plafonniers, auxquels s'ajoutent 2 W/m² pour les lampes d'appoint. La consommation est relativement faible : 12 kWh/m²_{SHON}·an.

La commande des plafonniers est manuelle par interrupteurs double allumage 1^{er} jour / 2nd jour.



Témoignage acteur du projet, Jérôme LEMOINE, chargée d'opération, ENERTECH, bureau d'études spécialisé en énergétique appliquée aux bâtiments

Du point de vue du dimensionnement de l'éclairage, quels sont les avantages d'un éclairage par plafonniers et lampes de bureau, par rapport à un éclairage par plafonniers seuls ?

« Pour les bureaux, la norme NF EN 12464-1 (Éclairage des lieux de travail – Partie 1 : Lieux de travail intérieur) indique qu'il faut 500 lux sur la tâche de travail et 300 lux dans la zone environnante immédiate (50 cm autour du bureau). Le reste de la pièce (zone de fond) peut être éclairé à 100 lux. Pour atteindre ces valeurs avec une bonne solution technique par plafonniers, la puissance installée sera de l'ordre de 10 W/m².

En proposant un éclairage général moyen de la pièce à 250 lux seulement, et un appoint par une lampe de bureau, on reste conforme à cette norme et en plus la puissance installée est bien inférieure : éclairage général (par plafonniers) de l'ordre de 5 W/m² auquel s'ajoute 0,5 à 1 W/m² pour une lampe de bureau soit moins de 6 W/m². On gagne donc 40 % par rapport à un éclairage général à 500 lux (par plafonniers uniquement).

De plus, on offre la possibilité à l'utilisateur de moduler son éclairage : les 500 lux sur la tâche de travail sont rarement

utiles, et comme l'indique le référentiel technique HQE, la plupart des gens préfèrent une ambiance à 200-300 lux pour un travail lecture / écriture sur écran. Les 500 lux ne sont nécessaires que pour la lecture de petits caractères sur papier.

Concernant la modulation de l'éclairage, par rapport à une solution d'éclairage par plafonniers seuls, mais gradables (DALI ou 1-10 V), l'utilisation de lampes de bureau est moins chère et plus simple à installer, paramétrer et maintenir. De plus elle permet de s'affranchir des consommations de veille des systèmes de gestion (contrôleurs, ballasts DALI). Enfin, en limitant la puissance installée au plafond, la puissance maximale « garde-fou » est moins élevée que dans le cas d'un éclairage gradable jusqu'à 500 lux. »

Les puissances installées sont-elles comparables ?

« Comme indiqué précédemment, les puissances installées sont moins élevées avec une solution « plafonniers + lampes de bureau » par rapport à une solution « plafonniers seuls », de 30 % à 50 % suivant la configuration des bureaux (simples, doubles, open space). Plus la surface de bureau par utilisateur est importante, plus l'utilisation de lampes de bureau sera profitable. »

Les consommations sont-elles comparables ?

« La consommation est nettement inférieure dans le cas d'un éclairage par plafonniers et lampes de bureaux, car les lampes de bureaux ne sont allumées qu'en cas de besoin (et ce besoin est ponctuel) et la puissance installée au plafond est bien inférieure. »

Quels sont les inconvénients de cette solution ?

« Il n'y en a pas, si ce n'est la difficile maîtrise de la performance des lampes de bureau. Ces dernières doivent être performantes pour que la solution soit pertinente, or sur le marché la qualité de ces produits est très hétérogène. D'autre part, certains utilisateurs sont réticents à l'usage de lampes de bureau. Enfin, il y a un risque d'inconfort visuel si la solution est mal étudiée (lampes de bureau mal sélectionnées, plafonniers mal positionnés) : l'éblouissement de lampe de bureau et le déséquilibre des luminances (contraste trop important entre la tâche de travail et le champ de vision de l'utilisateur) doivent être pris en compte en conception. »





LA CONSOMMATION DE L'ÉCLAIRAGE EN VEILLE

Plus la solution d'éclairage est performante (puissance installée spécifique très basse) et mieux son fonctionnement est contrôlé (par exemple par de la détection de présence), plus les consommations de veille des auxiliaires (s'ils existent) prennent de l'importance dans le bilan énergétique global de la solution.

Plusieurs équipements auxiliaires sont concernés par ces consommations de veille : certains consomment de l'énergie même lampes éteintes ; c'est le cas notamment des ballasts (lampes fluorescentes) ou drivers (LED) à gradation, des détecteurs et des contrôleurs d'éclairage. **Pour aller plus loin dans l'optimisation de l'éclairage artificiel, il conviendrait donc de sélectionner des auxiliaires en fonction de leurs consommations de veille, voire d'étudier la coupure d'alimentation de ces auxiliaires hors fonctionnement.**

Quelques consommations en veille d'équipements auxiliaires :

- Ballasts électroniques HF à gradation : 0,25 W⁹,
- Détecteurs de présence : 0,25 à 1 W¹⁰,
- Les consommations en fonctionnement et en veille des contrôleurs ne sont pas communiquées par les fabricants, car sans doute insuffisamment étudiées à ce jour.

Les consommations des ballasts sont encadrées par la directive européenne 2000/55/CE, elles sont donc similaires d'un fabricant à un autre.

Acteurs concernés : Moe - exploit - usager

Zoom opération 1 : B3-8900m²-BEPOS-69

L'éclairage des zones de bureaux du bâtiment B3-8900m²-BEPOS-69 est réalisé par des lampadaires.



Témoignage acteur du projet, Ingrid GUILLERMINET, chargée d'affaires, Katene, bureau d'études fluides

Quelle est la consommation en veille des lampadaires (notamment des ballasts à gradation) ?

« Cette consommation n'a pas été mesurée, car le problème ne se pose pas, étant donné qu'il y a une coupure générale par étage permettant de supprimer ces consommations en veille. »

La clef de coupure générale est un dispositif simple mais original, comment est-elle utilisée par les usagers ?

« Une clef permet la coupure électrique générale par étage et coupe tout l'éclairage, tous les ordinateurs, mais pas les serveurs, ni les imprimantes (problème de garantie avec l'entreprise d'entretien) ni les réfrigérateurs, etc.

La clef est utilisée par le dernier qui part, après avoir fait le tour des bureaux. L'information des utilisateurs est ici importante, car certains peuvent hésiter à l'utiliser de peur de couper un usage important. Il faut donc rassurer chacun en expliquant ce qui est coupé ou non par la clef. »

⁹ Données Philips

¹⁰ Données B.E.G.

Zoom opération 2 : B5-3250m²-26

Les consommations en veille des équipements de commande de l'éclairage, rapportées aux consommations de la zone concernée, sont présentées ci-dessous :

Zone	Commande	Consommations en veille rapportées aux consommations de la zone
Bureaux	Interrupteurs manuels à double allumage (1 ^{er} / 2 nd jour)	Nulle
Salles de réunion	Commande manuelle à gradation	36 % (ballasts à gradation)
Circulation	Détection de présence	10 %
Sanitaires	Détection de présence	25 %

Globalement, la consommation en veille représente 7,4 % du poste éclairage, celui-ci représentant 24 % de la consommation totale d'électricité du bâtiment.



Témoignage acteur du projet, Jérôme LEMOINE, chargé d'opération, ENERTECH, bureau d'études spécialisé en énergétique appliquée aux bâtiments

Que représentent les consommations en veille du « contrôle » de l'éclairage dans ce bâtiment ?

« D'après le rapport de suivi 2010, la consommation de veille de l'éclairage représentait 1 200 kWh/an sur 16 300 kWh/an d'éclairage hors atelier, soit 7,4% du poste global éclairage.

« Environ 500 kWh/an (57 W appelés en permanence) sont dus au fonctionnement permanent des gradateurs dans certaines salles de conférence et de réunion. 700 kWh/an (équivalent à 80 W appelés en permanence) sont dus au fonctionnement en veille des détecteurs de présence. »

Les consommations en veille sont importantes, quelles actions correctives peuvent être entreprises ?

« Les détecteurs de présence ne consomment que 4,3% de l'éclairage du bâtiment. Cela ne paraît pas excessif au vu du service rendu, car ils permettent de réduire considérablement les temps de fonctionnement et de limiter les oublis d'extinction là où ils sont installés.

« En revanche, la consommation de veille des gradateurs représente 3,1 % des consommations d'éclairage du bâtiment. Cette veille n'apporte rien au fonctionnement des salles et devrait être supprimée. »

Comment couper l'alimentation des ballasts et des contrôleurs d'éclairage ?

« Les ballasts des luminaires non gradables (fonctionnement en « tout ou rien ») ne consomment rien en veille. C'est le cas de l'ensemble des luminaires de B5-3250m²-26 hormis dans la salle de conférence et dans deux salles de réunion. Pour ces luminaires, l'alimentation est coupée à l'aide d'un interrupteur ou d'un détecteur.

« Des contacteurs modulaires coupant les circuits éclairage en aval des disjoncteurs de protection pourraient être installés pour supprimer totalement ces consommations (gradateurs et contrôleurs). Ces contacteurs pourraient être commandés par exemple par la mise en marche/arrêt de l'alarme intrusion ou par une horloge. »

La GTB peut-elle jouer un rôle dans cette coupure ?

« Il n'y a pas de GTB dans ce bâtiment. Une horloge suffit pour couper ces alimentations. »



L'OPTIMISATION DE L'ÉCLAIRAGE DES ZONES « ANNEXES » NON COMPRIS DANS LES CALCULS RÉGLEMENTAIRES

Dans les bâtiments visant une performance énergétique très élevée, de type bâtiments passifs ou à énergie positive, tous les postes de consommations énergétiques doivent être traités avec soin, sans quoi ils risquent de devenir prépondérants. Les acteurs de la conception des bâtiments ont pris l'habitude depuis plusieurs années, grâce aux réglementations successives, de mettre en œuvre des solutions entraînant des consommations d'éclairage réduites pour toutes les zones de bâtiments soumises à la réglementation. Il ressort toutefois des campagnes de suivi que **l'éclairage des autres espaces, non soumis à la réglementation thermique** (qu'il s'agisse de la RT 2005 ou RT 2012), **peut parfois prendre des proportions très élevées**. Ces zones éclairées, non soumises à la réglementation thermique, peuvent être variées et dépendent énormément de la conception des bâtiments. L'arrêté du 1^{er} août 2006 relatif à l'accessibilité aux personnes handicapées et la norme NF EN 12464-1 indiquent des valeurs d'éclairement moyen dans ces espaces, par exemple 100 lux dans les circulations et 150 lux dans les escaliers. Concernant le stationnement, les valeurs diffèrent : 75 lux préconisés par la norme, 50 lux pour les circulations piétonnes et 20 lux ailleurs exigés par l'arrêté.

Les principaux espaces concernés qui ont été repérés dans les rapports de suivi sont listés dans les paragraphes suivants.

Les sous-sols, occupés par des stationnements en tertiaire ou en logements, constituent le principal espace non réglementaire pour lequel la consommation réelle est identifiée comme non optimisée. Le fonctionnement de l'éclairage dans ces espaces est effectivement difficile à optimiser en pratique pour deux raisons principales :

- D'abord car ils contiennent plusieurs zones qu'il convient d'identifier au préalable et de traiter de façon différente et avec soin : rampe d'accès, zone de stationnement,

cheminement piéton depuis et jusqu'aux escaliers/ascenseurs,

- Ensuite car l'éclairage du sous-sol rejoint une problématique de sécurisation, difficilement compatible avec une absence totale d'éclairage, même pendant une période de temps courte lors de l'accès aux sous-sols.

Pourtant, ce poste de consommation mérite une attention particulière car selon les rapports de suivi :

- Il représente plus de 70 % des consommations d'éclairage des parties communes, voire jusqu'à 50 % des consommations des services généraux pour au moins 1 opération de logements sur 3,
- Il représente plus de 3 % des consommations globales des opérations tertiaires visant l'énergie positive.

L'éclairage des espaces extérieurs a été plusieurs fois mesuré comme un poste avec une consommation réelle beaucoup plus importante que celle qui avait été envisagée initialement. De même que pour le sous-sol, cet éclairage rejoint les questions de sécurisation, difficiles à appréhender, et il pose le problème de la gestion en exploitation, difficile à régler car ne pouvant l'être que la nuit. Ainsi, sur une des opérations de logement, l'éclairage extérieur représente près de la moitié des consommations d'éclairage des communs, avec une durée d'allumage quotidienne de 2,5 heures.

L'éclairage des atriums pour les bâtiments tertiaires est recensé comme problématique dans les deux bâtiments de bureaux qui en sont équipés, avec une très forte consommation, de l'ordre de 2,5 % à 3 % de la consommation globale du bâtiment. Cet éclairage d'un grand volume mérite une attention particulière car il rejoint les problématiques architecturales de mise en valeur nocturne de ces espaces.

Enfin, l'éclairage des paliers d'étage et des escaliers est également régulièrement source de surconsommations, généralement à cause d'une mauvaise gestion, soit une détection mal adaptée, soit un mauvais réglage de la temporisation.

Zoom opération 1 : B3-8900m²-BEPOS-69

Le bâtiment B3-8900m²-BEPOS-69 vise l'énergie positive tous usages ; l'ensemble des consommations est ainsi mesuré en détail. Sur la deuxième année d'exploitation, pour une consommation tous usages de 113 kWhep/m², l'éclairage représente 16 % de ces consommations, comme le montre le graphique suivant : 10 % pour l'éclairage des zones soumises à la RT et 6 % pour les zones non soumises.

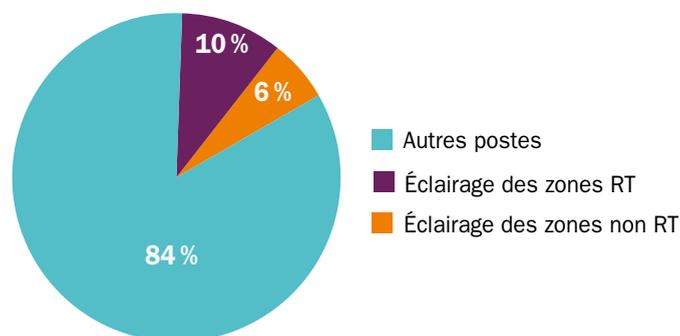


Figure 68 : IMPACT DU POSTE ÉCLAIRAGE PAR RAPPORT AUX AUTRES POSTES DE CONSOMMATION (graphique réalisé à partir des données Etamine)

Ces mesures montrent à quel point l'éclairage des zones non RT est moins optimisé, car il représente 40 % des consommations d'éclairage alors qu'il ne s'agit que de 10 % à 15 % des surfaces. Le graphique suivant indique dans le détail la répartition des consommations d'éclairage sur la même période :

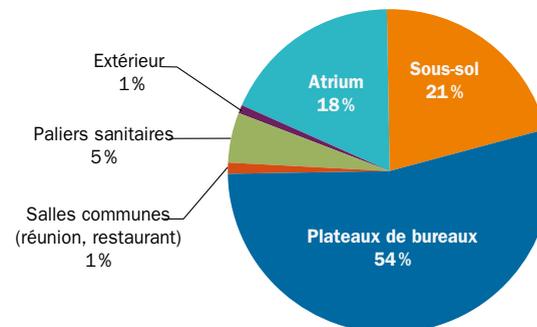


Figure 69 : RÉPARTITION DES CONSOMMATIONS D'ÉCLAIRAGE (graphique réalisé à partir des données Etamine)

Les consommations des plateaux de bureaux, qui sont les espaces principaux de ce bâtiment et représentent près de $\frac{3}{4}$ des surfaces, pèsent moins de 55 % des consommations d'éclairage, alors que les sous-sols et l'atrium représentent 40 %.



Témoignage acteur du projet, Sébastien FLAMIN, électricien, Katene, bureau d'études fluides

Quels sont les enseignements tirés de ce projet concernant l'éclairage du sous-sol ?

- « Il est toujours autorisé de couper entièrement l'éclairage artificiel du sous-sol. L'habitude de maintenir 1/3 des luminaires allumés en permanence ne concerne que les cas où l'allumage est assuré par bouton poussoir et non par détection, ce qui n'est plus préconisé aujourd'hui, ou sur demande du maître d'ouvrage,
- Demander lors des études d'EXE une simulation des zones de détection en prenant soin de considérer la bonne hauteur de pose des détecteurs et privilégier des détecteurs à détection en carré plutôt qu'en ellipse en englobant les places de parking dans la zone de détection,
- Optimiser les calculs de dimensionnement en conception et en EXE pour ne pas surdimensionner, en prenant notamment les bonnes hauteurs sous plafond et coefficients de réflexion des parois (souvent difficiles à obtenir),
- La modification de la répartition des zones d'allumage pendant l'exploitation est compliquée car elle implique de reprendre le câblage de tous les luminaires quand ils ont été réalisés en câblage classique. Elle serait beaucoup plus aisée avec des luminaires et détecteurs adressables de type KNX ou DALI mais présente un surcoût de l'ordre de 30 %,
- L'affectation des places de stationnement n'est jamais connue lors de la conception, mais une piste d'optimisation serait d'identifier dès la conception une zone de parking pour une flotte automobile ou pour les voitures des personnes qui sont amenées

à se déplacer en journée, pour que cette zone uniquement soit allumée très régulièrement et les autres seulement aux horaires de bureau. »

Quels sont les enseignements tirés de ce projet concernant l'éclairage de l'atrium ?

- « Privilégier les éclairages LED de manière générale pour l'éclairage des parties communes, car il existe des gammes aujourd'hui répondant aux attentes (architecturale, puissances...) et sans contraintes sur la durée d'allumage ni la consommation d'énergie,
- Éviter l'éclairage par le sol, qui entraîne une perte du flux lumineux de l'ordre de 50 % entre le flux envoyé et celui mesuré réglementairement au sol,
- Un dialogue est nécessaire pour faire la part des choses et trouver le juste milieu entre les aspects architecturaux et la performance énergétique. »

Témoignage acteur de la filière, Mehmet OZDEMIR, responsable secteur Rhône-Alpes /Auvergne, Steinel, fabricant de détecteurs

« En sous-sol, le bon compromis est le détecteur de mouvement de type hyperfréquence qui assure une rapidité de détection. Il n'existe pas d'indicateurs permettant de définir la sensibilité et la rapidité de détection d'un détecteur, cela dépend beaucoup de sa technicité.

Il n'y a pas de maintenance préventive à faire sur les détecteurs de présence ou de mouvement, mais il faut retenir des détecteurs de présence à « sécurité positive », ce qui signifie que les luminaires restent allumés en permanence et non éteints en permanence quand le détecteur est défectueux. »





BUREAUTIQUE ET AUTRES USAGES DE L'ELECTRICITE

BUREAUTIQUE ET AUTRES USAGES DE L'ÉLECTRICITÉ

RÉSUMÉ

Les réglementations thermiques successives ont permis de réduire de manière efficace la consommation énergétique des bâtiments sur les postes encadrés par ces textes. Toutefois, plusieurs postes de consommations énergétiques n'ont jamais été concernés par la réglementation thermique, et sont restés non impactés par les efforts de réduction ; ils ont pris alors une part prépondérante dans le bilan global d'un bâtiment neuf, et sont désormais à étudier finement, pour atteindre des performances globales en lien avec les objectifs initiaux.

Les postes principaux qui sont regroupés sous la dénomination « autres usages de l'électricité » sont :

- La bureautique, postes informatiques et serveurs pour les bâtiments tertiaires,
- Les ascenseurs,
- Les appareils électrodomestiques pour les bâtiments de logements,
- La téléphonie, les baies de brassage informatiques des bâtiments de bureaux,
- Les équipements « annexes » des bâtiments tertiaires : machines à café, distributeurs de boissons, cafétéria...
- Tous les automatismes des bâtiments, de type contrôle d'accès, moteurs des stores.

Alors que ces consommations paraissaient encore négligeables il y a quelques années au regard du bilan énergétique global des bâtiments, ces postes représentent aujourd'hui entre 30% et 60% de l'énergie globale consommée en logements, et entre 25% et 60% en tertiaire. Il devient aujourd'hui indispensable de les anticiper au maximum et de les traiter avec soin pour les réduire autant que possible, pendant les phases de conception et de construction, mais surtout pendant l'exploitation. Une des causes récurrentes de cette surconsommation provient de l'absence d'extinction des appareils, qui continuent de consommer en inoccupation. Impliquer les utilisateurs des bâtiments performants est également une des démarches nécessaires pour limiter l'augmentation de ce poste.

Ce chapitre intègre également les quelques retours des rapports de suivi sur les installations photovoltaïques. Ces retours sont limités en nombre, soit parce que les bâtiments instrumentés n'en sont pas équipés, soit parce que les installations n'étaient pas encore en service au moment des analyses. On constate en effet que les délais administratifs sont extrêmement longs pour permettre le raccordement et la revente de la production électrique.

BILAN ÉNERGÉTIQUE

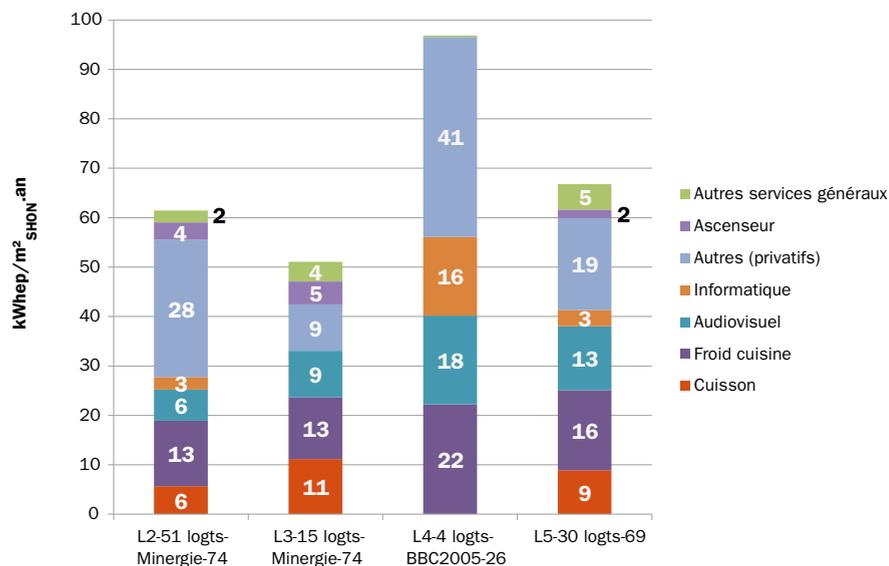


Figure 70 : RÉPARTITION DES CONSOMMATIONS D'ÉLECTRICITÉ DES PARTIES PRIVATIVES DES LOGEMENTS

Sur ce panel, les consommations des autres usages de l'électricité sont comprises entre 60 et 100 kWhep/m²_{SHON}.an dont :

- le poste cuisson : entre 6 et 11 kWhep/m²_{SHON}.an
- le poste froid cuisine : entre 13 et 22 kWhep/m²_{SHON}.an
- l'audiovisuel et l'informatique : entre 9 et 34 kWhep/m²_{SHON}.an

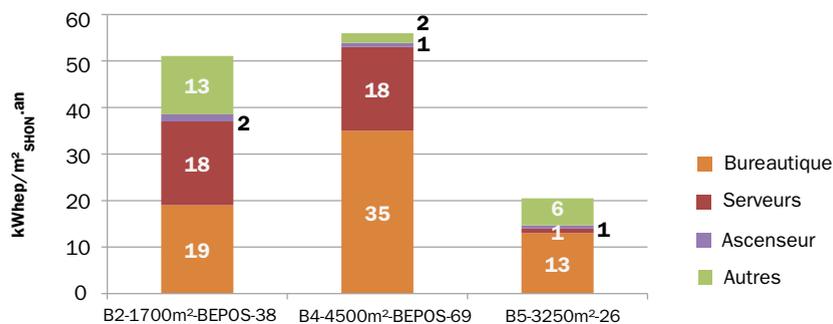


Figure 71 : RÉPARTITION DES CONSOMMATIONS DES AUTRES USAGES DE L'ÉLECTRICITÉ

Sur ce panel, les consommations des autres usages de l'électricité sont comprises entre 20 et 55 kWhep/m²_{SHON}.an dont :

- la bureautique : entre 13 et 35 kWhep/m²_{SHON}.an
- les serveurs : 18 kWhep/m²_{SHON}.an pour 2 opérations visant l'énergie positive

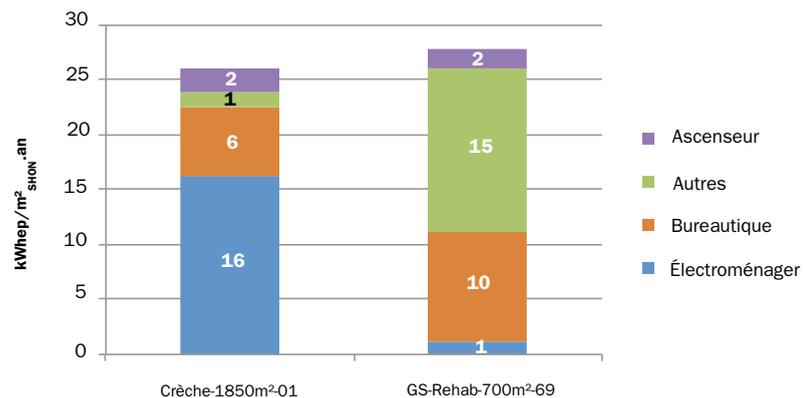


Figure 72 : RÉPARTITION DES CONSOMMATIONS DES AUTRES SERVICES GÉNÉRAUX POUR LA CRÈCHE ET L'ÉCOLE HORS ÉCLAIRAGES COMMUNS

Pour les 2 opérations, les consommations des autres usages de l'électricité sont égales à 26 (crèche) et 28 kWhep/m²_{SHON}.an (groupe scolaire)



CONCEPTION					
Études / Dimensionnement					
Plateaux inoccupés	Prévoir un moyen de couper l'électricité générale des lots non occupés afin de réduire les consommations inutiles en inoccupation.	€		 19	141
Veille	Prévoir une extinction des veilles des automatismes sur les coupures globales en inoccupation (uniquement pour les équipements dont l'automatisme est inutile en inoccupation).				
Photovoltaïque	S'assurer d'une bonne ventilation par convection naturelle en face arrière des panneaux photovoltaïques y compris dans le cas des installations intégrées à la toiture.	€			
Choix matériaux / Matériels					
Ascenseur : contrôle commande	Être vigilant au contrôle commande, qui peut représenter jusqu'à 70 % des consommations. Les nouveaux modèles d'ascenseurs répondent à ce problème par la création d'un mode stand-by.			 20	144
MISE EN SERVICE					
Réglages					
Ascenseur : temporisation de l'éclairage	Être vigilant au réglage de la temporisation afin d'atteindre des consommations d'éclairage des ascenseurs très faibles.	€		 20	144
EXPLOITATION					
Entretien / Maintenance					
Ascenseur : éclairage de la gaine	Après une intervention, étudier la possibilité d'empêcher le démarrage de l'ascenseur tant que la gaine est allumée ou intégrer une temporisation longue de 12 heures par exemple.	€		 20	144
Photovoltaïque	Surveiller la production photovoltaïque ainsi que le bon fonctionnement des onduleurs pour assurer une production optimale.	€			
Sensibilisation					
Usagers	Sensibiliser les usagers à l'impact de leur comportement sur les consommations du bâtiment. En logement, les sensibiliser à l'utilisation des prises commandées en séjour, voire dans d'autres pièces des logements.	€		 06	68
Bureautique : courant ondulé	Limiter la présence de courant ondulé dans les bâtiments tertiaires au strict minimum, car les onduleurs représentent une consommation importante. Privilégier l'usage de portables qui permettent de se protéger des coupures de courant.	€			
Bureautique : paramétrage des appareils	Paramétrer de manière optimale et systématique les gestionnaires d'énergie des différents appareils de bureautique (écrans, unités centrales, photocopieurs, imprimantes...).	€			
Postes informatiques	Prendre en compte le critère des consommations énergétiques lors du remplacement des ordinateurs.	€		 19	141
Bureautique : usagers	Généraliser la suppression des veilles et l'arrêt des équipements en période d'inoccupation par exemple à l'aide de barrettes multiprises avec interrupteur.	€			
Serveurs : coupure nuit et week-end	Choisir un serveur adapté et privilégier le fait de le couper ou <i>a minima</i> , le mettre en veille la nuit et le week-end.	€			
Serveurs : onduleur	Prendre en compte le fait que le choix de l'onduleur est déterminant sur les consommations de ce poste.	€			
Téléphonie	Prendre en compte le fait que la téléphonie sur IP présente une consommation énergétique supérieure à la téléphonie classique.				

Rappel : check-list non exhaustive mais établie uniquement sur la base des 14 rapports analysés.



UN POSTE DEVENU MAJEUR : LA BUREAUTIQUE ET LES SERVEURS

Compte tenu de la réduction drastique de tous les postes de consommations énergétiques « maîtrisables » lors de la conception et la construction des bâtiments performants, les postes de consommations dépendant uniquement des utilisateurs prennent des proportions considérables dans les bilans énergétiques globaux. Le premier de ces postes est **la bureautique** au sens large, comprenant les postes informatiques, la reprographie et les serveurs. En effet, alors que les consommations des autres postes ont chuté de manière importante depuis une décennie, ce poste de bureautique est en constante augmentation, du fait d'ordinateurs et de serveurs de plus en plus puissants et d'équipements de plus en plus denses, notamment au niveau de la reprographie.

Dans les trois bâtiments de bureaux visant l'énergie positive qui ont été suivis, **le poste bureautique représente environ 30% à 50% des consommations énergétiques**. Il s'agit donc bien évidemment du poste le plus important sur lequel travailler aujourd'hui. Des solutions existent, certaines ont été mises en œuvre et testées sur les opérations instrumentées, d'autres sont en cours de développement. Ces solutions de réduction tiennent bien sûr au matériel installé, mais aussi et surtout au mode de gestion du matériel.

D'une part au niveau du matériel, il convient :

- De favoriser en premier lieu l'usage et le développement **de postes informatiques portables**, car même équipés de station de travail avec un écran indépendant, ils restent bien moins consommateurs que des postes classiques. De plus, ils présentent l'avantage, grâce à leurs batteries, de permettre de se passer d'onduleurs pour les prises alimentant les postes informatiques,

Acteurs concernés : Mo - exploit - usager

- **De réduire voire supprimer la distribution de courant ondulé sur les plateaux de bureaux.** Les onduleurs alimentant ces courants représentent des consommations d'autant plus importantes que les puissances distribuées sont élevées,
- **De limiter au maximum le développement de poste de travail avec double écran**, qui se répand rapidement, ou de limiter sa durée d'utilisation aux tâches où il est réellement nécessaire (travail de métré, de saisie...),
- **De mutualiser au maximum tous les appareils de reprographie** sur des plateaux de bureaux afin de réduire le nombre d'appareils branchés qui consomment en veille en permanence,
- **De retenir des technologies de serveurs à faibles consommations énergétiques**, et de mutualiser au maximum, sinon les équipements, au moins les locaux qui les contiennent et qui sont la plupart du temps rafraîchis en permanence.

Si le choix de ces matériels est généralement non donné aux maîtres d'ouvrage, il convient de faire passer le message aux responsables des renouvellements des flottes informatiques. De plus, il existe aussi des solutions de pré-équipement des bâtiments de bureaux.

D'autre part, la gestion du matériel informatique est aussi importante que son choix, notamment la limitation, voire **l'arrêt de sa consommation en inoccupation est crucial**. En effet, de très nombreuses mesures montrent que la répartition des consommations de bureautiques sur l'année est équilibrée entre les périodes d'occupation et les périodes d'absence (nuit et week-end).

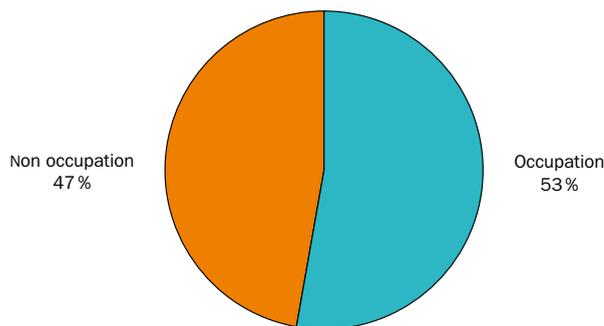


Figure 73 : ÉLECTRICITÉ SPÉCIFIQUE : RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION DU PLATEAU DU R+4 EN FONCTION DE L'OCCUPATION DES LOCAUX – source : ADEME / ENERTECH

Cela signifie que le poste le plus important des bilans énergétiques pourrait quasiment être divisé par deux sans changer le matériel, simplement en coupant sa consommation lorsqu'il n'est pas utilisé ! Plusieurs solutions envisageables pour limiter la consommation de la bureautique ont soit été mises en œuvre sur certains projets, soit sont en cours de tests :

- La présence d'une clef ou d'un interrupteur de coupure de l'alimentation électrique du réseau alimentant les postes informatiques a été mise en œuvre sur les bâtiments B3-8900m²-BEPOS-69 et B4-4500m²-BEPOS-69. Actionnée par la dernière personne quittant le plateau, cette clef coupe l'alimentation électrique de tous les circuits, hormis ceux alimentant des équipements de type serveur ou reprographie ne pouvant pas être coupés de la sorte,
- L'extinction manuelle par le dernier à partir, rendant nulles les consommations en inoccupation, ou *a minima* la mise en veille automatique, réduisant de 50 % la puissance de veille, de tous les appareils de reprographie,
- La mise en place de prises programmables sur les appareils de type fontaine à eau ou distributeurs de boissons, si ceux-ci ne sont pas branchés sur des circuits équipés de clefs de coupure.

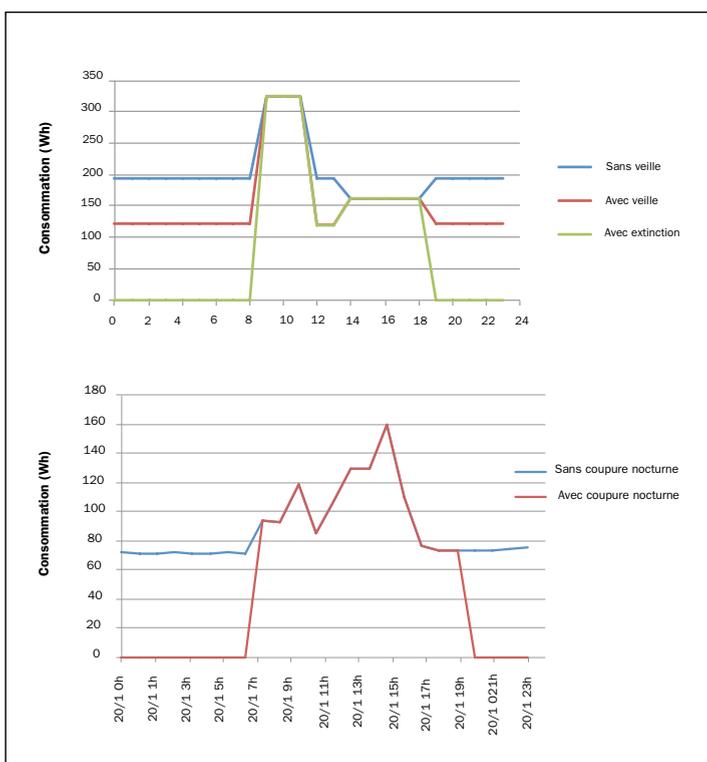


Figure 74 : EFFET SUR LES CONSOMMATIONS ÉLECTRIQUES DE LA VEILLE ET DE L'EXTINCTION DE LA REPROGRAPHIE (en haut) ET DE LA PRISE PROGRAMMABLE PLACÉE SUR LA MACHINE À CAFÉ (en bas) - source ADEME / Etamine

Zoom opération 1 : B3-8900m²-BEPOS-69

Une instrumentation fine du poste de consommation bureautique / serveur / reprographie a été menée dans le bâtiment, permettant de faire ressortir, sur chacun des 15 lots de bureaux, la consommation annuelle par salarié ainsi que la répartition par usage, visibles sur le graphique suivant :

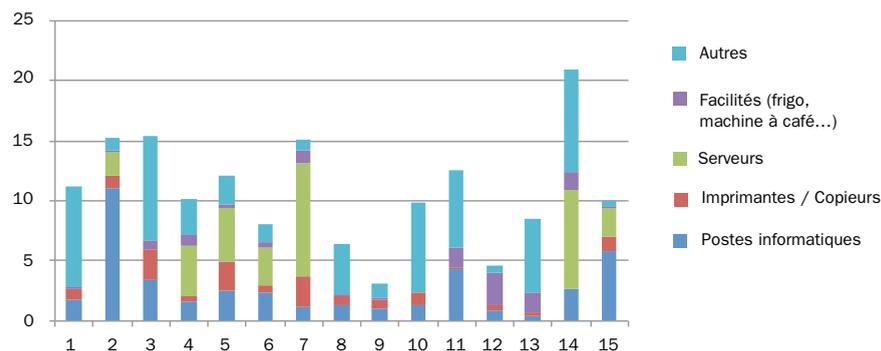


Figure 75 : RÉPARTITION DES CONSOMMATIONS PAR UTILISATEUR ET PAR LOT SUR 7 JOURS (kWh) – source ADEME / Etamine



Témoignage acteur du projet, Yannick CHAPUIS, responsable informatique, Etamine

« En accord avec le prestataire informatique externe qui assure la maintenance de notre parc informatique, nous avons mis au point une procédure de coupure automatique de notre partie « serveur » constituée d'un gestionnaire de domaine et d'un dispositif de stockage de données.

Techniquement, notre prestataire externe nous a assuré que le matériel équipant aujourd'hui les serveurs est capable de subir un arrêt et une relance par jour, sans remettre en cause sa durée de vie.

Cet arrêt nous a permis depuis plusieurs mois de réduire de 36 % la consommation énergétique de ce poste, soit 7 % de la consommation totale du plateau. »

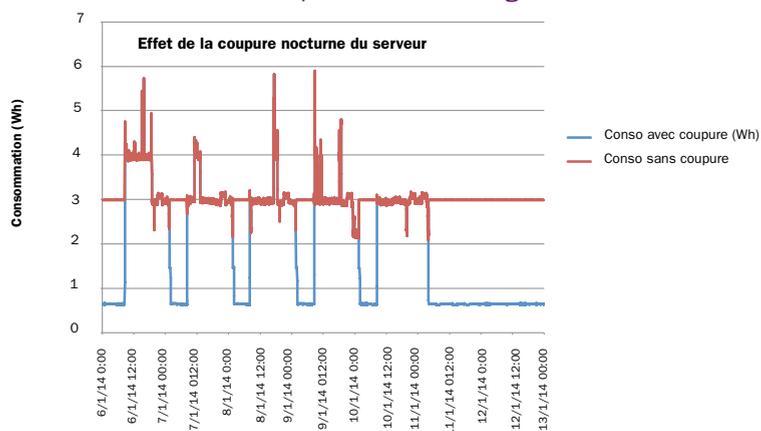


Figure 76 : EFFET DE LA COUPURE NOCTURNE DU SERVEUR SUR LES CONSOMMATIONS ÉLECTRIQUES - source ADEME / Etamine

D'un point de vue pratique, les sauvegardes automatiques quotidiennes ont été avancées de 1 h à 22 h, et le serveur s'éteint automatiquement à 2 h du matin, jusqu'à ce que le premier arrivé dans les bureaux le rallume manuellement par un simple appui sur 2 boutons power.

Témoignage acteur de la filière, Jessica BOILLLOT, chargée de projet, Toshiba, division Smart Community, fabricant de matériel électronique et informatique

« Toshiba accompagne des maîtres d'ouvrage dans la réalisation de projets très performants, pour lesquels des réflexions sont menées pour réduire les consommations des postes informatiques.

Une solution peut par exemple consister en un système de gestion de la consommation énergétique du site, sur lequel seront raccordés tous les différents appareils et équipements des plateaux : ventilation, éclairage, mais également ordinateurs, téléphones et copieurs. Grâce à différents capteurs, le système de gestion peut piloter la ventilation, l'éclairage, et coupera les postes informatiques, les téléphones et les copieurs.

En complément et de manière à maîtriser totalement les équipements utilisés dans le bâtiment, la fourniture des postes de travail, téléphones et copieurs peut être proposée aux preneurs qui le souhaitent. »



L'ascenseur est un équipement technique particulier dans un bâtiment, du fait de ses contraintes réglementaires importantes et de sa relative indépendance en termes de mise en œuvre par rapport aux autres équipements. En effet, contrairement aux équipements de type CVC, l'ascenseur ne dépend pas ou peu des autres équipements du bâtiment pour fonctionner correctement. De plus, ce poste de consommation électrique ne faisant pas partie des postes concernés par la réglementation thermique, les ascenseurs ont été pendant longtemps peu impactés par les efforts de performances énergétiques. Ce n'est plus le cas aujourd'hui et les ascensoristes sont entrés dans un objectif important de réduction des besoins électriques pour leur fonctionnement, voire de production énergétique par régénération lors des phases de freinage, ce qui conduira à terme à des ascenseurs quasiment autonomes énergétiquement.

Tous les rapports de suivi sont unanimes sur le fait **que les consommations globales des ascenseurs sont faibles par rapport aux prévisions et que celles-ci ont bien baissé depuis quelques années** (attention néanmoins, l'étude ne comporte pas d'immeubles de grande hauteur pour lesquels cette conclusion ne s'applique pas forcément). Il reste toutefois dans certains cas des dérives de consommation et il apparaît, par le biais de mesures plus détaillées sur certains projets, que ces consommations, même faibles, peuvent encore être optimisées.

Les consommations électriques moyennes des ascenseurs sur la plupart des projets instrumentés varient de **200 à 400 kWhep par logement et par an en habitat collectif, et de 2 à 3,5 kWhep/m²_{SHON} en bureaux**. Mais il peut y avoir des dysfonctionnements, comme sur un projet de crèche dans lequel la consommation élevée n'est absolument pas due au fonctionnement de l'ascenseur, qui n'a été utilisé que 8 fois dans l'année, mais à l'éclairage de la gaine (oubli de l'extinction de la lampe suite à des opérations de maintenance). En effet, les gaines d'ascenseur sont

Acteurs concernés : Moe - entrepr

équipées d'éclairage pour assurer la sécurité des opérateurs de maintenance. Toutefois, il n'est pas rare de constater que cet éclairage n'est pas coupé par inadvertance suite à ces interventions, ce qui entraîne une consommation constante indécélable si aucun suivi n'est réalisé.

Au niveau de la répartition des consommations électriques des ascenseurs, quelques projets ont été instrumentés plus finement, permettant d'identifier les consommations d'éclairage de la cabine, du moteur et des autres postes. Ces mesures plus détaillées font ressortir que dans tous les cas étudiés, **la consommation de l'éclairage de la cabine et du moteur représente environ 40 % de la consommation totale**. Or, une mesure simple et efficace pour réduire les consommations de l'éclairage de la cabine consiste à l'asservir à l'utilisation de l'ascenseur ; il est également important de prévoir en parallèle la mise en place de sources d'éclairage performantes. Par ailleurs, ces deux postes (éclairage cabine et moteur) ne consomment que lorsque l'appareil est utilisé, ce qui signifie que **les ascenseurs consomment plus de la moitié de leur électricité quand ils sont en veille, a priori** à cause des équipements de contrôle commande.

Concernant la ventilation des gaines d'ascenseur, celle-ci est assurée classiquement de manière naturelle à l'aide d'une bouche de ventilation haute en tête de gaine et éventuellement d'une bouche de ventilation basse en pied, dimensionnée généralement à 7 dm² chacune. À l'heure où tous les efforts sont faits lors de la construction des bâtiments pour les rendre les plus étanches à l'air possible et ainsi maîtriser le renouvellement d'air, **la présence de ces ouvertures non maîtrisées constitue une anomalie et surtout des déperditions thermiques importantes quand les gaines sont intégrées au volume chauffé**. Toutefois, ces pratiques évoluent actuellement au profit de solutions avec des débits de renouvellement d'air plus faibles et surtout mieux maîtrisés, permettant d'améliorer l'étanchéité à l'air des bâtis.

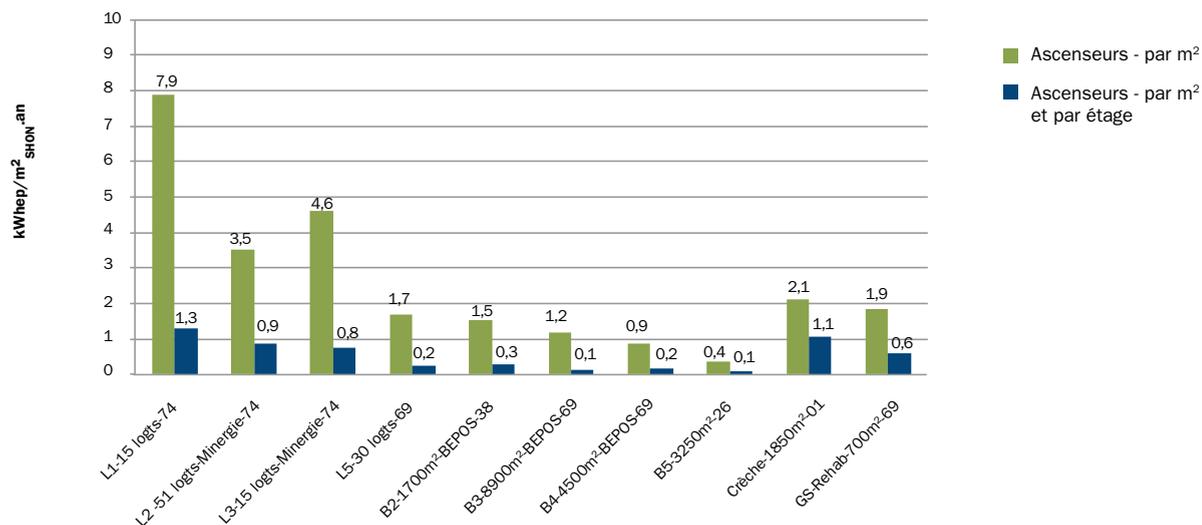


Figure 77 : RATIO DE CONSOMMATION DES ASCENSEURS DE L'ENSEMBLE DES OPÉRATIONS

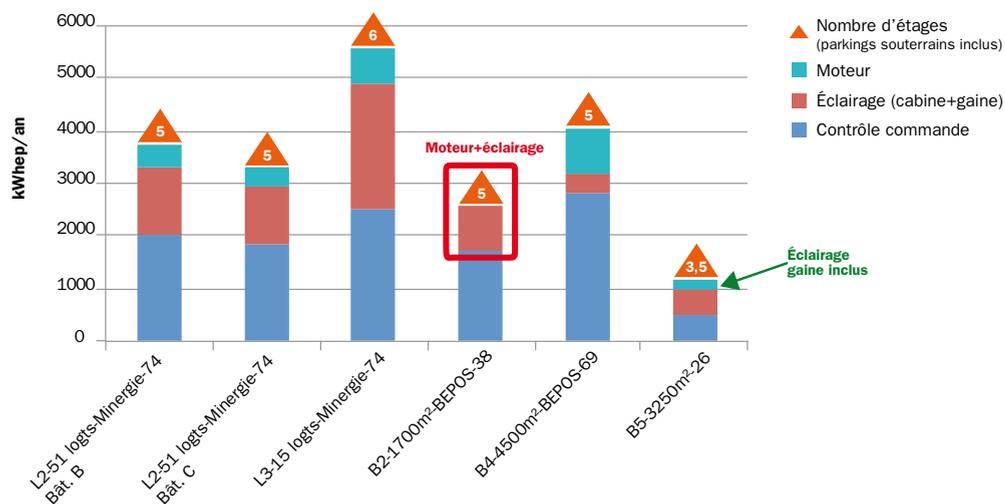


Figure 78 : RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION DES ASCENSEURS

Sur ce panel, les consommations des ascenseurs sont :

- comprises entre 0,1 et 0,3 kWh/m²_{SHON}/étage pour les bureaux
- comprises entre 0,2 et 1,3 kWh/m²_{SHON}/étage pour les logements
- égales à 0,6 (groupe scolaire) et 1,1 (crèche) kWh/m²_{SHON}/étage

Zoom opération 1 : B2-1700m²-BEPOS-38

Des mesures fines ont été mises en place sur ce bâtiment de bureaux visant l'énergie positive. Au niveau des consommations d'ascenseurs, ont été différenciées les consommations du moteur et de l'éclairage, et les consommations en veille du panneau de contrôle commande. La répartition sur une année est alors la suivante :

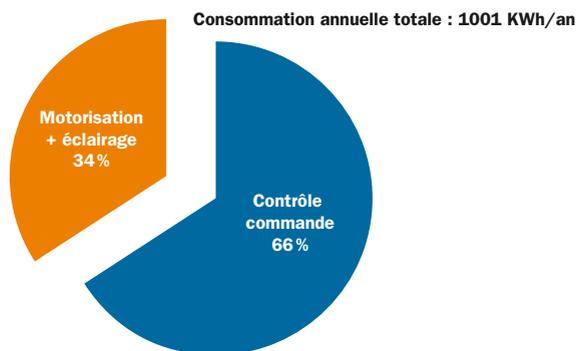


Figure 79 : RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DE L'ASCENSEUR - source ADEME / ENERTECH

Suite aux travaux menés par les ascensoristes pour réduire leurs consommations énergétiques, la part motorisation et éclairage, qui représente les consommations « utiles » de l'ascenseur, est devenue deux fois plus faible que la consommation « inutile » en veille.



Témoignage acteur de la filière, Jérôme LEMOINE, chargé d'opération, ENERTECH, bureau d'études spécialisé en énergétique appliquée aux bâtiments sur le sujet des consommations d'ascenseurs

« ENERTECH préconise aujourd'hui un asservissement de l'éclairage de la gaine d'ascenseur sur une temporisation d'un jour pour éviter que la lumière reste allumée longtemps après le départ du personnel de maintenance.

Des demandes aux fabricants et ascensoristes ont été faites pour améliorer le poste de consommation contrôle commande pendant les veilles des ascenseurs. »

Témoignage acteur de la filière, Jean-François ROMEO, responsable produits, OTIS, fabricant d'ascenseurs

Comment expliquer la baisse générale des consommations d'ascenseurs constatées dans les rapports de suivi ?

« Les stratégies d'économie d'énergie mises en place par OTIS depuis les années 2000 ont permis d'intégrer en base sur tous nos ascenseurs :

- Le remplacement des câbles métalliques par des courroies plates en polyuréthane limitant les frottements,
- L'intégration de moteurs à technologie Gearless, à faibles consommations énergétiques,
- La mise en place, sur une partie de la gamme, de roller le long des guides de l'ascenseur pour limiter les frottements et diminuer ainsi les consommations énergétiques. »

Quelles évolutions sont prévues pour réduire encore ces consommations ?

« Plus récemment, et depuis l'installation de la plupart des ascenseurs sur les projets suivis dans le cadre des appels à projets PREBAT / DEFIBAT, OTIS a intégré en base :

- Le système ReGen Drive dont le but est de régénérer l'énergie de freinage en énergie électrique grâce au moteur. Le rotor au freinage génère de l'électricité qui est envoyée dans le circuit du bâtiment,
- L'éclairage de la cabine par LED,
- La création d'un mode stand-by, qui constate l'inactivité de l'ascenseur et met en veille la plupart des composants consommateurs en énergie, ce qui permet de rendre négligeable la consommation de veille.

Dans le prolongement de ces évolutions, OTIS propose aujourd'hui un ascenseur entièrement autonome énergétiquement sur batterie, grâce à l'énergie produite au freinage et une installation photovoltaïque. »

Quelles sont les solutions préconisées par OTIS concernant la ventilation des gaines d'ascenseurs ?

« OTIS est opposé aux solutions motorisées pour fermer les clapets pour plusieurs raisons, et notamment pour des problèmes de certificat de conformité et le risque de pannes supplémentaires.

Pour le moment, OTIS propose à ses clients de traiter l'étanchéité de la gaine d'ascenseur en mettant en œuvre une extraction mécanique pour éviter les entrées et sorties d'air naturelles, soit en connectant le réseau d'extraction double flux sur la gaine soit en mettant en œuvre un extracteur spécifique à la gaine. »

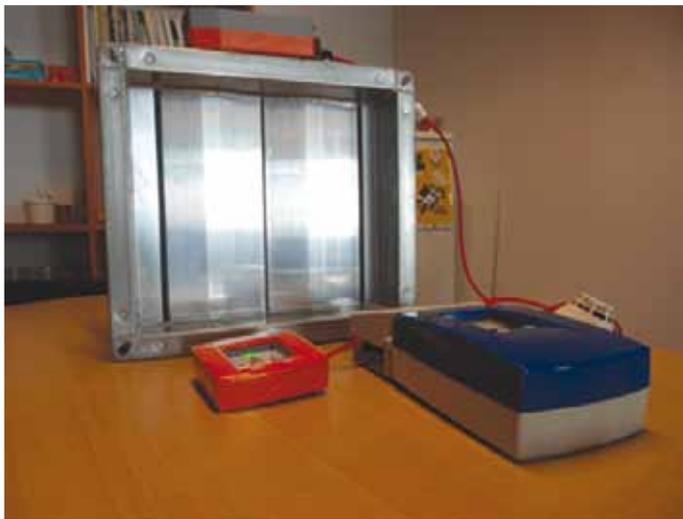


Figure 80 : CLAPET BLUEKIT® - source : Etamine

Témoignage acteur de la filière, Laurent LENOBLE, directeur export, BK-Factory, entreprise en charge de la conception, du développement et de la distribution du système BlueKit®

« Le système BlueKit® permet de continuer à ventiler naturellement les gaines d'ascenseur, mais uniquement lorsque cela est nécessaire, à l'aide d'un clapet actionné par :

- Une coupure d'électricité qui ouvre mécaniquement le clapet (moteur à ressort de rappel avec sécurité positive),
- Une détection de mouvement sur le toit de la cabine pour la maintenance,
- Une détection de personne bloquée dans l'ascenseur
- Une détection de fumée sur toute la hauteur de la gaine,
- Une température trop élevée et/ou une qualité d'air dégradée en gaine,
- Une ouverture de 3 minutes toutes les heures lorsque l'ascenseur est utilisé.

Ce système permet d'être conforme à l'ensemble des normes européennes des ascenseurs, aussi bien en ventilation de confort qu'en désenfumage, et ne remet pas en cause le certificat CE de l'ascenseur puisque ces organes sont complètement dissociés.

Ce principe peut être installé aussi bien dans les ascenseurs neufs que dans les bâtiments existants, et est rentabilisé en moins de 4 ans. »



CONFORT

CONFORT

RÉSUMÉ

La recherche de la performance énergétique du bâtiment ne doit pas se faire au détriment de la santé et du confort ainsi que de la qualité d'usage, d'accueil et d'ambiance. Cette démarche est transversale (qualité de l'air intérieur, confort hygrothermique, environnements lumineux, acoustique et électromagnétique, qualité de l'eau, etc.) et intègre une dimension sensible. Elle nécessite l'implication de l'ensemble des acteurs à toutes les phases des projets, de la programmation à l'exploitation.

Dans les rapports de suivi, l'analyse du confort comprend la satisfaction globale des occupants mais aussi spécifiquement le confort thermique d'été et d'hiver, la qualité de l'air intérieur (concentration en CO₂, émission de COV, radon) et de l'enveloppe, mais aussi ponctuellement les confort acoustique, visuel et olfactif.

Cette analyse est réalisée selon deux grandes méthodes :

- « Le confort mesuré » par des sondes de température, d'humidité, de taux de CO₂... disposées dans le bâtiment,
- « Le confort ressenti » sur la base d'enquêtes usagers.

Le confort est globalement satisfaisant dans l'ensemble des bâtiments, que celui-ci soit mesuré ou ressenti. Les points d'amélioration concernent principalement la sensibilisation des usagers et l'optimisation des installations techniques (équilibre, régulation...).

NOTA :

- La qualité de l'enveloppe qui peut impacter le confort, notamment en raison des problématiques d'effet de paroi froide et d'étanchéité à l'air, est traitée dans le chapitre « enseignements sur le chauffage »,
- La question du confort est également traitée dans le focus 6 : « l'impact de l'utilisateur sur ses consommations énergétiques et son confort ».

Confort d'hiver :

Le confort est globalement satisfaisant grâce à un traitement de l'enveloppe poussé (étanchéité à l'air, continuité de l'isolation) associé à des dispositifs bioclimatiques (atrium, véranda...) et à des équipements de chauffage et de ventilation.

Néanmoins, la température de consigne en hiver est toujours supérieure à 19°C (limite supérieure de température de chauffage, d'après l'article R131-20 du Code de la construction et de l'habitation), pouvant même aller jusqu'à 24,6°C pour une des opérations analysées.

Ces températures de consigne élevées résultent généralement de dérives comportementales, mais sur certaines opérations, les dysfonctionnements des installations dus à un mauvais équilibrage ou une mauvaise régulation (surdimensionnement, non prise en compte de l'inoccupation et des apports internes...) ont pu entraîner des dérives de la température intérieure.

À noter que la seule opération « vertueuse » (GS-Rehab-700m²-69) qui affiche une température moyenne de 19,4°C présente en réalité des problèmes de sous-dimensionnement des émetteurs et/ou de régulation terminale, ayant pour conséquence des débuts de journées très froids et donc un inconfort ressenti par les habitants.

Il est aussi à souligner que de grandes disparités peuvent être observées entre les espaces mesurés, dues à des différences de traitement de l'enveloppe ou d'occupation, et les valeurs moyennes de température peuvent cacher des températures très élevées contrecarrant les valeurs très faibles des locaux non utilisés. Sur certaines opérations, la forte inertie permet au contraire d'obtenir des températures homogènes sur l'ensemble du bâtiment.

Confort d'été :

La stratégie pour assurer le confort d'été de manière passive, ou pour réduire les consommations de rafraîchissement, est basée sur quatre principes :

- Une maîtrise des apports solaires, par une utilisation avisée des occultations,
- La limitation des apports internes, principalement des appareils électriques,
- Une forte inertie thermique, afin de différer les apports de chaud ou de froid dans la journée,
- Un rafraîchissement nocturne, qu'il soit mécanique ou naturel.

Sur les bâtiments suivis, peu de problèmes d'inconfort d'été sont rencontrés mais ce confort pourrait être amélioré grâce à une utilisation optimisée des dispositifs mis en place : meilleure gestion de l'ouverture des fenêtres, utilisation systématique des protections solaires, application effective de la (sur)ventilation nocturne, limitation des apports internes... Cela passe donc par une implication renforcée des usagers et un réglage optimisé des installations (reprogrammation des automates...).

Qualité de l'air intérieur :

■ Taux de CO₂ :

La qualité de l'air intérieur a surtout été étudiée *via* la mesure du taux de CO₂ dans les locaux. Celui-ci est globalement satisfaisant sur toutes les opérations à l'exception des deux opérations accueillant de jeunes enfants (GS-Rehab-700m²-69, Crèche-1850m²-01). Voici les analyses mises en avant par les bureaux d'études en charge des suivis :

GS-Rehab-700m²-69 : « *En ne considérant que la saison de chauffe (les fenêtres sont supposées être fermées), le seuil de 1300 ppm imposé par le règlement sanitaire départemental type est dépassé 56,4 % du temps d'occupation pour le CP, 41,1 % du temps d'occupation pour le CM1/CM2. Les concentrations en CO₂ atteintes sont très importantes. Dans la classe CM1/CM2, pour une semaine de septembre, le taux atteint 3000 ppm en début de semaine lorsque la ventilation est arrêtée. Même lorsqu'elle fonctionne et que les élèves sont présents, le taux reste très élevé (supérieur à 1000 ppm).*

Cela est dû à un dysfonctionnement de la ventilation. En effet, le débit d'extraction ramené au nombre de personnes présentes dans le bâtiment en période d'occupation vaut 10,2 m³/h.pers, soit plus de 30 % inférieurs à ce qu'impose le règlement sanitaire départemental type pour une école primaire (15 m³/h.pers). »

Le bureau d'études en charge du suivi s'interroge également sur la qualité de la distribution de l'air, puisque les locaux sont de grande taille et l'air est soufflé et repris au niveau du plafond. Le brassage de l'ensemble du volume n'est alors sûrement pas optimal.

(Voir Figure 81, page suivante).

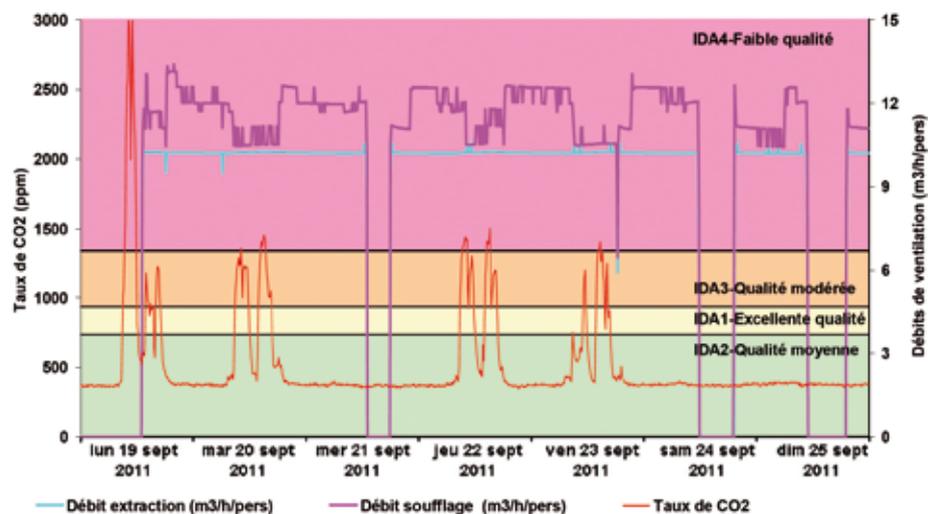


Figure 81 : ÉVOLUTION DES TAUX DE CO₂ ET DES DÉBITS DE VENTILATION DANS UNE CLASSE SUR UNE SEMAINE – source ADEME / ENERTECH

Crèche-1850m²-01 : la concentration en CO₂ relevée dans les différentes salles est globalement satisfaisante (taux moyen de CO₂ en occupation hiver sur la crèche de 934 ppm) mais les débits d'air imposés par le règlement sanitaire départemental type ne sont pas respectés. En effet, le bureau d'études ayant fait des mesures sur la crèche a calculé un taux de renouvellement d'air d'environ 0,5 vol/h (dont 0,08 dû aux infiltrations d'air). Le règlement sanitaire départemental type impose un débit de 15 m³/h.personne, ce qui correspondrait pour le local analysé à un taux de renouvellement d'air de 2,7 vol/h, soit 6 fois plus que la valeur actuelle.

■ Émission de COV :

Seule une opération a été instrumentée pour mesurer les émissions de composés organiques volatils (B6-700m²-BBC-74). Cette analyse sur un bureau type met en évidence trois remarques formulées par le bureau d'études :

- Une baisse des niveaux de COV apparaît lors de la mise en marche de la ventilation grâce à l'amenée d'air neuf,
- La coupure de la CTA lors de la pause de midi n'entraîne pas une augmentation importante de la teneur en COV dans le bureau,
- Un pic de COV apparaît en fin de deuxième journée vers 21h30, il correspond à l'activité de nettoyage du bureau et donc à l'utilisation de produits ménagers.

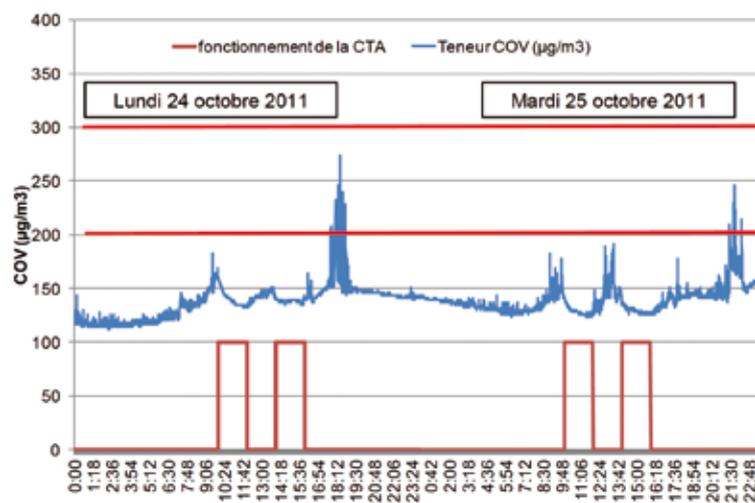


Figure 82 : ÉVOLUTION DE LA TENEUR EN COV DANS UN BUREAU - source ADEME / MANASLU

Le bureau d'études précise tout de même que l'analyse des COV nécessiterait de pratiquer un échantillonnage sur les bureaux afin de pouvoir conclure de l'impact des taux relevés sur la santé.

■ Concentration en radon

La concentration en radon est évaluée dans 5 rapports. Celle-ci est toujours satisfaisante, à l'exception de l'opération GS-Rehab-700m²-69 où les concentrations sont comprises entre 106 et 605 Bq/m³.

Deux pièces présentent un niveau de radon supérieur au seuil réglementaire d'action dans les bâtiments existants de 400 Bq/m³ : la bibliothèque (558 Bq/m³) et la salle de classe située au RDC (605 Bq/m³). Pour ces 2 espaces, le bureau d'études en charge du suivi préconise que des actions correctives soient mises en œuvre (exemple : augmenter les débits de ventilation).



Témoignage acteur de la filière, Soline COLLIN, chargée de missions, Ville et Aménagement Durable

« La qualité de l'air intérieur est un enjeu de santé publique. La stratégie de prévention repose sur :

- La réduction des émissions à la source (qualité de l'air extérieur, caractéristiques des produits de construction et de finition, des systèmes et des équipements),
- L'évacuation des polluants par un renouvellement de l'air adapté aux besoins des occupants et la prévention des dysfonctionnements des systèmes de ventilation (le confinement est un bon indicateur de l'efficacité du renouvellement de l'air),
- L'accompagnement des usagers (activités, ameublement, entretien, maintenance).

Les polluants rencontrés dans les bâtiments peuvent être physiques (particules, radon...), chimiques (composés organiques volatils et semi-volatils, NO₂, CO, pesticides, ozone...) et / ou biologiques (moisissures, acariens...).

Leurs effets sur la santé dépendent du type de polluant, mais aussi de l'exposition (concentration, durée d'exposition, fréquence...) et de la sensibilité individuelle. »

Remarques

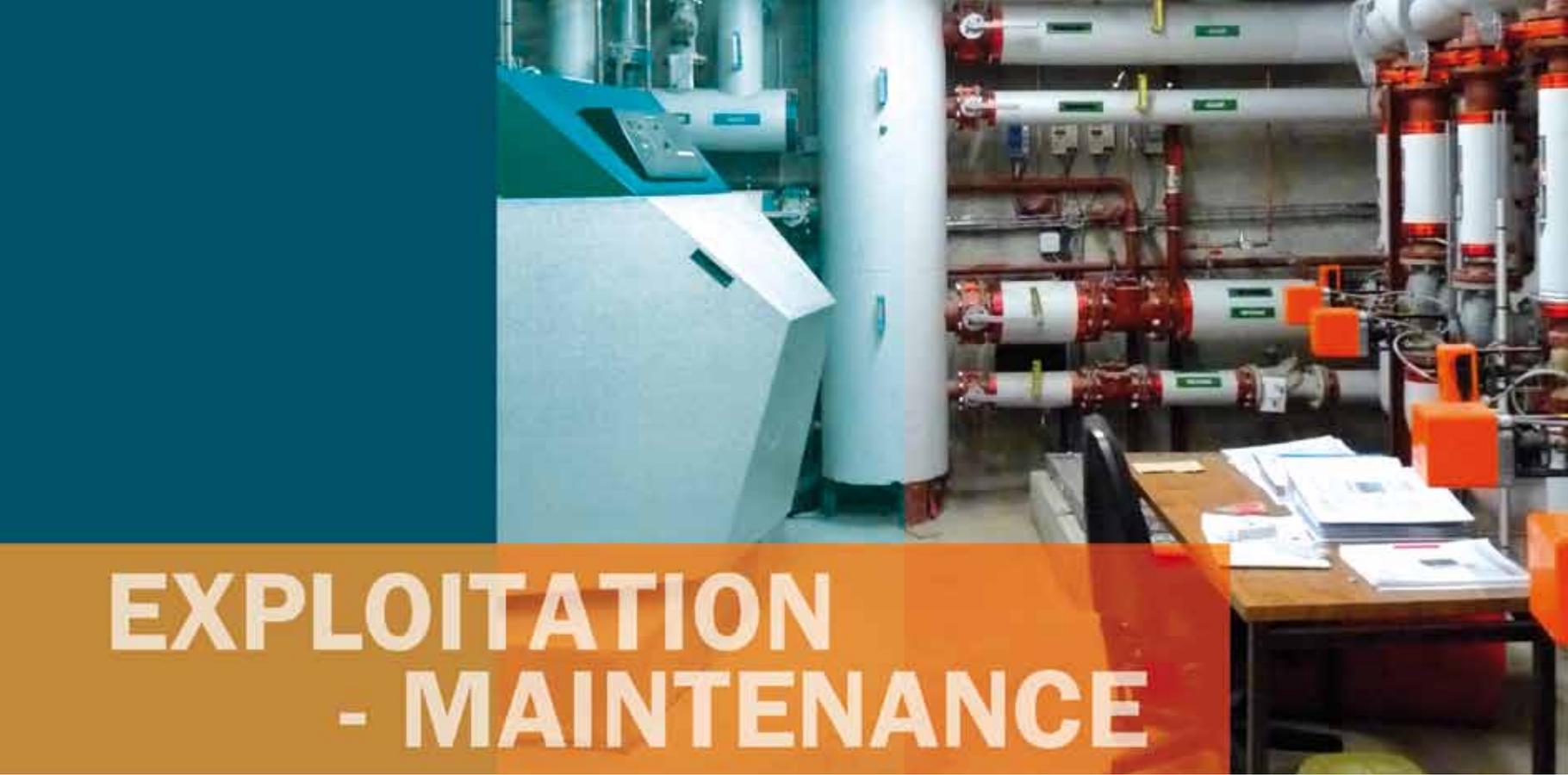
D'autres inconforts sont ponctuellement relevés lorsque les utilisateurs sont questionnés :

- Gêne thermique au niveau des entrées d'air de la ventilation simple flux hygroréglable sur l'opération L1-15 logts-74. Plusieurs habitants ont colmaté leurs bouches d'entrée d'air afin d'éviter une arrivée directe d'air froid. Les débits de ventilation seraient excessifs d'après le bureau d'études et une vérification des débits a été préconisée avec potentiellement une adaptation de l'extracteur. Par ailleurs, cet inconfort peut être facilement résolu en conception grâce au choix du type de bouche et à son emplacement,
- Gêne visuelle sur B1-550m²-26, où les occupants doivent abaisser les stores toiles extérieurs en été pour se protéger de l'éblouissement du soleil, et sont donc obligés d'allumer l'éclairage artificiel de leur bureau. Cet inconfort est donc lié à un choix de protection solaire peu adapté pour gérer en même temps les apports solaires et l'éclairage naturel,
- Gêne acoustique pour les personnes interrogées de l'opération B3-8900m²-BEPOS-69, en particulier en raison des bruits provenant des pièces mitoyennes. En cause : un cloisonnement peu acoustique et l'absence de faux plafond pour laisser l'accès à la dalle active. La solution a été de rajouter des baffles acoustiques.

Pour aller plus loin :

- Dossier « Prendre en compte et accompagner les usagers sur les enjeux de santé dans le bâti », VAD, 2015 (www.ville-amenagement-durable.org)
- Dossier « Réception et qualité d'air intérieur des bâtiments », VAD, 2014 (www.ville-amenagement-durable.org)





EXPLOITATION - MAINTENANCE

EXPLOITATION - MAINTENANCE

RÉSUMÉ

Pour qu'un bâtiment soit performant sur la durée, il est indispensable que les besoins et problématiques d'exploitation aient été pris en compte dès la conception.

Pour ce faire, plusieurs leviers existent dont le comissionnement. Cette mission regroupe l'ensemble des tâches permettant de mener à terme une installation neuve, ou lourdement rénovée, afin qu'elle atteigne le niveau des performances contractuelles et créer les conditions pour les maintenir. Elle comprend la mise à disposition aux clients et/ou usagers de la documentation et des instructions d'utilisation

et de maintenance, incluant l'initiation ou même la formation des intervenants. Elle est notamment indispensable sur les projets de grande envergure, qui impliquent de nombreux acteurs sur des laps de temps importants.

Pour une performance durable, il faut aussi que le bâtiment ne soit pas sur-instrumenté ou trop sophistiqué, au risque de ne pouvoir être correctement exploité faute de données fiables ou encore de gestion optimisée. Adapter le bâtiment et ses systèmes aux conditions de son exploitation future est donc primordial.



UN EXPLOITANT IMPLIQUÉ ET RESPONSABILISÉ, UN GAGE DE PERFORMANCE

Acteurs concernés : Mo - exploit

Le constat actuel est que l'évolution technique des bâtiments n'a pas été suivie par l'évolution contractuelle des missions d'exploitation. Or, pour assurer un bon fonctionnement de ces bâtiments très équipés, très instrumentés et dont on attend une bonne performance aussi bien en consommation qu'en confort, **il est nécessaire de faire évoluer le rôle et l'implication de l'exploitant.**

Il va sans dire que l'implication de l'exploitant est primordiale pour la réussite d'un projet de performance énergétique sur le long terme. Cette implication se fait en trois temps : avant l'exploitation du bâtiment, au commencement de son exploitation et pendant son exploitation.

Premièrement, s'il est bénéfique pour l'ensemble des acteurs du projet que le futur exploitant (ou un spécialiste de l'exploitation) soit intégré au projet au plus tôt (fin d'APD), cette implication avant-exploitation est loin d'être systématique et mérite d'être généralisée.

Deuxièmement, bien que les premières années d'un bâtiment soient primordiales, souvent les plus critiques et nécessitant une attention particulière, elles ne sont pas suffisamment mises en valeur dans les contrats d'exploitation. Une clause spécifique pour les 3 premières années est donc à encourager.

Enfin, pour avoir un partenariat sain et productif sur la durée entre maître d'ouvrage et exploitant, il est préférable de favoriser :

- **Les contrats de longue durée.** Un contrat de 3 ans ou moins permet tout juste à l'exploitant de s'approprier le bâtiment, d'en connaître les caractéristiques techniques, de débogger si nécessaire certains fonctionnements et d'entamer une optimisation de la performance énergétique et du confort des usagers. À la fin de cette période, alors que l'exploitant a enfin le retour permettant la maîtrise du site et qu'une consommation de référence est disponible, changer de prestataire représente une perte d'efficacité aux dépens de la performance énergétique,

- **Les contrats multi-fluides.** La performance énergétique est sensible à toutes les énergies du bâtiment permettant la production de chaleur, de froid, et la fourniture d'électricité spécifique. De plus, certains équipements combinent plusieurs usages et utilisent différents fluides. Afin d'optimiser la conduite et l'exploitation des installations techniques, il est donc souvent plus efficace que l'ensemble des installations soit géré par le même prestataire,
- **Les contrats avec intéressement / garantie de résultat.** Ce type de contrat est gagnant-gagnant et permet de sensibiliser le prestataire aux économies d'énergie,
- **Une clause dédiée à la conception / construction et aux premières années.** Le travail à fournir par l'exploitant étant différent en début de vie du bâtiment qu'au cours de tout le reste de sa vie, il est dans l'intérêt de tous les acteurs de le différencier contractuellement,
- **Les contrats exhaustifs,** énumérant chaque matériel à maintenir. Étant donné la complexification des bâtiments, l'interaction entre les équipements et l'organisation des travaux en lots dissociés, il est nécessaire de lister précisément les équipements concernés par chaque contrat, y compris le contrat d'exploitation afin qu'il n'y ait pas d'oubli, surtout au niveau des systèmes nouveaux et méconnus et donc souvent mis de côté.

Zoom opération 1 : B5-3250m²-26

Tout au long d'un hiver, le puits climatique a fonctionné à contretemps : l'air passait dans le puits la nuit alors que la CTA était arrêtée et le puits était bypassé la journée alors que c'était en journée qu'il fallait préchauffer ou rafraîchir l'air neuf. Ce fonctionnement, totalement contre-productif, est apparu au cours de l'exploitation (les réglages de l'automate en charge de sélectionner la provenance de l'air neuf étaient corrects à la livraison du bâtiment). De plus, il n'a été détecté qu'après plusieurs mois car la batterie de préchauffage de la CTA comblait l'apport d'énergie manquant.

Il est inévitable que des dérèglements aient lieu au cours de la vie des équipements, mais afin d'y remédier rapidement et de prévenir toute dérive, il est primordial que la mission de l'exploitant couvre bien tous les équipements et que les documents techniques soient disponibles. Il revient alors à l'exploitant d'assurer le bon fonctionnement de ces équipements et de se justifier le cas échéant.

La mise en place d'un « carnet de suivi » du bâtiment est un bon moyen d'optimiser l'exploitation, comme mentionné dans le dossier « De la conception à l'exploitation : comment assurer une mémoire du bâtiment et optimiser son fonctionnement ? »¹¹ de VAD.

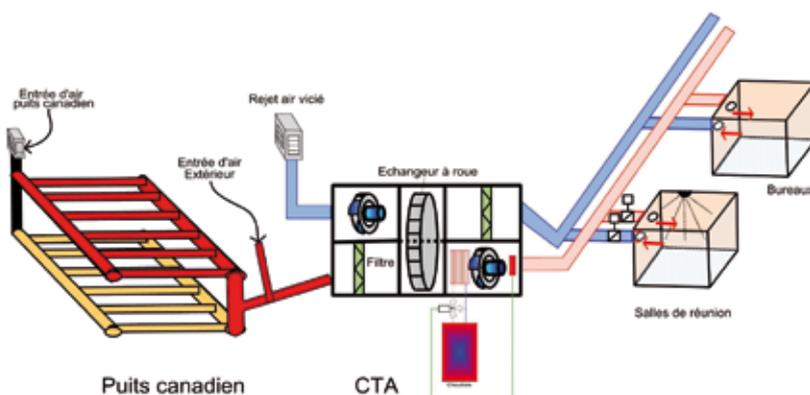


Figure 83 : SYNOPTIQUE DE L'INSTALLATION DE RENOUVELLEMENT D'AIR DES BUREAUX – source ADEME / ENERTECH



¹¹ Disponible sur www.ville-amenagement-durable.org



Les bâtiments performants sont souvent très équipés et très instrumentés. Si la technologie permet de faire d'importants progrès, notamment en termes d'efficacité énergétique, elle peut aussi être contre-productive et devenir un vrai casse-tête aussi bien en conception, en installation, qu'en exploitation.

Il est donc primordial d'adapter la complexité du bâtiment à son usage et au client. En effet, l'école d'une petite ville ne pourra pas être suivie de la même façon qu'un bâtiment tertiaire dans une grande ville. Il est parfois préférable de privilégier un matériel simple mais bien installé et bien exploité à un système innovant complexe qui peut s'avérer inadapté, mal réglé et mal exploité.

De nombreux retours d'expériences sont maintenant disponibles et sur lesquels il est possible de s'appuyer afin de faire les bons choix en conception.

Acteurs concernés : Pr - Mo - Moe



Témoignage acteur de la filière, Mariane GOCZKOWSKI, ingénieur recherche, Cylergie ENGIE Lab

« La multiplication de systèmes énergétiques dans un même bâtiment rend plus complexes et plus fréquentes leurs interactions ; aussi bien en conception qu'en exploitation, il faut bien étudier les asservissements des systèmes entre eux afin de rendre cohérents leurs fonctionnements. Par exemple, les pompes du circuit hydraulique de la batterie chaude d'une CTA restent souvent en fonctionnement alors que la CTA est à l'arrêt, ce qui est inutile (sauf en cas de gel).

Les systèmes énergétiques sont de plus en plus complexes. Il ne faut donc pas sous-estimer l'importance d'une présentation / formation du système par l'installateur ou le fabricant (régulations des CTAs ou GTB par exemple).

Enfin, les bâtiments innovants contiennent souvent des systèmes énergétiques nouveaux ou peu communs ; bien que parfois « à la marge », ces systèmes ne doivent pas être négligés car ils font partie intégrante du fonctionnement CVC du bâtiment et pourraient engendrer des dysfonctionnements (puits climatique, bac de récupération d'eau de pluie...). »



DES DONNÉES OUI, MAIS DES DONNÉES SUIVIES ET FIABLES !

L'instrumentation d'un bâtiment dans l'optique d'un suivi des consommations et /ou d'une gestion plus précise des installations techniques (optimisation, réglages) permet aux gestionnaires, grâce à une observation fine, de vérifier l'efficacité énergétique de son patrimoine et d'établir des plans d'action de réduction des consommations, tout en assurant aux usagers un cadre de vie agréable.

De plus en plus de bâtiments performants font l'objet d'un suivi des consommations et des équipements. Malgré le coût que représentent les dispositifs de suivi, la bonne utilisation de ces outils permet de réaliser d'importantes économies d'énergie et d'être réactif sur les pannes et la maintenance, en identifiant rapidement les problèmes grâce aux alarmes pour les pannes de systèmes. Néanmoins, il est important de s'assurer que les données relevées sont conformes à la réalité.

Zoom opération B3-8900m²-BEPOS-69

Sur ce bâtiment tertiaire visant l'énergie positive, le suivi et l'analyse ont été réalisés dès le démarrage de l'exploitation et tout au long de la première année de fonctionnement. Les consommations ont été suivies en temps réel tout au long de l'année avec le maître d'ouvrage, les utilisateurs et l'exploitant, pour corriger au fur et à mesure ce qui pouvait l'être. En complément de ces analyses au fil de l'eau des consommations réelles, un groupe de pilotage énergétique du bâtiment a été mis en place et réuni de façon mensuelle.

Cette phase de suivi a notamment permis de faire ressortir rapidement et efficacement les nombreux défauts de comptage, de mesure et de rapatriement, afin de les corriger au plus vite sans attendre la fin de la première année.

Acteurs concernés : Mo – Moe - entrepr - exploit

Défauts rencontrés :

- Inversions dans les raccordements entre les mesureurs et la GTC,
- Compteurs non raccordés,
- Erreur de nom de fichier retranscrivant les données mesurées et enregistrées (fichier CSV),
- Poids d'impulsion des compteurs électriques erronés,
- Problèmes de sondes de température (valeurs incohérentes),
- Position variable de la sonde de température extérieure entraînant des données peu fiables,
- Poids d'impulsion des compteurs thermiques trop élevés et compteurs en dessous de leur débit minimum technique,
- Compteurs supplémentaires non remontés sur la GTC,
- Décalage d'enregistrement sur la base de données GTC,
- Incompatibilité des langages de communication,
- Fiabilité médiocre des débitmètres sur CTA,
- Compteurs des concessionnaires non communicants,
- Données manquantes ou fausses sur la base de données.

Pour aller plus loin :

- Guide « *L'instrumentation des bâtiments en vue du suivi de leurs performances énergétiques* », ADEME, 2015 (<http://www.rhone-alpes.ademe.fr>)
- Guide « *Suivi et Instrumentation des Bâtiments performants* », Effinergie, Envirobat Méditerranée, 2013 (www.enviroboite.net et www.effinergie.org)
- Dossier « *Retours d'expériences sur 21 bâtiments performants de la région Rhône-Alpes* » (Zoom sur l'instrumentation, suivi et gestion des bâtiments), VAD, 2013 (www.ville-amenagement-durable.org)
- Dossier « *De la conception à l'exploitation : comment assurer une mémoire du bâtiment et optimiser son fonctionnement ?* », VAD, 2013 (www.ville-amenagement-durable.org)

ANNEXES

ANNEXE 1

CARACTÉRISTIQUES DES PROJETS

P 162

Ce tableau vise à donner au lecteur des clefs de compréhension tout au long de la lecture du rapport. Pour accéder aux rapports complets, contactez l'ADEME Rhône-Alpes.

ANNEXE 2

CAPITALISATION DE 250 BÂTIMENTS LAURÉATS PREBAT DU PROGRAMME « BÂTIMENTS DÉMONSTRATEURS » INSTRUMENTÉS À L'ÉCHELLE NATIONALE

P 164

Opération	Livraison	Période de mesure (année 1)	Surface (m ² _{SHON})	Enveloppe				Chauffage		
				Murs extérieurs	Vitrage	Ubat (W/m ² .K)	Q4Pa surf (m ³ /h/m ²)	Type	Puissance (KW)	Émissions de chaleur
L1-15 logts-74	2006	déc08 nov09	1321	Béton + ITE 10 cm PSE	DV Châssis PVC	NC	0,43	Chaudière gaz condensation	116	Radiateurs
L2-51 logts Minergie-74	2010	sept10 sept11	4081	Béton + ITE 16 cm PSE	DV Châssis PVC	0,57	0,36	Chaudière bois + gaz basse température	220 (bois) 300 (gaz)	Radiateurs
L3-15 logts Minergie-74	2009	nov09 nov10	1213	Béton + ITE 16 cm PSE	DV Châssis PVC	0,51	0,76	Chaudière gaz condensation	80	Radiateurs
L4-4 logts BBC2005-26	2010	oct10 sept11	410	Agro-structure béton + ITE 20 cm PSE	DV ou TV châssis bois	0,41	0,26	PAC sur nappe	12	Radiateurs
L5-30 logts-69	2010	juill10 juill11	3 115	Béton + ITE 15 cm PSE	DV châssis PVC	0,45	0,52	Réseau de chaleur urbain	102	Radiateurs
L6-16 logts-38	2010	janv12 déc12	1490	Bois-béton + 12 cm + 5 cm LV	DV châssis PVC	0,6	0,73	Chaudière gaz condensation + solaire	NC	Radiateurs
B1-550m²-26	2006	sept08 août09	546	Monomur 37,5 cm	DV châssis bois	NC	0,57	Chaufferie gaz détachée	NC	Radiateurs
B2-1700m² BEPOS-38	2010	sept10 sept11	1685	Béton + ITE 18 cm PS	TV châssis bois-alu	0,31	1,47	PAC sur nappe	31	Soufflage avec batteries
B3-8900m² BEPOS-69	2011	fév12 janv13	8889	Panneau 17 cm laine minérale + ITE 5 cm LV	TV châssis alu	0,64	0,58	Cogénération huile végétale Chaudière granulé de bois Chaudières gaz appoint/secours	50 thermique 32 électrique (cogénération) 3 x 32 (bois) 600 (gaz)	Dalles actives
B4-4500m² BEPOS-69	2009	juill10 juill11	4499	Béton + ITE PSE 20 cm	TV châssis bois-alu	0,35	5,97	PAC géothermique horizontale Convecteurs d'appoint	87 (PAC)	Plancher chauffant/ rafraîchissant Batterie chaude/ froide
B5-3250m²-26	2006	sept08 sept09	3239	Monomur 49 cm	DV châssis bois	0,45	1,3	Chaudière gaz condensation	150 (gaz)	Radiateurs Batteries chaudes Batteries froides
B6-700m²-BBC-74	2009	oct09 sept10	699	Béton + ITE PSE 20 cm ou zinc + 8 cm polyuréthane	DV châssis bois et alu	0,68	1,65	PAC géothermique sur sondes verti- cales	NC	Faux plafonds rayonnants
Crèche-1850m²-01	2008	mai09 avril10	1847	Monomur 37,5 cm + 16 cm ouate de cellulose	DV châssis bois	0,46	0,48	Chaudière gaz condensation	129	Plancher chauffant
GS-Rehab-700m²-69	2010	nov10 nov11	710	Béton + ITE laine de roche	DV châssis bois	NC	1,92	Chaudière granulé de bois	30	Radiateurs ventilo convecteur, plan- chers chauffants

Ventilation (pièces)	Refroidissement	ECS			Éclairage (Système et régulation)				Photovoltaïque (surface - puissance)
Type	Type	Type	Système (Centralisé / individuel)	Solaire thermique (m ²)	Bureaux / Logements Salle de classe	Circulations	Extérieur	Parking	
Simple flux hydro		Chaudière gaz condensation	Centralisé avec ECS solaire	30	NC	NC + détecteurs de présence	NC	NC + détecteurs de présence	
Double flux		Chaudière bois (hiver), gaz (été) avec préparateur semi-instantané	Centralisé par bâtiment		NC	Lampes à incandescence + détecteurs de présence	NC	Tubes T8 + détecteurs de présence	
Double flux		Chaudière gaz	Centralisé avec ECS solaire	35	Lampes fluocompactes + interrupteurs	Lampes à incandescence + détecteurs de présence	NC	Ampoules à incandescence et tubes T8	
Double flux		PAC + appoint électrique	Centralisé avec ECS solaire	6,9	NC	Luminaires L5 et L6 + minuterie	Projecteur + détecteur de présence avec sonde crépusculaire		
Double flux		Réseau de chaleur urbain	Centralisé	44,4	Lampes fluocompactes	Lampes fluocompactes + minuterie	Lampe Sodium Haute pression	Tubes T5 + détecteur de présence	67 m ² 9,1 KWc
Double flux		Chaudière gaz	Centralisé	60	NC	Lampes à incandescence	NC		
Simple flux		Cumulus électriques	Individuel		Néons + interrupteurs	Lampes basse consommation + détecteurs de présence	NC		70 m ² 8,4 KWc
Double flux	Freecooling sur nappe				Tubes T5 + détecteurs de présence et cellules de luminosité	NC + détecteurs de présence	NC + détecteur crépusculaire et horloge		420 m ²
Double flux Sanitaires : simple flux	Freecooling sur nappe	Cumulus électriques	Individuel		Mâts d'éclairage mobile + détecteurs de présence et gradation	Tubes T5 iodure métallique + détecteurs de présence et sondes de luminosité	Profilé lumineux / lampes fluocompactes + détecteurs de présence et sondes de luminosité	Tubes fluocompactes	1600 m ²
Bureaux et salles de formation : double flux Cafétérias : simple flux bi-débits Parking : 2 caissons	PAC géothermique horizontale + groupe froid (salles de formations)	Chauffe-eau électrique et thermodynamique	Individuel		Tubes T5 et lampes de bureaux + interrupteurs radiocommandés sans fil et gradation ponctuellement	NC	NC + horloge hebdomadaire et détecteur crépusculaire	Tubes T5 + détecteur	1380 m ² 163 KWc
Bureaux et salles réunion : double flux Salle de conférence et salle exposition : double flux sans récup. Laboratoires : simple flux Puits canadien	Groupe froid	Chauffe-eau électrique	Individuel		Tubes T5 avec ballasts électro + interrupteur et gradation ponctuellement et lampes de bureaux	NC + détecteurs de présence	Sodiums	Sodiums + horloge	20 m ²
Double flux	PAC sondes géothermiques	Chauffe-eau électrique	Centralisé		Luminaires sur pied + détecteurs de présence et lampes de bureaux à LED	Spots à LED + interrupteurs	NC		91,2 m ² 12 KWc
Simple flux débit variable Puits canadien		Cumulus électriques	Individuel		Tubes T5 + détecteurs de présence / luminosité, interrupteurs, gradateurs manuels ponctuellement	NC + détecteurs de présence et cellule crépusculaire	NC + détecteur crépusculaire et fonctionne toute la nuit		8,2 KWc
Double flux Sanitaires : simple flux		Cumulus électriques	Centralisés		Luminaires 14 W + interrupteurs	NC + détecteurs de présence	NC + interrupteur crépusculaire avec minuterie		

ANNEXE 2

CAPITALISATION DE 250 BÂTIMENTS LAURÉATS PREBAT DU PROGRAMME « BÂTIMENTS DÉMONSTRATEURS » INSTRUMENTÉS À L'ÉCHELLE NATIONALE

La direction technique Territoires et ville du Cerema a été missionnée par l'ADEME et la Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature (DGALN) du ministère du Développement durable pour assurer la capitalisation pour l'opérationnel de près de 250 bâtiments lauréats PREBAT du programme « Bâtiments démonstrateurs » instrumentés à l'échelle nationale. Pour les deux tiers des opérations suivies par les directions territoriales du Cerema, les évaluations et leur capitalisation disposent d'apports supplémentaires. **La performance d'isolation de l'enveloppe du bâtiment est caractérisée par la mesure**, et enquêtes auprès des utilisateurs, selon une méthode d'équilibre des flux. **Des explications quantifiées sur les écarts de consommation**

sont données par comparaison des mesures de consommation par rapport à leur valeur recalculée avec les algorithmes de calcul de la RT2005 dans les conditions mesurées ou observées du climat et de l'occupation. **Les effets sur les consommations des variations du climat, de l'occupation et des performances de l'enveloppe et des installations techniques sont également quantifiés.**

Les rapports de capitalisation annuels seront mis en ligne sur le site internet du Cerema dans sa rubrique sur l'action de capitalisation PREBAT (<http://www.territoires-ville.cerema.fr/prebat-a608.html>).



