

POTENTIEL D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE DANS LE FONCTIONNEMENT DES IMMEUBLES DE BUREAUX



oct. 2014

Synthèse de résultats d'audits énergétiques

2^{ème} opus : audits avec instrumentation

REMERCIEMENTS

En travaillant sur ces données, nous avons avant tout envie de remercier tous ceux avec qui nous avons travaillé en réalisant ces études. Un grand merci, donc, aux gestionnaires, aux inspecteurs techniques, aux mainteneurs, aux responsables de sites, aux gardiens, aux utilisateurs et aux usagers qui nous ouvrent leurs portes, leurs armoires, leurs faux-plafonds et leurs gaines pour la réalisation des audits.

Nous tenons également à remercier les contributeurs qui ont enrichi ce document de leur expérience. Nous avons lu avec intérêt vos retours sur la version technique de ce document. Ils nous ont apporté d'autres éclairages, et nous ont donné envie de poursuivre l'aventure, avec de nouveaux sujets à traiter. Nous vous remercions pour la qualité de vos contributions. Nous sommes heureux de pouvoir en faire profiter les lecteurs du présent document.

Enfin, bravo à Paul, Pierre et Simon, principaux producteurs de cette étude en interne, qu'ils soient remerciés de la passion avec laquelle ils se sont plongés dans nos données pour en extraire des conclusions utiles à tous.

PRÉFACE

Notre pays s'est doté des objectifs ambitieux de réduction de la consommation énergétique de ses bâtiments. Secteur économique le plus énergivore, le parc immobilier se situe au cœur de la politique française de transition énergétique et écologique.

A côté du secteur résidentiel, le secteur tertiaire représente un enjeu important. Il est en effet particulièrement énergivore, puisque avec un quart des surfaces, il représente un tiers des consommations.

Dans le but de répondre à ces enjeux, les pouvoirs publics ont décidé d'instaurer dans le cadre de la loi du 12 juillet 2010, dite Grenelle II, une obligation d'amélioration de la performance énergétique des bâtiments tertiaires publics et privés.

Dans l'attente de la parution du décret d'application de cette obligation future, le Plan Bâtiment Durable développe une dynamique d'engagement volontaire et de mise en réseau des propriétaires et utilisateurs du parc tertiaire public et privé par une charte d'engagement volontaire pour la performance énergétique des bâtiments tertiaires.

Dans ce contexte institutionnel, MANEXI présente sa seconde synthèse de résultat d'audits énergétiques sur des immeubles de bureaux privés. Société d'ingénierie experte à la compétence pointue et reconnue, MANEXI vient illustrer, de manière concrète et opérationnelle, plusieurs axes forts de l'action du Plan Bâtiment Durable.

Tout d'abord, l'étude vient confirmer le potentiel important d'économies d'énergie qui peut être concrétisé sans avoir recours à des investissements importants : les audits montrent un potentiel d'environ 22 % par rapport à la consommation énergétique totale.

Leur mise en œuvre suppose toutefois une compétence technique indéniable et une mobilisation organisée de nombreux acteurs de l'immeuble, et ce de façon soutenue dans le temps.

Concrètement, la synthèse des audits met en évidence les surconsommations liées au fonctionnement des installations techniques en dehors des heures d'occupation des locaux. On retient notamment les idées suivantes :

- L'éclairage des locaux est un poste bien connu sur lequel il reste un potentiel d'optimisation ;
- La bureautique, qui relève de l'utilisateur des locaux, présente des carences importantes dans sa gestion : en clair, si le dernier occupant peut volontiers éteindre les locaux, beaucoup de raisons s'opposent à ce qu'il éteigne l'ensemble des ordinateurs ;
- Beaucoup de progrès peuvent être faits sur la gestion des ventilo-convecteurs et des centrales de traitement d'air, par l'ajustement des horaires et l'adaptation aux besoins.

Enfin ce rapport fait découvrir ou re-découvrir tous les dysfonctionnements qui s'attachent aux systèmes de gestion technique du bâtiment : défauts de conception, de mise en place et enfin de fonctionnement. Le résultat surprenant est que beaucoup de bureaux fonctionnent différemment des consignes inscrites dans la GTB.

Ces résultats sont d'autant plus frappants qu'ils s'opèrent sur des données obtenues par la pose d'appareils de mesure réelle qui confirment l'intérêt de cette approche.

Au nom du Plan Bâtiment Durable, je souhaite saluer la démarche qui a conduit MANEXI à porter ces données à la connaissance de l'ensemble des acteurs de la place. Je remercie également les différents partenaires de MANEXI qui ont accepté que ces données soient partagées.

Ce rapport ne propose pas une révolution à mener au prix d'investissements énormes. Plutôt des progrès réalisés pas à pas avec ténacité et compétence, grâce à l'implication de tous : c'est l'application de la théorie des petites victoires, l'un des mantras du Plan Bâtiment Durable.



Jérôme GATIER
Directeur du Plan Bâtiment Durable

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

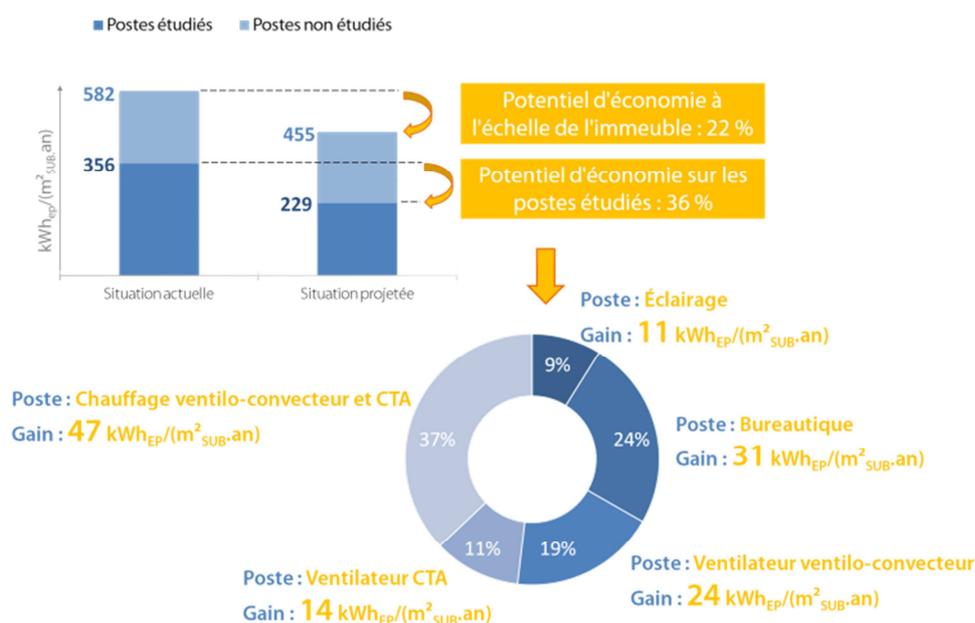
RESULTATS

Pour la deuxième année, MANEXI met à la disposition des acteurs de l'immobilier des analyses tirées de la réalisation d'audits énergétiques sur des immeubles de bureaux. L'étude est cette année enrichie de retours d'expérience d'acteurs majeurs de l'immobilier, dont plusieurs ont contribué par la réalisation d'audits sur leur patrimoine : AEW EUROPE, ALLIANZ RE, CBRE, EVO, GENERALI RE FRANCE, ICADE PM, PERIAL et UNION INVESTMENT RE. Elle est introduite par une préface du PLAN BÂTIMENT DURABLE.

L'étude présente en premier lieu une consolidation des chiffres sur la consommation réelle des immeubles de bureaux du parc privé francilien : 582 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an) en moyenne, et 95 % des immeubles dans les trois dernières classes du DPE (E, F et G).

Mais MANEXI a surtout entrepris dans cette étude de décortiquer les résultats des instrumentations (enregistrements du fonctionnement des immeubles) réalisées au cours de ses audits énergétiques. L'étude nous mène donc au cœur du fonctionnement – et des dysfonctionnements – des principaux équipements : éclairage, bureautique, ventilo-convecteurs, centrales de traitement d'air. Résultat : 22 % d'économies potentielles. 2 % par une extinction complète de l'éclairage hors occupation. 5 % pour la bureautique. 5 % pour le fonctionnement inutile des ventilo-convecteurs. Et surtout 10 % à gagner par un paramétrage optimisé et fonctionnel des centrales de traitement d'air. Soit 4,6 € par m² et par an d'économies a priori accessibles. Pas gratuitement, mais en large partie à portée de main. Des économies qui passeront en tout cas par l'identification des dysfonctionnements sur le terrain puis la mise en œuvre d'actions correctives en général peu coûteuses. Et le renouvellement périodique de la démarche.

De quoi faire un large pas en avant vers les objectifs du Grenelle Environnement.



Consommation actuelle des immeubles de bureaux et potentiel d'économies lié aux consommations hors occupation de : bureautique, éclairage, ventilo-convecteurs et centrales de traitement d'air neuf.



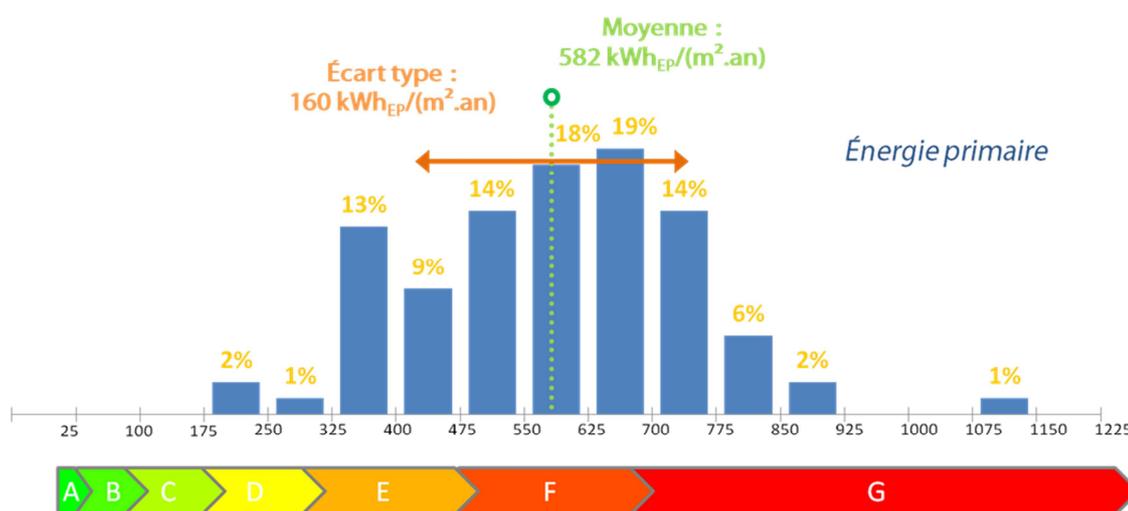
PRESENTATION DE L'ETUDE

MANEXI, bureau de conseil en efficacité énergétique et qualité environnementale du bâtiment, a réalisé un grand nombre d'audits énergétiques sur tous types de bâtiment, rassemblés depuis 2008 dans une base de données. Face au manque de données publiquement disponibles, et afin de pouvoir alimenter les réflexions des acteurs de l'efficacité énergétique du bâtiment, MANEXI a réalisé une synthèse des principaux enseignements de ces campagnes d'audits menées sur des immeubles de bureaux du parc privé.

Riche de 236 immeubles, totalisant 1 700 000 m², la base de données utilisée constitue un échantillon représentatif du parc immobilier. Les immeubles de l'échantillon retenus sont ceux du parc privé à usage de bureaux. Ils présentent une surface moyenne de 11 000 m², avec des dates de construction variées. Il s'agit essentiellement d'immeubles situés en région parisienne, avec une majorité dans Paris intra-muros.

Pour l'analyse du comportement des immeubles, ce sont pas moins de 800 000 points de mesure qui ont été traités. Parmi ces données, les enregistrements portant sur quatre équipements majeurs ont été sélectionnés : l'éclairage des bureaux, la bureautique (hors serveurs), les ventilo-convecteurs et les centrales de traitement d'air neuf. Pour chacun de ces équipements, l'analyse repose sur 30 à 70 campagnes d'instrumentation de 9 jours en moyenne. Trop peu pour donner des chiffres définitifs ; suffisamment pour dégager des tendances et des ordres de grandeur.

CONSOMMATION GLOBALE D'ENERGIE : RETOUR D'EXPERIENCE DES AUDITS ENERGETIQUES



Répartition de la consommation d'énergie primaire des immeubles de l'échantillon en kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an).

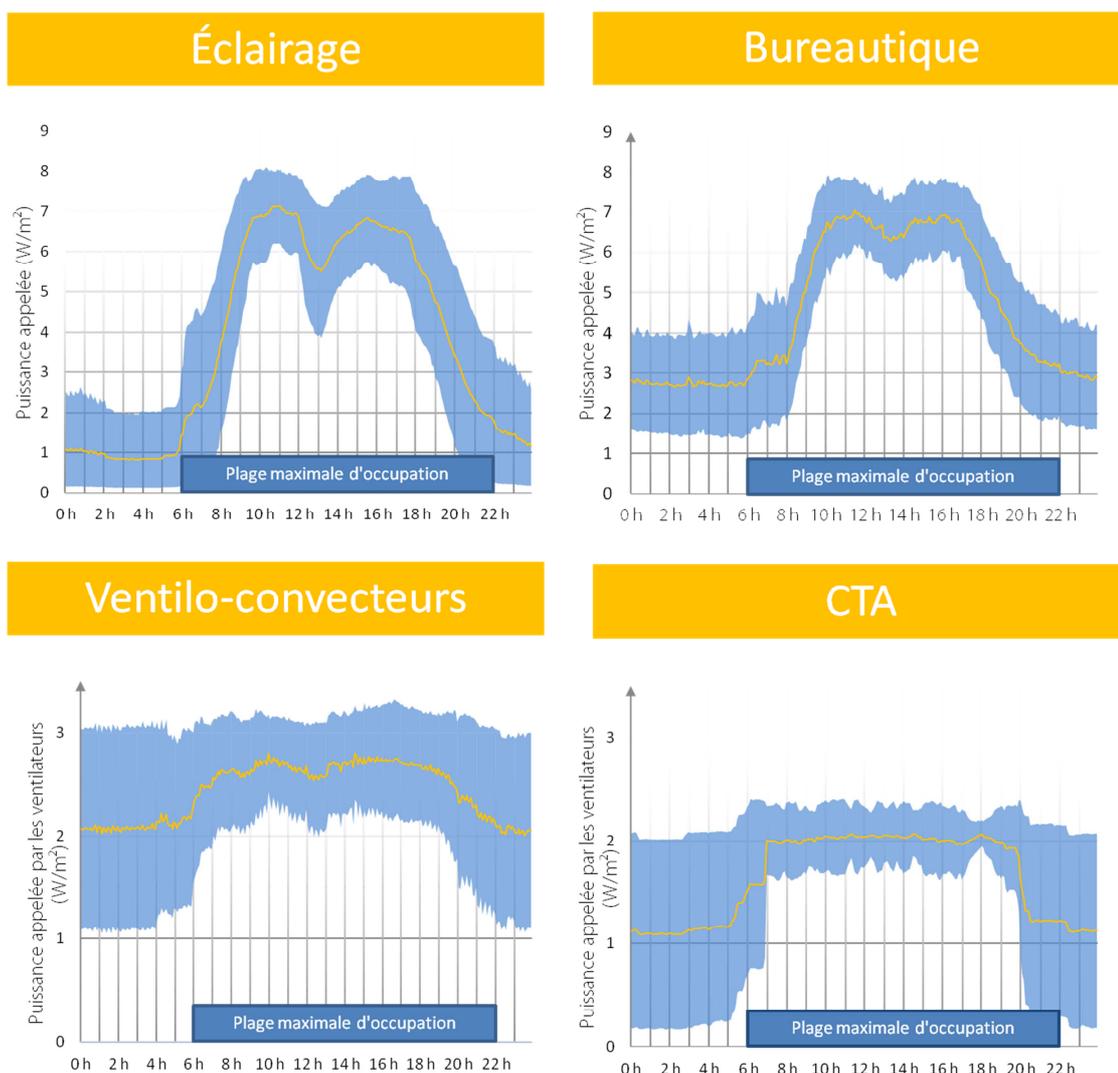
La moyenne des consommations réelles totales d'immeubles de bureaux privés de région parisienne se situe à 582 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an).

La distribution est relativement resserrée, avec un écart-type de 160 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an), et surtout 92 % des immeubles situés entre 350 et 850 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an) – donc dans les 3 plus mauvaises des 7 classes du DPE.



COMPORTEMENT DES IMMEUBLES : RETOUR D'EXPERIENCE DES INSTRUMENTATIONS

L'instrumentation des départs électriques alimentant les principaux équipements des immeubles de bureaux met en évidence d'importants fonctionnements en inoccupation, et pas seulement lorsque les équipements sont commandés manuellement.



Profils-types de fonctionnement des principaux équipements.

L'éclairage, bien que commandé à 82 % par interrupteur et dans seulement 18 % des cas par horloge, présente un niveau d'extinction hors occupation plutôt satisfaisant (par rapport aux autres !). Les bons réflexes sont déjà bien acquis. On peut espérer que l'obligation d'extinction de l'éclairage entrée en vigueur en juillet 2013 permettra de ramener le niveau de consommation nocturne à zéro, ce qui produirait 2 % d'économies à l'échelle de l'immeuble. Des améliorations sur la gestion diurne (gradation, détection, etc) et sur la performance des lampes et des luminaires offrent bien sûr un potentiel supplémentaire.



La bureautique, gérée dans la quasi-totalité des cas par les usagers, présente un profil beaucoup moins flatteur : les trois quarts des immeubles qui affichent une puissance appelée hors occupation atteignent 20 % de la puissance maximale appelée en journée (alors que les puissances de veille sont de l'ordre de 1 % de la puissance nominale). L'arrêt complet de la bureautique hors occupation peut se heurter à des difficultés techniques, mais des gains importants sont certainement réalisables, avec un potentiel intéressant de 5 % de la consommation totale – soit 1 € par m² et par an

Les ventilo-convecteurs et les centrales de traitement d'air, disposant en majorité (près de 80 %) de systèmes de gestion de l'intermittence (horloge locale ou GTB), nous renvoient vers un constat inquiétant : malgré ces automatismes, les ventilateurs des ventilo-convecteurs fonctionnent la nuit en moyenne à 75 % de leur puissance en journée, et les centrales de traitement d'air fonctionnent sur une plage horaire non optimale dans 91 % des cas (paramétrage absent ou décalé, ou dysfonctionnement). Ces fonctionnements intempestifs représentent une consommation superflue (ventilateurs et chauffage) de 15 % de la consommation totale, soit 3,3 € par m² et par an. Les juguler nécessite un changement de point de vue sur les systèmes de régulation, avec une appropriation par leurs utilisateurs (propriétaires, gestionnaires et mainteneurs) de la conception (spécifications) à l'exploitation (recherche périodique des dysfonctionnements, maintenance préventive, anticipation de l'obsolescence), en passant par la réalisation (réception, contrôle, documentation).



Comme l'an dernier, nous avons le plaisir de vous proposer de partager quelques enseignements tirés de la réalisation d'audits énergétiques dans les immeubles de bureaux de la région parisienne.

L'étude que nous avons diffusée l'an dernier pointait du doigt les limites des gains énergétiques à attendre de la conception et des travaux d'amélioration énergétique. Du moins, sans rupture.

Cette rupture, Alain BORNAREL (TRIBU) le soulignait, devait être à la fois technique et comportementale. Nous observons avec joie les premiers signes d'une rupture technique, à travers la perspective d'une généralisation du bâtiment à énergie positive pour 2020. Un vrai saut en avant, s'il se confirme que toute la consommation d'énergie sera prise en compte dans le bilan d'énergie, et que l'objectif sera effectivement le zéro. Nous soulignons l'an dernier le risque de voir les bâtiments réglementairement « à énergie positive » consommer en fait $400 \text{ kW}_{EP}/(\text{m}^2_{SUB,an})$; nous croyons voir ce danger s'effacer peu à peu. Nous voyons aussi les opérations exemplaires en construction et en rénovation se multiplier. Et les opérations courantes prendre systématiquement en compte l'énergie, avec des objectifs souvent ambitieux. Et demain peut-être, l'obsolescence énergétique suffira à elle seule à déclencher des travaux ?

Mais il reste le présent. Il reste le quotidien. Or depuis 2008, nous avons à cœur lors de nos audits énergétiques de plonger dans le concret, de toucher du doigt le vrai, de mesurer le détail, de prendre le pouls du fonctionnement des immeubles à travers une batterie d'appareils de mesure. Toute une vie fourmillante s'est ainsi accumulée dans nos historiques. Véritable richesse pour la connaissance, la compréhension et l'amélioration du fonctionnement des immeubles. C'est pourquoi, à l'instar du réglementeur qui a davantage progressé sur l'annexe environnementale aux baux et sur l'extinction de la lumière que sur une obligation de travaux d'amélioration de la performance énergétique¹, c'est au potentiel d'économies à réaliser par des actions sur le quotidien que nous avons voulu nous intéresser dans le présent document.

Un sujet sans ambition ? Peut-être. Mais un gisement de 22 % d'économies. Un gisement le plus souvent accessible sans travaux. Par l'identification des anomalies, la mise en œuvre d'actions correctives, puis un suivi continu et des investigations périodiques – d'aucun préféreront appeler ça rétro-commissionnement, management énergétique, système de management ou encore annexe environnementale. Un gisement, en tout cas, qu'il serait bien dommage de ne pas s'empresser de tuer.

En attendant, nous vous proposons ici de le disséquer.



Christian BÉAUR
Directeur Maîtrise d'Ouvrage
et Développement Durable

CBRE

« Mobilisé auprès de nos clients dans la mise en œuvre des recommandations du rapport de Maurice Gauchot pour l'optimisation énergétique de leur parc tertiaire dans le cadre de la Loi Grenelle 2, je me réjouis de la qualité des contributions successives de Manexi qui explicitent avec rigueur et pragmatisme la voie à suivre, pour le bénéfice de tous les acteurs. »

Après avoir souligné dans un premier rapport fin 2012 l'intérêt concret de travailler les leviers de réduction des consommations énergétiques liés aux « usages-occupants » et à l'« exploitation technique » qui, grâce à un temps de retour sur investissement court, démontrent la soutenabilité financière des actions à mettre en œuvre, ils nous donnent cette fois la clé des priorités à travailler sur ces sujets : éducation des occupants, contrôle et (re)mise en adéquation permanente des systèmes techniques et de leur maintenance avec les besoins réels de l'occupation et de l'utilisation. »

¹ Décret « Gauchot », prévu par l'article 3 de la loi 2010-788 du 12 juillet 2010 – 4 ans déjà – portant engagement national pour l'environnement.



AVANT PROPOS.....	8
SOMMAIRE	9
1 METHODE	10
1.1. Objet de l'étude.....	10
1.2. Échantillon de données de consommation globale.....	11
1.3. Pourquoi des mesures physiques dans la réalisation d'un audit énergétique ?	12
1.4. Échantillon de données de campagnes de mesures.....	13
2 CONSOMMATION RÉELLE GLOBALE D'ÉNERGIE	14
2.1. Consommation moyenne.....	14
2.2. Distinction par niveau de service des immeubles	15
2.3. Répartition des immeubles	16
3 RETOURS D'EXPERIENCE SUR LES CAMPAGNES DE MESURES REALISEES.....	17
3.1. Fonctionnement de l'éclairage et de la bureautique.....	17
3.1.1 État des lieux des systèmes de gestion d'intermittence.....	17
3.1.2 État des lieux du fonctionnement de l'éclairage et de la bureautique hors occupation.....	18
3.1.3 Causes de fonctionnement de la bureautique hors occupation.....	20
3.1.4 Potentiel d'économies relatif à la suppression de la consommation hors occupation	21
3.2. Gestion technique des ventilo-convecteurs.....	23
3.2.1 État des lieux des systèmes de gestion d'intermittence.....	23
3.2.2 État des lieux des fonctionnements de ventilateurs hors occupation	24
3.2.3 Causes de fonctionnement des ventilateurs hors occupation.....	26
3.2.4 Potentiel d'économies relatif à l'adaptation au besoin des horaires de fonctionnement des ventilo-convecteurs	28
3.3. Gestion technique des centrales de traitement d'air.....	30
3.3.1 État des lieux des systèmes de gestion de l'intermittence	30
3.3.2 État des lieux du fonctionnement hors occupation.....	30
3.3.3 Potentiel d'économies relatif à l'adaptation des horaires de fonctionnement à l'occupation.....	31
3.4. Focus sur les dysfonctionnements de systèmes centralisés (GTB).....	33
4 CE QU'IL FAUT RETENIR.....	35
ANNEXES	37



1 METHODE

1.1. Objet de l'étude

MANEXI, bureau d'études et de conseil en efficacité énergétique et environnementale du bâtiment, a réalisé depuis 2008 un grand nombre d'audits énergétiques sur tous types d'immeubles. Face au manque de données publiques, MANEXI a souhaité partager les enseignements de ces audits. Ainsi, **pour la deuxième fois, nous vous proposons une synthèse de nos connaissances sur les bureaux du secteur privé**. Nous serons heureux si elle peut alimenter les réflexions de tous ceux qui veulent agir pour l'efficacité énergétique du bâtiment. L'utilisation du contenu de ce document est libre, à la seule condition de mentionner la source et le nom de MANEXI.

Les résultats présentés s'appuient sur les principales sources d'informations rassemblées lors des audits énergétiques pour l'observation du fonctionnement réel des immeubles : factures d'énergie, simulations thermiques et énergétiques, relevés de terrain et instrumentations (mesures physiques détaillées en enregistrement continu pendant quelques semaines).

Cette année la synthèse se focalise sur les informations apportées par les instrumentations : enregistrements de courte durée (typiquement une à deux semaines) réalisés dans une grande partie des missions de MANEXI. Enregistrements qui nous permettent de présenter ici des retours d'expérience sur le fonctionnement des équipements énergétiques dans les immeubles de bureaux.

Nota : la précédente synthèse des résultats d'audits énergétiques : *Situation énergétique d'un échantillon d'immeubles de bureaux du parc privé (2008 - 2012)* explorait quant à elle la décomposition de la consommation par poste et le potentiel d'économies sur l'usage, l'exploitation et les travaux. Elle proposait également une mise en relation avec les perspectives réglementaires. Elle est toujours disponible sur simple demande à contact@manexi.com.



Thierry LAQUITAINE

Responsable Développement
Durable AEW EUROPE

« MANEXI a réalisé une étude d'une grande pertinence portant sur un aspect souvent évoqué mais peu analysé, à savoir les économies d'énergie susceptibles d'être obtenues à travers l'amélioration des comportements des utilisateurs finaux et des gestionnaires techniques. La méthode utilisée a l'avantage de s'appuyer sur des mesures des consommations réelles et non sur des estimations ou des modélisations, on touche donc à la réalité du fonctionnement d'un immeuble de bureaux.

Les conclusions de cette étude ont de quoi surprendre : responsabilisation des locataires et qualité de la gestion technique pourraient représenter deux tiers des fameux 38 % d'économies d'énergie exigées par le Grenelle de l'environnement. »

 AEW EUROPE



1.2. Échantillon de données de consommation globale

La base de données d'audits utilisée pour la présente synthèse est constituée de 236 immeubles, totalisant² 1 700 000 m².

Les immeubles de l'échantillon retenu pour la présente étude présentent une surface moyenne de 11 000 m². Il s'agit essentiellement d'immeubles situés en région parisienne (95 %), avec une majorité dans Paris intra-muros (54 %).

Le niveau de service des immeubles est globalement assez élevé (système de refroidissement présent dans 98 % des cas, présence d'un restaurant d'entreprise dans 32 % des cas, etc.).

Le classement des immeubles dans les différentes catégories de niveau de service³ est le suivant :

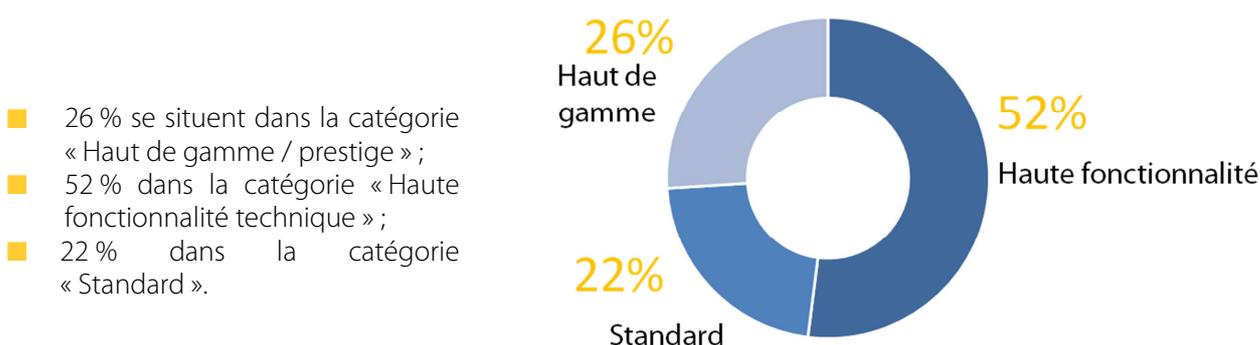


Figure 1 - Répartition des immeubles de l'échantillon par niveau de service.

La majorité (69 %) des immeubles de l'échantillon ont été construits après 1948. L'échantillon couvre toutes les grandes périodes constructives :

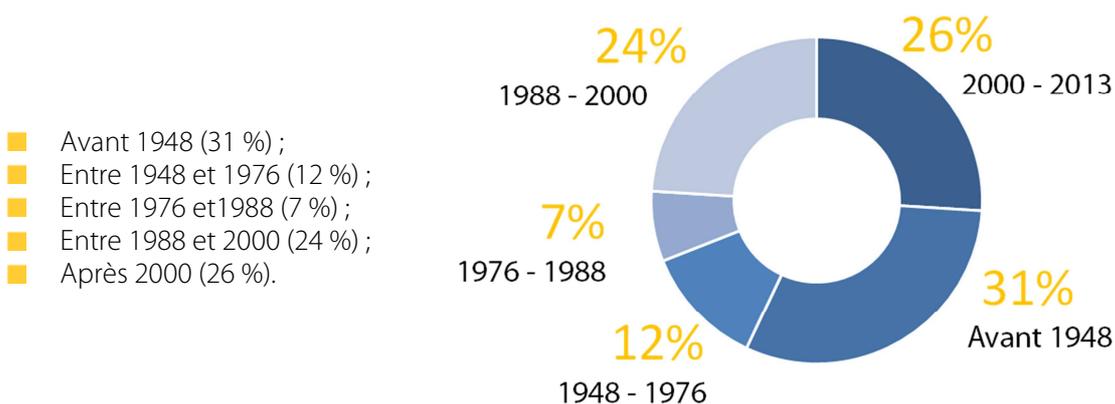


Figure 2 - Date de construction des immeubles de l'échantillon.

² Pour comparaison, la surface totale du parc tertiaire en France est estimée à 850 millions de m², dont 480 millions pour le secteur privé (*Recommandations relatives à la rédaction du décret organisant l'obligation de travaux de rénovation énergétique dans le parc tertiaire entre 2012 et 2020* – novembre 2011).

³ Par référence aux conventions utilisées par la société IPD (www.ipd.com).



1.3. Pourquoi des mesures physiques dans la réalisation d'un audit énergétique ?

Lors de l'audit énergétique d'un immeuble de bureaux, autant l'analyse qualitative et l'établissement de recommandations peuvent reposer largement sur l'observation et l'expertise de l'auditeur, autant les mesures physiques sont nécessaires dès lors que l'on veut évaluer l'impact de l'usage et de l'exploitation des équipements dans la consommation totale et proposer des pistes d'amélioration en conséquence.

Ainsi, MANEXI a réalisé pour les audits énergétiques utilisés ici des enregistrements sur les équipements dont il est le plus difficile d'évaluer la puissance et/ou les durées de fonctionnement. Ces équipements sont typiquement :

- **La bureautique ;**
- **L'éclairage ;**
- **Les principaux équipements de climatisation (centrales de traitement d'air, émetteurs terminaux, etc.).**

La sélection des équipements instrumentés est réalisée par l'auditeur du site en fonction du contexte. En complément, le fonctionnement des équipements spécifiques à l'activité est généralement enregistré : serveurs, cuisines, usage spécifique de l'électricité (plateformes, bancs de tests, etc.).

En parallèle, d'autres mesures sont effectuées pour étoffer l'analyse : conditions météorologiques, conditions de température et d'humidité à l'intérieur des locaux, éclairage sur le plan de travail si nécessaire, etc.

Les mesures réalisées permettent de déterminer essentiellement la courbe de charge des équipements instrumentés : puissance appelée en fonctionnement, puissance en veille ou hors occupation, horaires de fonctionnement. Elles permettent également de qualifier l'utilisation faite des locaux et des équipements. Elles sont précieuses à la fois pour :

- **Mesurer les performances** des équipements ;
- **Identifier des dysfonctionnements invisibles à l'œil nu** et par mesures instantanées ;
- **Construire le modèle de simulation de l'immeuble en consommation réelle**, en tenant notamment compte de l'impact de l'usage et de l'exploitation des équipements ;
- **Quantifier le potentiel d'amélioration sur l'usage et l'exploitation des équipements** : horaires de fonctionnement non adaptés, veilles, défauts d'exploitation, etc.



Patrick STEKELOROM
Responsable Développement
Durable
ALLIANZ REAL ESTATE

« Cette étude donne des pistes très intéressantes. Elle confirme tout d'abord que l'action prioritaire à mener est de mesurer et analyser régulièrement les consommations, que ce soit au travers d'une mission spécifique (commissionnement) ou bien en installant à demeure des sous-compteurs raccordés à un suivi centralisé. D'importantes économies d'énergie peuvent être réalisées en agissant sur les consommations en périodes d'inoccupation des locaux et en se focalisant sur l'exploitation des équipements (ventilo-convecteurs, éclairage, bureautique, CTA), que l'immeuble soit ou non raccordé à une GTB.

D'autres pistes restent à explorer pour aider les propriétaires et utilisateurs de locaux à cibler correctement leurs investissements en efficacité énergétique (moteurs à vitesse variable, leds, récupérations d'énergie,...) et atteindre les objectifs du Grenelle. »

Allianz 



1.4. Échantillon de données de campagnes de mesures

Parmi les campagnes de mesures ainsi réalisées (80 immeubles, soit quelques 820 000 points de mesure !), l'échantillon a été construit en excluant les mesures non exploitables pour la présente étude (mesures regroupant plusieurs usages de manière indifférenciée, tels que bureautique et serveurs, volume de données non significatif pour un type d'équipement donné, comme par exemple les convecteurs électriques ou les pompes de circulation, etc.).

C'est ainsi qu'ont été retenues 175 campagnes de mesures électriques d'une durée moyenne de 9 jours réalisées sur les plateaux de bureaux d'une soixantaine d'immeubles (qui représentent une surface totale d'environ 600 000 m²_{SUB}).

Le tableau ci-dessous récapitule le volume de données analysé dans la suite, en nombre d'immeubles concernés et nombre de campagnes de mesures (un immeuble pouvant faire l'objet de plusieurs campagnes de mesures) :

	Éclairage bureaux	Bureautique	Ventilo-convecteurs	CTA d'air neuf bureaux
Nombre d'immeubles concernés	38	28	33	23
Nombre de campagnes de mesure	68	33	38	35

Le nombre d'immeubles formant l'échantillon étudié n'est pas suffisant pour avancer que les constats établis sont le reflet du comportement de la totalité du parc de bureaux français ou même francilien, ni pour établir des valeurs chiffrées définitives. L'expérience du terrain met cependant en évidence une bonne homogénéité des observations sur les immeubles audités. L'échantillon utilisé ici permet donc de dégager des ordres de grandeur et des tendances très probablement représentatifs.



2 CONSOMMATION RÉELLE GLOBALE D'ÉNERGIE

2.1. Consommation moyenne

La consommation moyenne réelle totale d'énergie primaire des immeubles de notre échantillon se situe à 582 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an).

En énergie finale, la moyenne est de 276 kWh_{EF}/(m²_{SUB}.an).

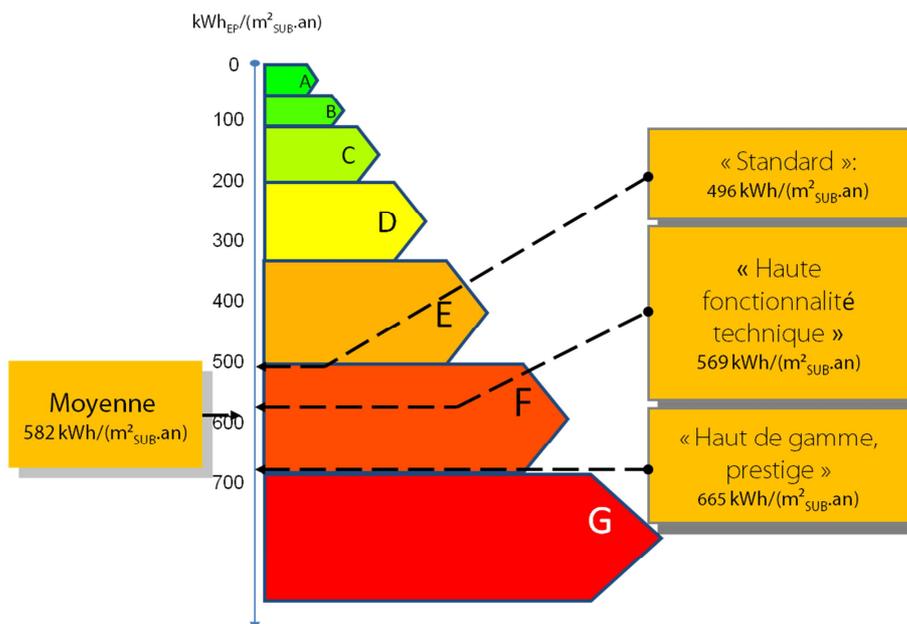


Figure 3 - Présentation de la consommation réelle d'énergie constatée sur les immeubles de l'échantillon et distinction par catégorie.

Nota : ces valeurs moyennes sont légèrement en deçà de celles obtenues dans l'étude précédente (-3 % en énergie primaire, -6 % en énergie finale). Cependant, il ne faut pas a priori voir dans l'évolution des moyennes une illustration d'une évolution de la consommation d'énergie du parc dans le temps, mais plutôt une consolidation des données. Les moyennes affichées ici se basent en effet sur des données nouvelles collectées en 2013, mais qui peuvent aussi bien concerner des historiques de consommation de 2012, 2011, voire avant – selon les informations communiquées lors de l'audit. De plus, les nouvelles données sont cumulées aux données utilisées dans l'étude précédente.



2.2. Distinction par niveau de service des immeubles

Il apparaît des écarts sensibles en fonction du niveau de service des immeubles :

	Consommation moyenne en énergie primaire kWh _{EP} /(m ² .an)	Consommation moyenne en énergie finale kWh _{EF} /(m ² .an)
Immeubles de la catégorie « Standard »	496	240
Immeubles de la catégorie « Haute fonctionnalité technique »	569	264
Immeubles de la catégorie « Haut de gamme / prestige »	665	306
Ensemble de l'échantillon ⁴	582	267

Les immeubles de la catégorie « Haut de gamme/prestige » se distinguent en particulier par la présence quasi systématique d'un restaurant d'entreprise (91 % des cas – contre 19 % pour les immeubles « Haute fonctionnalité technique » et 0 % pour les immeubles « Standard »).

Ces écarts mettent en évidence l'importance d'autres indicateurs que le seul ratio de consommation au mètre carré dans l'évaluation de la performance énergétique d'un immeuble. La prise en compte des services associés, mais aussi de la densité d'occupation ou des exigences de confort, est nécessaire pour qualifier correctement la performance énergétique et permettre la comparaison.

⁴ Moyenne pondérée au nombre d'immeubles dans chaque catégorie



2.3. Répartition des immeubles

Les figures 4 et 5 présentent le nombre d'immeubles par tranche de consommation d'énergie.

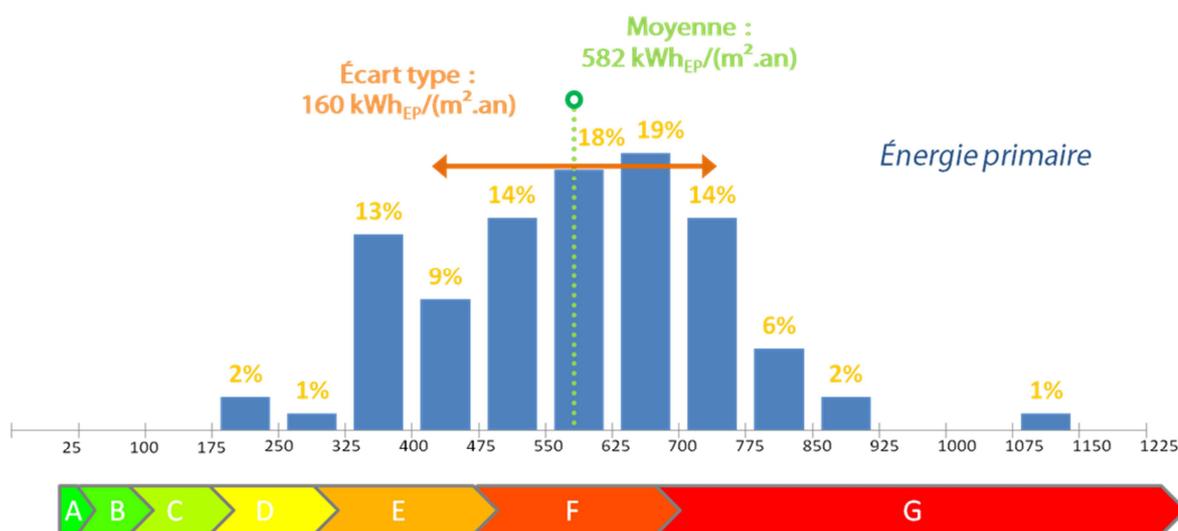


Figure 4 - Répartition de la consommation d'énergie primaire des immeubles de l'échantillon en kWh_{EP}/(m².SUB.an).

La distribution autour de la moyenne est relativement resserrée, avec un écart-type de 160 kWh_{EP}/(m².SUB.an), et surtout 92 % des immeubles situés entre 350 et 850 kWh_{EP}/(m².SUB.an) – donc dans les 3 plus mauvaises des 7 classes du DPE.

On peut également noter que l'on retrouve 52 % des immeubles dans la seule classe F du DPE.

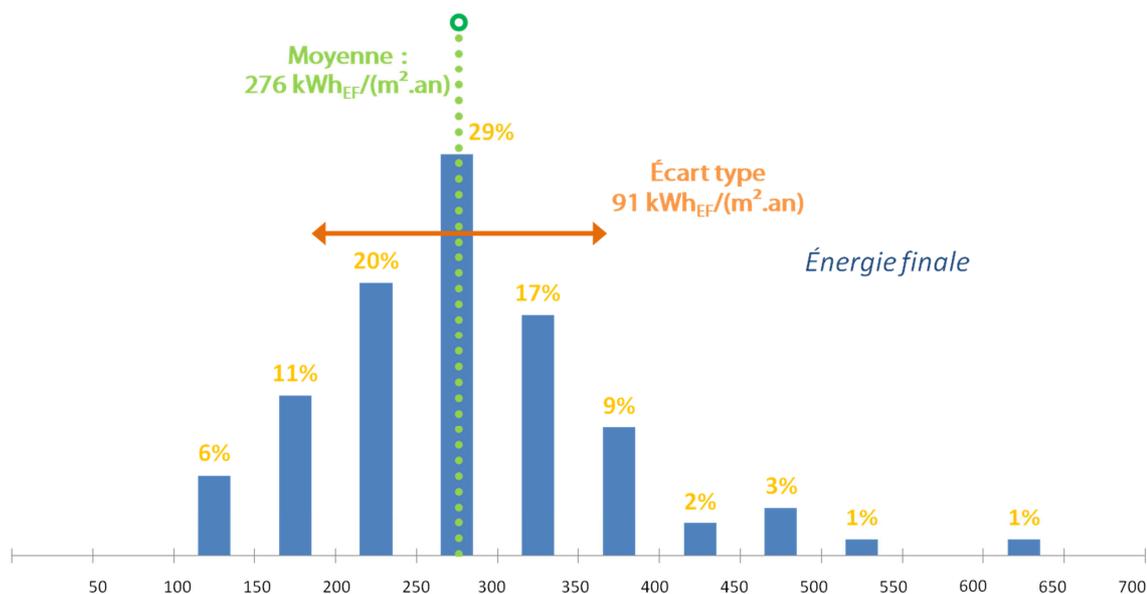


Figure 5 - Répartition de la consommation d'énergie finale des immeubles de l'échantillon en kWh_{EF}/(m².SUB.an).

La distribution en énergie finale est un petit peu moins resserrée, avec 86 % des immeubles entre 150 et 400 kWh_{EF}/(m².SUB.an). Mais toujours une absence d'immeuble très faiblement consommateur. Aucun ne se situe en dessous de 100 kWh_{EF}/(m².SUB.an), tandis que la moyenne est de 276 kWh_{EF}/(m².SUB.an).

Une analyse de la distribution des consommations des immeubles et de la répartition entre postes de consommation est disponible dans la précédente synthèse des résultats d'audits énergétiques : *Situation énergétique d'un échantillon d'immeubles de bureaux du parc privé (2008 - 2012)*. Elle n'est pas reprise ici car les tendances identifiées dans cette précédente étude sont les mêmes avec la base de données actuelle.



3 RETOURS D'EXPERIENCE SUR LES CAMPAGNES DE MESURES REALISEES

3.1. Fonctionnement de l'éclairage et de la bureautique

3.1.1 État des lieux des systèmes de gestion d'intermittence

Sur l'échantillon considéré, plus de 80 % des locaux ne sont pas équipés de système de gestion automatisée de l'éclairage (horloge, détection de présence, etc.).

Quant à la bureautique, nous n'avons relevé la présence de système de coupure automatique associé que dans un seul immeuble (fonctionnement asservi aux badges des utilisateurs). La grande majorité des immeubles ne dispose donc d'aucun système de coupure automatique de la bureautique.

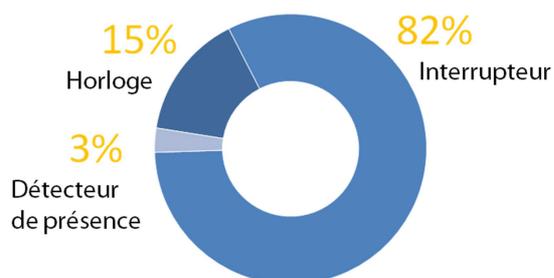


Figure 6 - Répartition des modes de gestion de l'éclairage des bureaux.

La consommation des équipements de bureautique et d'éclairage est donc essentiellement corrélée au comportement des utilisateurs.



3.1.2 État des lieux du fonctionnement de l'éclairage et de la bureautique hors occupation

Les mesures mettent en évidence que la consommation des équipements d'éclairage et de bureautique en dehors des horaires d'occupation est loin d'être négligeable :

Distribution de la puissance appelée hors occupation

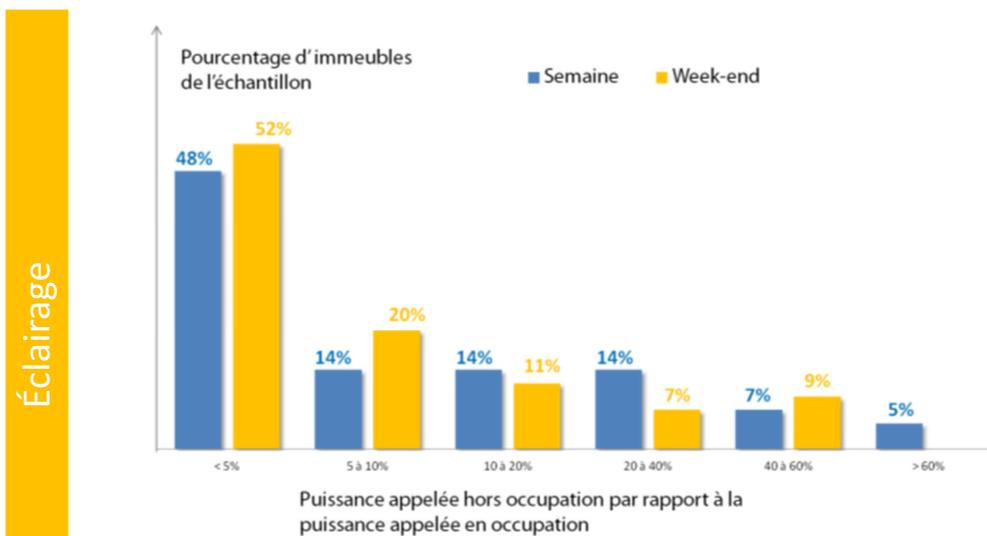


Figure 7 - Répartition des immeubles selon la proportion de leurs équipements d'éclairage appelée hors occupation.

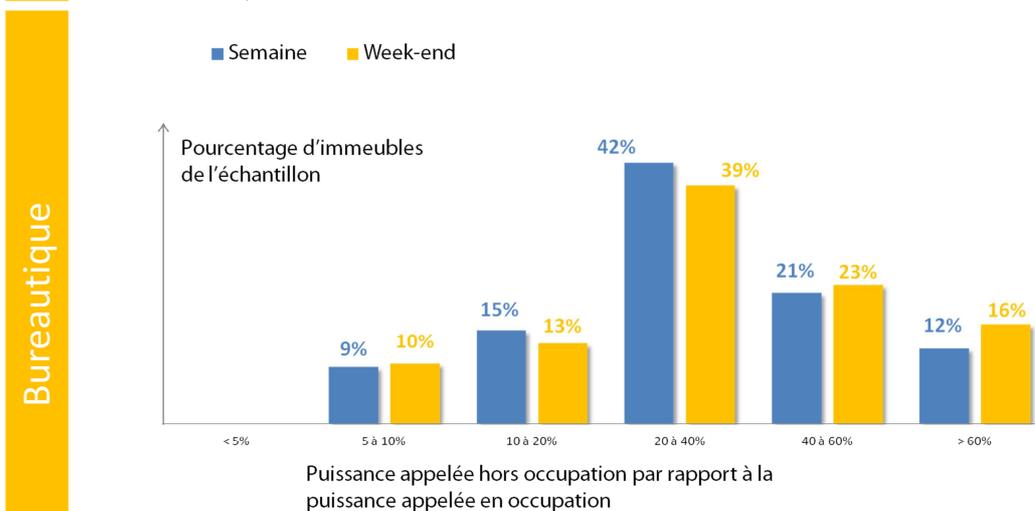


Figure 8 - Répartition des immeubles selon la proportion de leurs équipements de bureautique appelée hors occupation.



Tableau récapitulatif des moyennes

Éclairage		Bureautique	
16 % de fonctionnement hors occupation en moyenne		36 % de fonctionnement hors occupation en moyenne	
Moyenne semaine : 19 %	Moyenne week end : 13 %	Moyenne semaine : 34 %	Moyenne week end : 38 %

La proportion d'équipements fonctionnant en dehors des horaires d'occupation est en moyenne de 16 % pour l'éclairage, tandis qu'elle est nettement plus importante pour la bureautique, en moyenne de 36 %.

Si près de la moitié des mesures sur l'éclairage mettent en évidence une très faible consommation hors occupation (inférieure à 5 % de la puissance moyenne atteinte pendant les heures d'occupation), toutes les mesures sur les équipements de bureautique font ressortir une consommation conséquente hors occupation : les trois quarts des mesures sur la bureautique présentent en inoccupation un talon supérieur à 20 % de la puissance en occupation !

Profils journaliers moyens

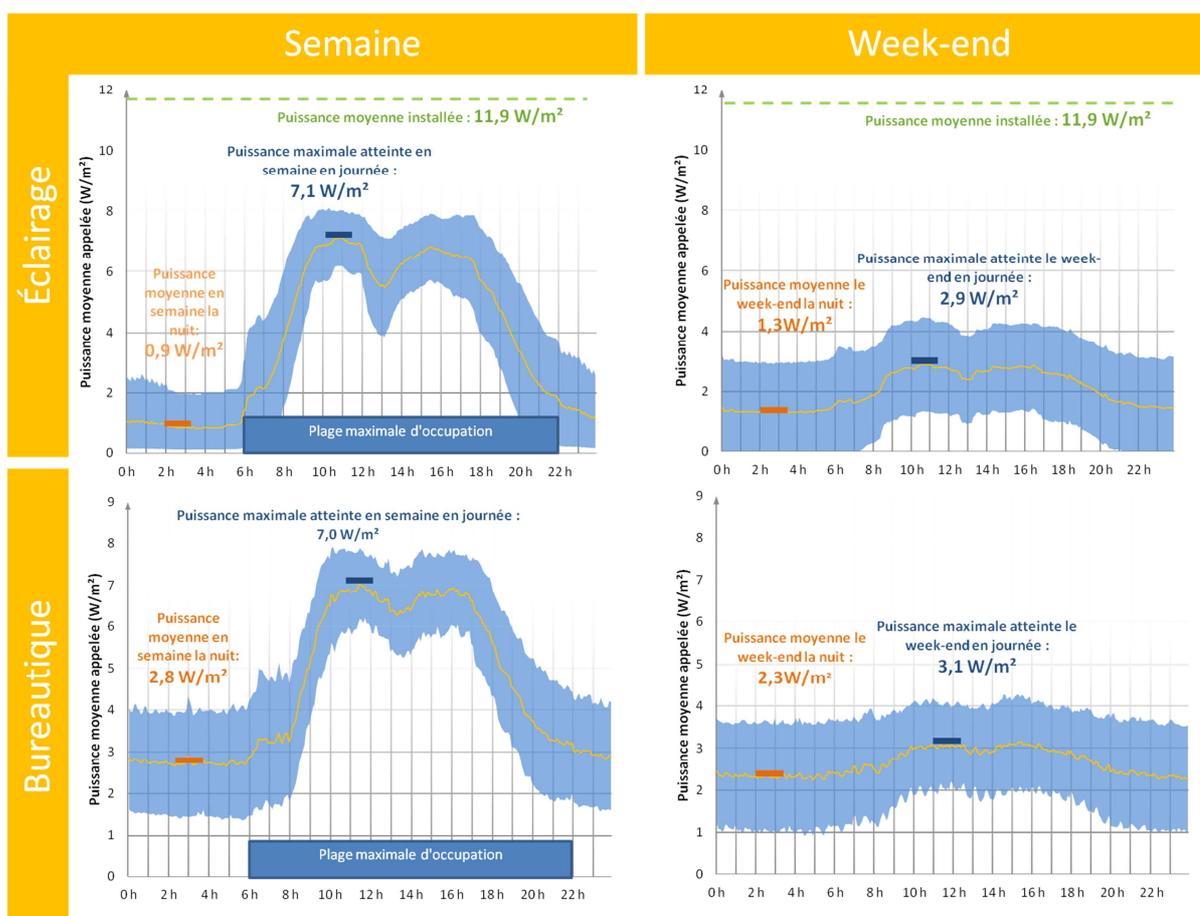


Figure 9 - Profils types de charge d'éclairage et de bureautique - en jaune la moyenne de l'échantillon - en bleu, l'intervalle centré autour de la moyenne et de plage deux fois l'écart type à chaque pas de temps - en vert la puissance d'éclairage installée.

Ces profils font également apparaître que les équipements d'éclairage et de bureautique restent généralement en fonctionnement lorsque certains locaux ne sont pas occupés en journée, notamment à la coupure du déjeuner.



De plus, l'allure des profils d'éclairage et de bureautique est semblable (représentatif du profil d'occupation), ce qui peut laisser penser que les équipements d'éclairage ne sont pas toujours éteints lorsque l'éclairage naturel est suffisant. Néanmoins, l'absence d'enregistrements sur la luminosité en complément de ces enregistrements de puissance ne permet pas de l'affirmer.

Ces chiffres traduisent le fait que le comportement des utilisateurs vis-à-vis de l'extinction des équipements d'éclairage et de bureautique est sensiblement différent : les équipements de bureautique restent beaucoup plus en fonctionnement hors occupation que les équipements d'éclairage.

L'évaluation des économies associées à l'extinction totale des équipements d'éclairage et de bureautique hors période d'occupation est présentée au chapitre 3.1.4

3.1.3 Causes de fonctionnement de la bureautique hors occupation

Pour expliquer le fait que les ordinateurs restent beaucoup plus allumés que les lampes on peut avancer en premier lieu qu'une lampe allumée se détecte assez facilement et a un caractère davantage impersonnel qu'un ordinateur. Dans bon nombre de cas, le dernier occupant à quitter les locaux (ou le gardien qui effectue sa ronde, ou encore le personnel de nettoyage après son passage) éteint l'ensemble des lampes. Mais jamais l'ensemble des ordinateurs !

Par ailleurs, nos divers échanges avec les utilisateurs ont permis de mettre en évidence d'autres causes de consommation de bureautique hors occupation :

- Le gestionnaire de veilles n'est pas souvent réglé de manière optimale (un écran « de veille » animé ne réduit pour ainsi dire pas la consommation, alors qu'une veille prolongée de l'unité centrale de l'ordinateur permet de couper totalement⁵ sa consommation et en grande partie celle de l'écran associé) ;
- Les appareils de reprographie (imprimantes, multicopieurs, etc.) sont majoritairement regroupés dans des locaux spécifiques. Dans la majorité des cas, les derniers utilisateurs à quitter les locaux n'ont pas pour habitude de les éteindre ;
- Les services informatiques donnent dans certains cas pour consigne aux utilisateurs de ne pas éteindre leur unité centrale la nuit, afin de permettre des interventions (mises à jour, maintenance, etc.). Dans la majorité des cas, il existe des alternatives : par exemple la prise en main à distance des ordinateurs par le service informatique afin de les allumer uniquement lorsque nécessaire la nuit et de les éteindre après les interventions, ou le regroupement de l'ensemble des mises à jour au même moment (un seul jour par semaine).

⁵ De l'ordre de 99 % de baisse de consommation d'après nos mesures sur quelques équipements. Au regard de l'importance de la consommation mesurée hors occupation, la question des puissances résiduelles de veille (le 1 % restant) sera à considérer dans un second temps seulement.



3.1.4 Potentiel d'économies relatif à la suppression de la consommation hors occupation

Le potentiel d'économies annuel moyen lié à la suppression de la consommation hors occupation d'éclairage des bureaux et de bureautique est respectivement de 20 % et 35 % par rapport à leur consommation actuelle. Ramené à la surface utile brute, ce gain énergétique potentiel est de 11 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an) pour l'éclairage, et de 31 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an) pour la bureautique. Sur le plan financier, le gain potentiel est de 1,3 €_{HTVA}/(m²_{SUB}.an) au total (dont 0,3 €_{HTVA}/(m²_{SUB}.an) relatif à l'éclairage et 1,0 €_{HTVA}/(m²_{SUB}.an) à la bureautique).

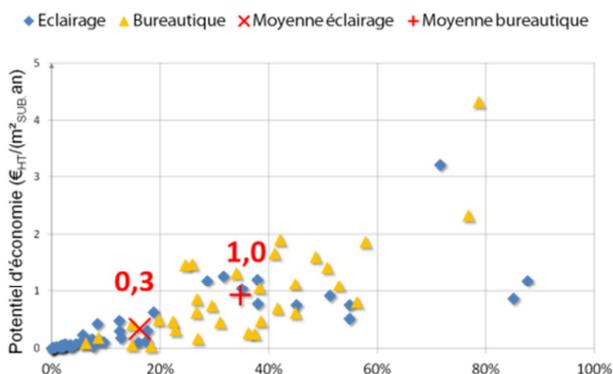
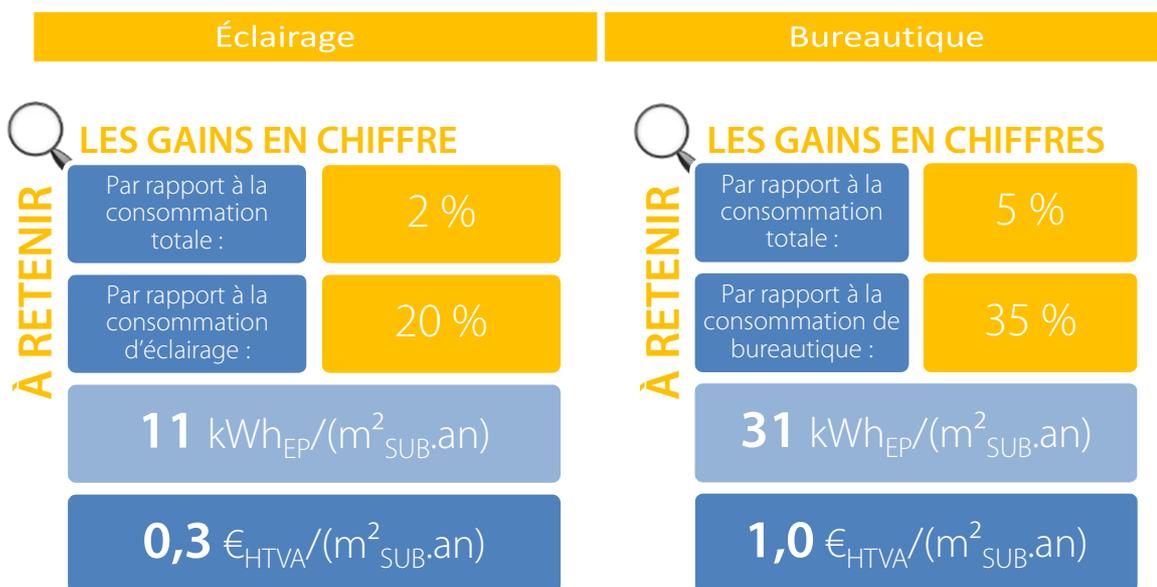


Figure 10 - Potentiel d'économies annuelles en fonction du pourcentage de fonctionnement d'équipements d'éclairage et de bureautique en inoccupation – pour chaque immeuble et pour la moyenne de l'ensemble des immeubles de l'échantillon étudié.

Le potentiel d'économies exprimé ci-dessus découle directement du constat établi précédemment sur la proportion de veilles d'éclairage et de bureautique hors occupation (cf. chapitre 3.3.2). Concernant l'éclairage, le potentiel d'économie sur la facture énergétique est inférieur à 0,5 €_{HTVA}/(m²_{SUB}.an) pour trois quart des immeubles, tandis que sur la bureautique il est beaucoup plus diffus. Ce potentiel ne dépasse 1,3 €_{HTVA}/(m²_{SUB}.an) pour l'éclairage et 2,3 €_{HTVA}/(m²_{SUB}.an) pour la bureautique, que sur un seul immeuble de l'échantillon dans chaque cas.

Nota : le potentiel d'économies évalué ici repose uniquement sur l'extinction de l'éclairage hors occupation. Il existe un potentiel supplémentaire lié à la réduction (ou l'extinction) lorsque l'éclairage naturel suffit, ainsi qu'un potentiel lié à l'optimisation des horaires (extinction par tranche de plateau au fil des départs plutôt que pour la totalité de la zone au départ du dernier usager, etc.).





Charles BLANDIGNÈRES
Projektleiter UNION INVESTMENT REAL ESTATE



« La qualité environnementale et la maîtrise des charges d'exploitation sont pour Union Investment Real Estate des axes constants de progrès.

Or les consommations énergétiques représentent une charge d'exploitation dont les variations ne sont pas toujours simples à appréhender, ni en volume (sujet technique complexe) ni en coût unitaire (dérégulation du marché).

Le remplacement des équipements d'éclairage et de Chauffage Ventilation Climatisation (CVC) par des équipements moins énergivores est souvent une piste privilégiée d'optimisation des consommations.

De même, nous disposons sur tous nos sites d'un système de Gestion Technique des Bâtiments (GTB). Sa bonne utilisation et sa maintenance préventive sont des enjeux importants pour le pilotage des installations techniques.

Si le renouvellement de certains de ces équipements génère la réduction de consommation escomptée, avec des temps de retour sur investissement courts (1 à 3 ans), notre marge de progrès semble résider dans l'optimisation en continu du pilotage, et une communication accrue auprès des utilisateurs.

Pour cela nous avons pris le parti de déployer sur nos immeubles un système d'enregistrement afin de disposer de courbes de charge des compteurs et équipements principaux. L'analyse de ces courbes de charge sera complétée si nécessaire par des audits ciblés, avec pour finalité la mise en place de plans d'actions correctifs.

Ce projet devrait également nous permettre de préparer les négociations à venir de nos contrats de fourniture d'électricité et d'alimenter le contenu des réunions avec nos locataires dans le cadre des « annexes environnementales ». »



3.2. Gestion technique des ventilo-convecteurs

Ce chapitre s'intéresse à la gestion des ventilo-convecteurs. L'analyse est menée sur les enregistrements du fonctionnement des ventilateurs (hors fonctionnement des batteries chaudes et froides), le ventilateur étant à la fois le meilleur reflet de la régulation et le principal poste de consommation en cas de fonctionnement hors occupation. Les ventilo-convecteurs à effet Joule, sur lesquels la puissance appelée par les résistances n'a pu être distinguée de celle des ventilateurs lors des mesures, n'ont donc pas été retenus dans l'échantillon analysé.

Dans le calcul des économies potentielles (cf. chapitre 3.2.4), les économies en chauffage ont également été évaluées, en plus des économies sur les ventilateurs.

3.2.1 État des lieux des systèmes de gestion d'intermittence

Les ventilo-convecteurs pilotés par une gestion centralisée (69 %), de type GTB ou boucle d'étage, sont toujours munis d'une horloge pour la gestion des intermittences d'occupation. Les systèmes régulés localement de manière autonome (31 %) sont équipés d'une horloge dans seulement 30 % des cas. Au total, ce sont donc 78 % des immeubles du périmètre qui sont équipés d'un système de gestion des intermittences d'occupation (horloge, avec ou sans détection de présence) pour le fonctionnement des ventilo-convecteurs.

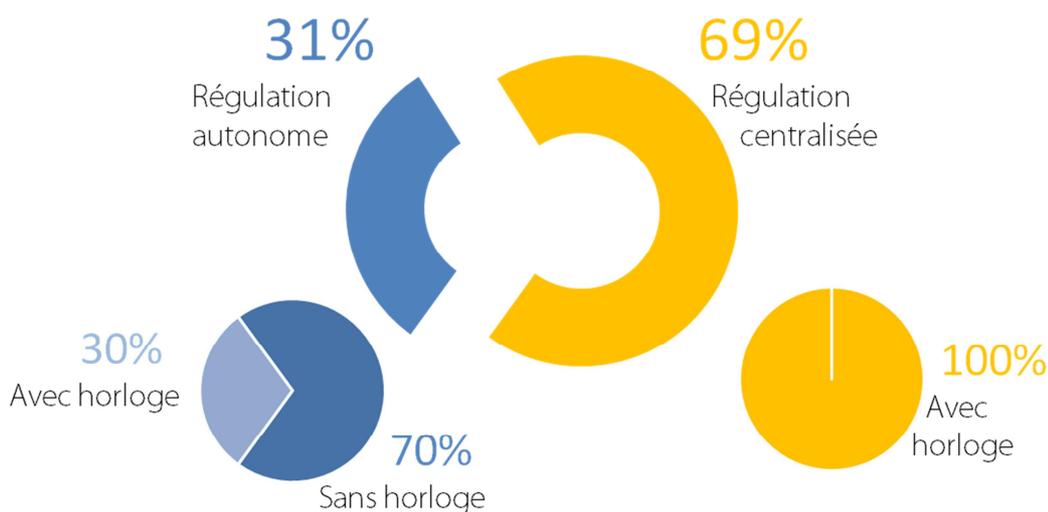


Figure 11 - Type de régulation des ventilo-convecteurs et détail sur la présence ou non d'un dispositif de gestion des intermittences.



3.2.2 État des lieux des fonctionnements de ventilateurs hors occupation

Profils journaliers moyens

Les profils ci-dessous mettent en avant les puissances importantes appelées par les ventilateurs hors occupation : en moyenne de $2,1 \text{ W/m}^2$ la nuit et $1,7 \text{ W/m}^2$ le week-end, alors que la puissance maximale atteinte en occupation n'est que de $2,8 \text{ W/m}^2$.

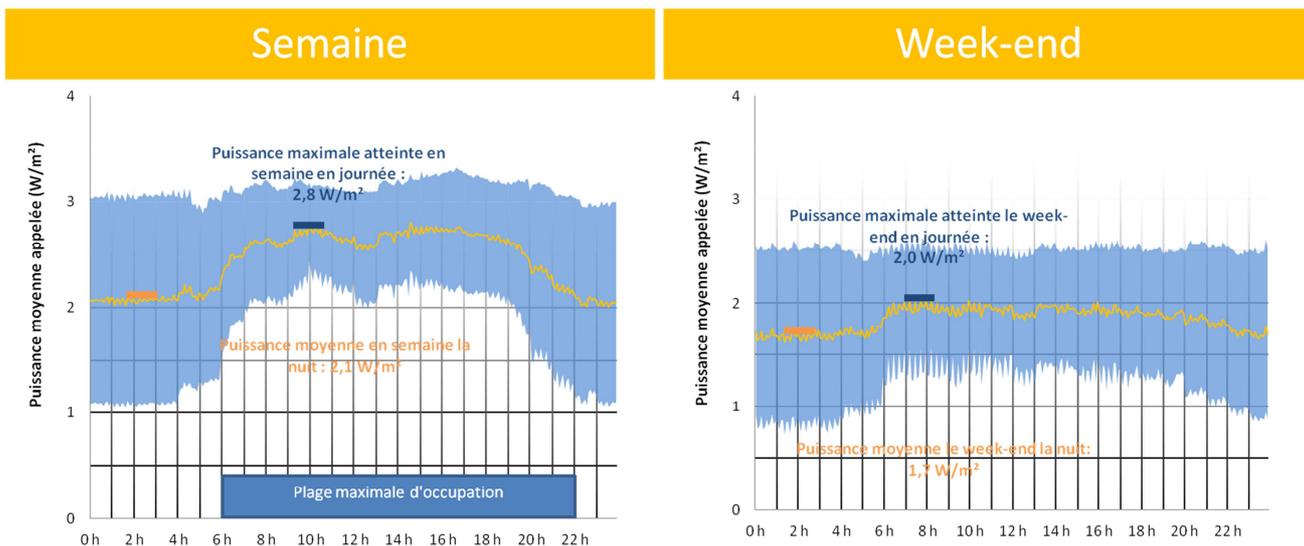


Figure 12 - Profils de types de charge des ventilateurs des ventilo-convecteurs les jours ouvrés (à gauche) et le week-end (à droite) – en jaune la moyenne de l'ensemble des immeubles de l'échantillon – en bleu, l'intervalle centré autour de la moyenne et de plage deux fois l'écart type.

Ce constat semble en contradiction avec le fait que dans 78 % des cas, le fonctionnement des équipements est contrôlé par horloge.

En effet, on pourrait s'attendre à ce que les équipements commandés par horloge s'arrêtent totalement la nuit, mais les mesures montrent que ce n'est le cas que pour 13 % des immeubles instrumentés.

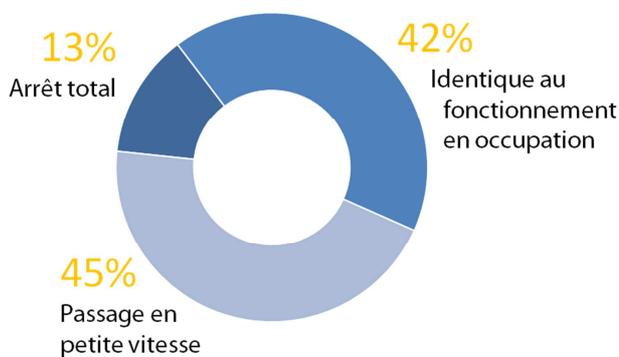


Figure 13 - Fonctionnement relevé en période d'inoccupation.

Malgré la présence de système de gestion d'intermittence, dans 87 % des cas, les ventilateurs fonctionnent en permanence, au moins en petite vitesse (ce qui reste très énergivore).

Les raisons en sont étudiées plus loin (cf. chapitres 3.2.3 et 3.4).



Horaires de fonctionnement

Dans le cas où les ventilo-convecteurs sont équipés d'une horloge déclenchant effectivement des passages en mode inoccupation (passage en petite vitesse ou arrêt total), leurs horaires de fonctionnement en mode occupation sont trop souvent inadaptés au besoin⁶, comme le montre le graphique ci-après.

Bien qu'en moyenne, le décalage entre les horaires de fonctionnement des ventilo-convecteurs en mode occupation et le besoin soit nul (les immeubles avec des plages de fonctionnement trop longues sont compensés par les immeubles avec des plages de fonctionnement trop courtes), on relève différentes situations :

- Le fonctionnement est adapté à l'occupation (décalage compris entre -1 et 1 h/j) uniquement dans 19 % des cas.
- Une économie d'énergie sensible (décalage supérieur ou égal à 1 h/j) est possible dans 50 % des cas. Pour ces immeubles, le décalage moyen est de 2 h par jour ouvré.
- Les horaires de fonctionnement journaliers sont inférieurs aux horaires effectifs d'occupation dans 31 % des cas. Ce qui occasionne probablement des problèmes d'inconfort.

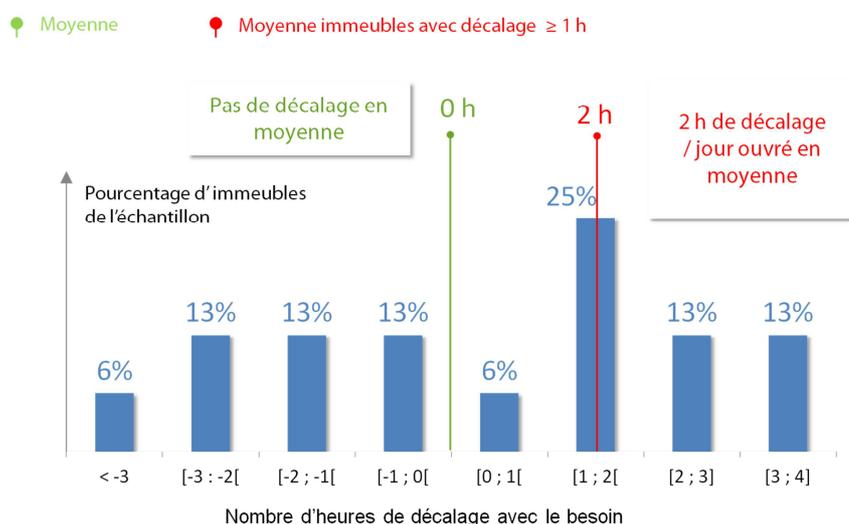


Figure 14 - Distribution du décalage entre le fonctionnement des ventilo-convecteurs en mode occupation et le besoin (en heures par jour ouvré).

On peut ainsi distinguer trois cas de figure résultants :

- Dans 42 % des cas l'équipement fonctionne en mode « confort » en continu, ce qui engendre une très forte consommation des ventilateurs et une consommation de chauffage et de refroidissement.
- Dans 45 % des cas l'équipement passe en mode réduit, avec des consignes de température adaptées à l'inoccupation, mais avec un maintien du fonctionnement des ventilateurs en petite vitesse, ce qui entraîne une consommation de ventilateurs encore importante. Les horaires du mode réduit sont rarement bien adaptés, mais en moyenne il n'y a pas de surconsommation associée (les décalages dans un sens compensent les décalages dans l'autre).
- Enfin, dans 13 % des immeubles les ventilo-convecteurs passent en mode réduit avec en plus un arrêt du ventilateur (sauf demande d'énergie). Il n'y a donc plus de surconsommation (là aussi, les horaires du mode réduit sont rarement bien adaptés, mais en moyenne il n'y a pas de surconsommation associée).

⁶ Défini ici comme la plage effective d'occupation de chaque immeuble, augmentée d'une heure avant le début d'occupation pour la remise en température.



Le potentiel d'économie lié à la suppression de la consommation en inoccupation est évalué dans le chapitre 3.2.4.

3.2.3 Causes de fonctionnement des ventilateurs hors occupation

En l'absence d'horloge (22 % des cas), la commande des équipements est directement assurée par les utilisateurs, qui doivent arrêter manuellement leurs équipements lorsqu'ils quittent les locaux. Les consommations résiduelles détectées sont donc directement corrélées à leur comportement.

Lorsque la régulation est centralisée (69 % des cas), les causes potentielles de consommation hors occupation sont plus nombreuses, compte-tenu des différents niveaux de régulation et de commande. Nous en recensons au moins cinq, d'abord représentées schématiquement puis détaillées.

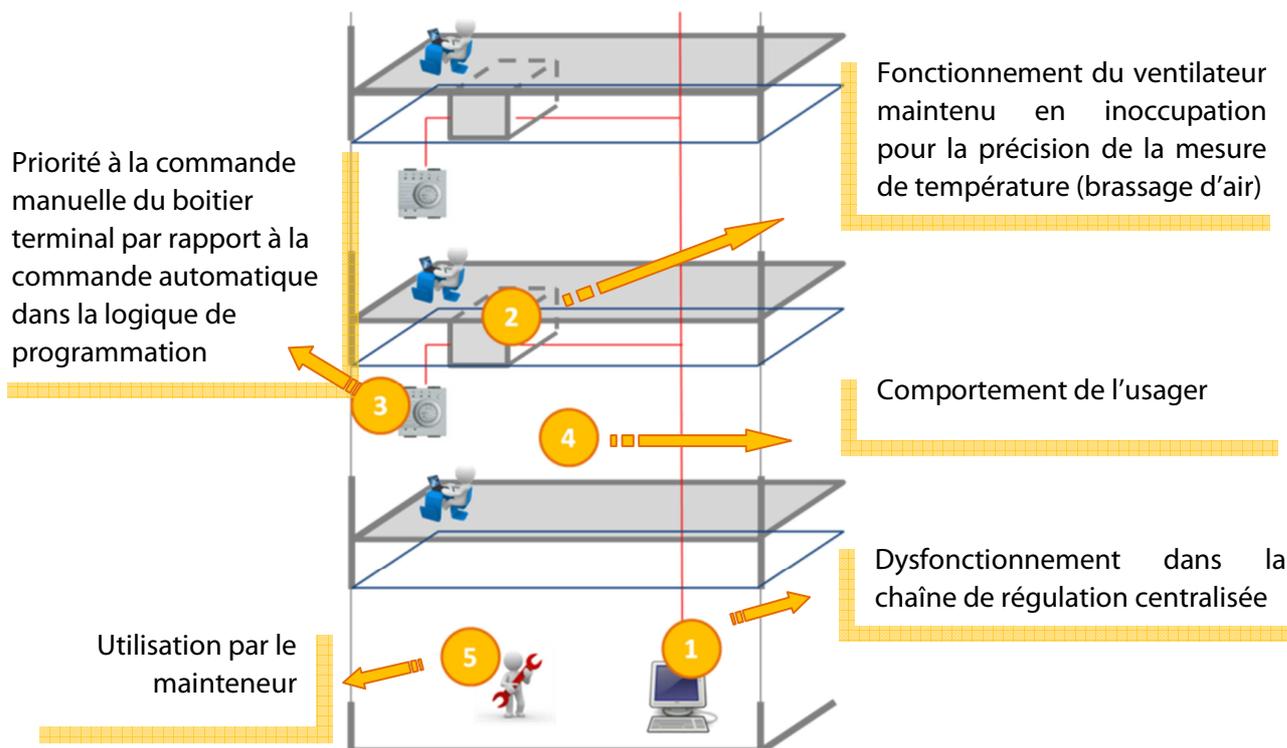


Figure 15 – Représentation schématique des principales causes potentielles de dysfonctionnement de la régulation centralisée des ventilo-convecteurs.

1

Dysfonctionnement dans la chaîne de régulation centralisée

Une non-cohérence entre le paramétrage GTB et le fonctionnement réel n'a pu être détectée que dans un nombre restreint d'immeubles. L'analyse de ce constat et le parallèle avec les centrales de traitement d'air font l'objet d'un chapitre dédié (cf. chapitre 3.4).

2

Fonctionnement du ventilateur maintenu en inoccupation pour la précision de la mesure de température

Dans bon nombre de cas (45 %), les profils de fonctionnement enregistrés font apparaître un fonctionnement en petite vitesse des ventilateurs hors occupation. Cela est en grande partie expliqué par la définition du mode réduit dans les régulateurs, lorsque la sonde de température servant à la régulation des batteries est située en gaine de reprise. Dans ce cas, le constructeur prévoit le maintien d'un brassage d'air minimum afin que la température mesurée par la sonde soit exactement celle de la pièce.

Cette configuration génère d'importantes consommations hors occupation.



Des solutions relativement simples permettent de contourner ce problème : sonde déportée d'étage, relance de courte durée du ventilateur toutes les heures, compensation du décalage de température, etc. On remarque cependant que cela n'est que rarement mis en œuvre, même parfois en conception d'immeubles neufs !

3

Priorité de la commande manuelle par rapport à la commande automatique

Nous avons remarqué dans d'autres cas que la consommation résiduelle est due à la dérogation du fonctionnement automatique par les usagers depuis les boîtiers de commande terminale. Il s'agit de boîtiers sur lesquels la dérogation manuelle est prioritaire sur la régulation centralisée : si par exemple un utilisateur règle son ventilo-convecteur en vitesse maximale, le ventilo-convecteur concerné ne changera pas de mode lorsque l'horloge diffusera l'ordre de passer en mode réduit.

Là encore, il existe aujourd'hui des systèmes de régulation performants, permettant de « gommer » les réglages (ou « dérèglages ») effectués par les usagers depuis leur commande terminale : remise à zéro automatique des paramètres chaque jour à une heure fixée, asservissement à l'occupation effective des locaux par détecteur de présence, etc.

4

Comportement des usagers

Les fonctionnements hors occupation dus à l'utilisation par les usagers des organes de commande des ventilo-convecteurs mis à leur disposition peuvent s'expliquer par le manque de connaissance des enjeux, les oublis (hiérarchisation des préoccupations), les problèmes d'ergonomie du système (l'utilisateur ne comprend pas l'effet des commandes à sa disposition (vitesses, modes, etc.)), le manque de pédagogie, etc.

5

Utilisation par le mainteneur

Il a été constaté, dans certains cas, que suite à un dérèglement temporaire (événement particulier, intervention, etc.) les paramètres d'origine n'avaient pas été rétablis par le mainteneur. Par exemple, un équipement fonctionnant tous les samedis depuis une demande de l'utilisateur qui concernait un samedi donné. De manière plus générale, on observe que le paramétrage des horaires de fonctionnement des équipements n'est pas toujours en adéquation avec le besoin réel, ce qui fait l'objet du chapitre suivant (cf. chapitre 3.2.4).



property management

Josephine de MONTMARIN

Responsable Développement Durable
ICADE PROPERTY MANAGEMENT

« *Consommations réelles, contrat à garantie de résultats, garantie des charges, maîtrise de la facture énergétique, ... la recherche des économies d'énergie et de la maîtrise des consommations, quelle qu'en soit la forme, nous pousse de plus en plus à réaliser des audits sur la régulation et plus particulièrement sur le système de gestion technique des bâtiments.*

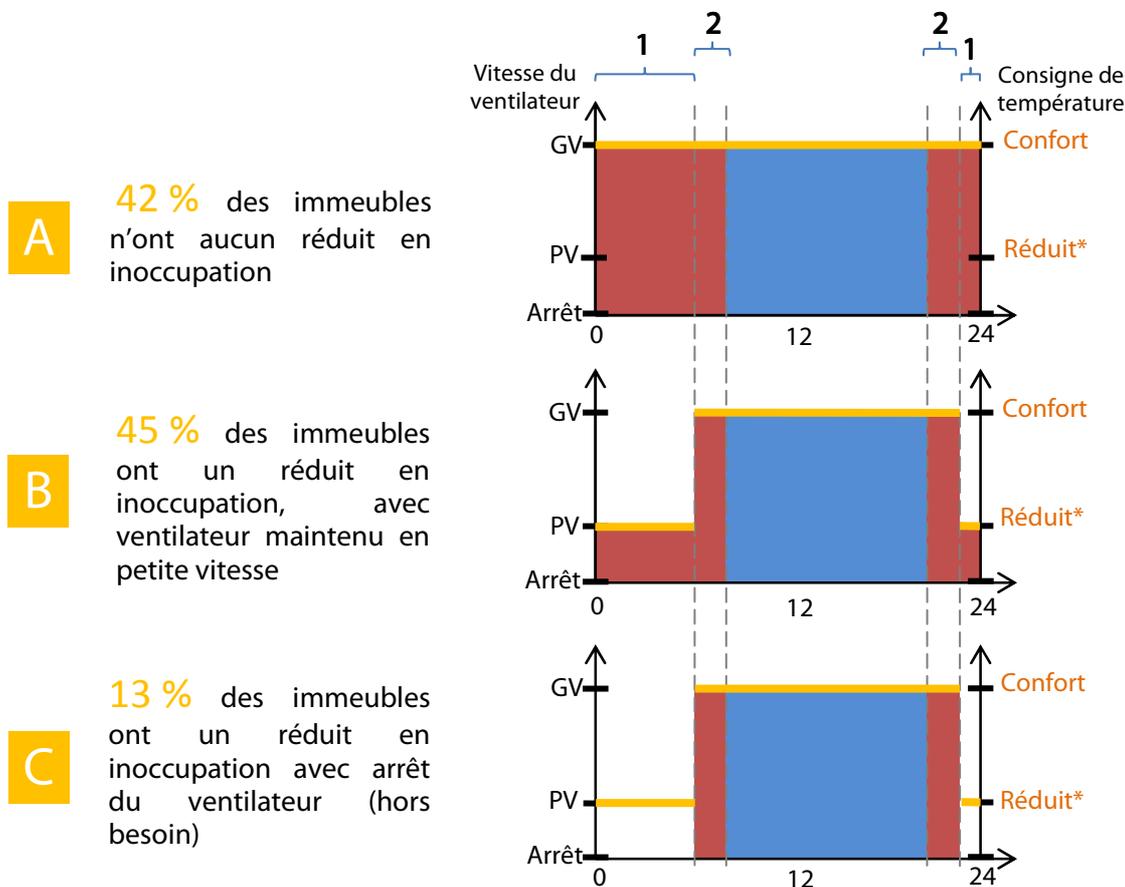
Nous constatons la nécessité d'une remise à niveau des anciennes GTB et d'un contrôle régulier des nouvelles, afin de garantir une régulation en adéquation avec le fonctionnement du site et les besoins des locataires. En effet, l'optimisation de la régulation est primordiale et est souvent la première action d'amélioration appliquée dans le cadre de CPE (par exemple : sur Défense Plaza, ou Secteur 4 Maine-Montparnasse, qui ont pu réaliser des économies significatives).

L'audit d'une GTB neuve sur une tour IGH à la Défense a récemment permis de déceler l'importance, non seulement de la programmation horaire adaptée, mais de l'ordre dans lequel la GTB lance les équipements. Le simple échelonnement sur quelques minutes des mises en activité des différents équipements le matin aura déjà permis le meilleur fonctionnement des équipements, en temps et en heure. »



3.2.4 Potentiel d'économies relatif à l'adaptation au besoin des horaires de fonctionnement des ventilo-convecteurs

Le potentiel d'économies hors occupation sur les ventilo-convecteurs porte à la fois sur les consommations des ventilateurs et de chauffage (la consommation de froid hors occupation étant considérée comme négligeable). Il se décompose en deux parties, comme le montre le schéma de principe suivant :



*Les réduits de température vont de quelques degrés au mode hors gel

Légende :	
■	Fonctionnement optimisé du ventilateur : adaptation au besoin
■	Fonctionnement intempestif du ventilateur.
■	Niveau de consigne de température
1	Partie du potentiel d'économies accessible par arrêt du ventilateur en mode réduit
2	Partie du potentiel d'économies accessible par l'optimisation de la programmation horaire

Figure 16 - Schéma de principe représentant le fonctionnement des ventilateurs des ventilo-convecteurs dans les 3 cas de figure identifiés Figure 13, et décomposition du potentiel d'économies d'énergie.

Comme établi précédemment (cf. chapitre 3.2.2), la partie des économies correspondant à la suppression des décalages entre les horaires et les besoins (« partie 2 » du schéma ci-dessus) présente une moyenne nulle sur l'ensemble des immeubles (les décalages en plus compensant les décalages en moins). Par conséquent, l'analyse ci-dessous traite uniquement de la partie des économies correspondant au passage en mode réduit (ou hors gel) avec arrêt du ventilateur la nuit et le week-end (partie « 1 » du schéma ci-dessus). Les immeubles dont le ventilateur est totalement arrêté en mode réduit (C) ne sont donc pas concernés.



Sur les immeubles concernés, le potentiel de gain est en moyenne de 10 h par jour ouvré, que ce soit dans le cas où les ventilateurs fonctionnent en petite vitesse en mode réduit (B) ou dans celui où il n'y a aucun réduit (A).

Potentiel d'économies sur les ventilateurs

Le gain d'énergie potentiel sur les ventilateurs (hors chauffage), à l'échelle de l'ensemble des immeubles étudiés (A, B et C), est de l'ordre de $24 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2_{SUB}\cdot\text{an})$, soit 53 % de la consommation totale des ventilateurs des ventilo-convecteurs.

Potentiel d'économies sur le chauffage

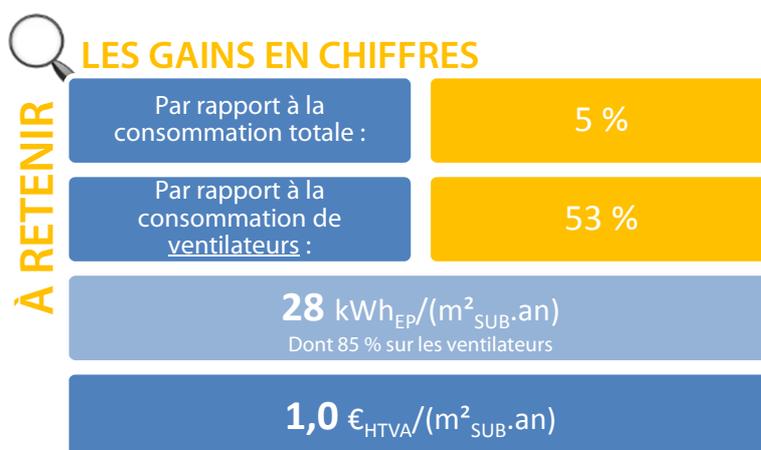
Des économies sur le poste chauffage sont également à considérer dans le cas où il n'y a aucun réduit (A, 42 % des cas). Pour ces immeubles, le gain potentiel sur le chauffage par application d'un réduit de température est estimé⁷ à $9 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2_{SUB}\cdot\text{an})$. Cela ne représente qu'un poids limité (26 %) dans le total des économies réalisables sur les ventilo-convecteurs dans ces immeubles, la part prépondérante (74 %) étant relative aux ventilateurs.

À l'échelle de l'ensemble des immeubles de l'échantillon (immeubles avec et immeubles sans réduit en inoccupation (A, B et C)), la part du chauffage dans les économies réalisables sur les ventilo-convecteurs est encore plus faible (15 %).

Le potentiel d'économies annuel moyen lié à l'adaptation des horaires et du mode de fonctionnement des ventilo-convecteurs au besoin est ainsi de $28 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2_{SUB}\cdot\text{an})$. Cela représente un gain financier de l'ordre de $1,0 \text{ €}_{HTVA}/(\text{m}^2_{SUB}\cdot\text{an})$.

La source prépondérante d'économies réside dans l'arrêt des ventilateurs des ventilo-convecteurs : de l'ordre de $24 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2_{SUB}\cdot\text{an})$. Le gain sur le chauffage n'est que de $4 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2_{SUB}\cdot\text{an})$.

Cette baisse de consommation passe essentiellement par l'arrêt la nuit et le week-end des ventilateurs qui actuellement fonctionnent en permanence. L'optimisation du paramétrage des horaires des équipements qui s'arrêtent déjà une partie du temps n'est pas génératrice de gain, en moyenne sur l'échantillon étudié : s'il y a bien un potentiel d'économies (de $3 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2_{SUB}\cdot\text{an})$) sur la moitié des immeubles, cela est effacé sur notre échantillon par le fait que sur une part d'environ 30 %, la période de fonctionnement des équipements en mode confort est en fait inférieure à la période d'occupation effective (ce qui peut bien sûr occasionner des problèmes de confort).



⁷ L'économie sur le chauffage a été obtenue par le calcul, l'ensemble des hypothèses se situe en Annexe.



3.3. Gestion technique des centrales de traitement d'air

Ce chapitre s'intéresse à la gestion des centrales de traitement d'air (CTA). Seules les centrales de traitement d'air destinées uniquement à l'apport d'air neuf sont prises en compte (exclusion des centrales secondaires assurant un rôle principal de chauffage ou de refroidissement : traitement d'un hall, etc.).

De la même façon que pour les ventilo-convecteurs, l'analyse est menée sur les enregistrements du fonctionnement des ventilateurs, comme indicateur du fonctionnement de la centrale dans son ensemble (à la différence des ventilo-convecteurs, les appels de puissance des ventilateurs peuvent dans presque tous les cas être aisément mesurés indépendamment de ceux des résistances électriques). Comme pour les ventilo-convecteurs, le calcul des économies potentielles porte à la fois sur la consommation des ventilateurs et de chauffage.

3.3.1 État des lieux des systèmes de gestion de l'intermittence

La majorité des immeubles de l'échantillon considéré sont équipés d'un système de gestion des horaires de fonctionnement des centrales de traitement d'air (CTA), soit de manière centralisée (50 %), soit de manière locale (27 %).

Cependant, pour presque un quart (23 %) des immeubles, les CTA d'air neuf ne sont pas équipées d'horloge.

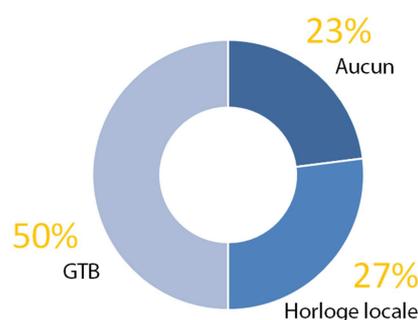


Figure 17 - Répartition du mode de gestion d'intermittence d'occupation des CTA.

3.3.2 État des lieux du fonctionnement hors occupation

Fonctionnement des systèmes de gestion

Un dysfonctionnement au niveau de la chaîne de régulation a été détecté dans 36 % des cas lorsque la régulation est centralisée, et dans 17 % des cas lorsque la régulation est locale. Dans certains cas, ces dysfonctionnements engendrent un fonctionnement permanent des centrales. Dans les autres cas, on observe un arrêt des centrales mais à des horaires non cohérents avec le paramétrage.

Par ailleurs, des horloges locales fonctionnelles mais non paramétrées ont été repérées dans 33 % des cas. Dans le cas de GTB, le paramétrage depuis le superviseur a toujours été effectué.

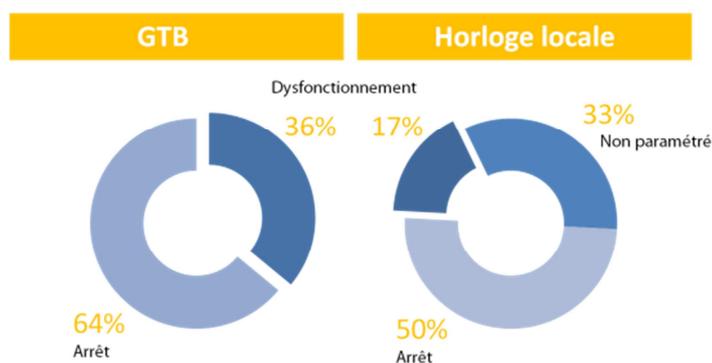


Figure 18 - Présence d'un éventuel fonctionnement hors occupation avec gestion par horloge locale et par GTB.

Utilisation des systèmes de gestion

Sur les immeubles dont les CTA s'arrêtent hors occupation, on observe des programmations mal ajustées dans 80 % des cas.

Nota : aucun immeuble de l'échantillon n'est associé à un système de rafraîchissement nocturne par CTA qui pourrait justifier leur fonctionnement hors période d'occupation.



Ces chiffres mettent en évidence la mauvaise gestion horaire des centrales de traitement d'air. Les systèmes centralisés (GTB) sont mieux utilisés que les systèmes locaux, qui pour un tiers ne sont même pas paramétrés, mais ils présentent des dysfonctionnements fréquents : plus du tiers des CTA raccordées à une GTB ne fonctionnent pas selon les horaires paramétrés sur la supervision. De plus, 80 % des systèmes de programmation qui fonctionnent correctement sont réglés sur des horaires mal ajustés.

3.3.3 Potentiel d'économies relatif à l'adaptation des horaires de fonctionnement à l'occupation

En cas de fonctionnement permanent (dysfonctionnement, absence de paramétrage ou absence d'horloge), le gain journalier en termes d'heures de fonctionnement est en moyenne de 11 h les jours ouvrés (et total le week-end). A l'échelle des centrales concernées, cela représente un gain annuel sur les ventilateurs de 23 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an) (soit 59 % de leur consommation), et un gain annuel sur les batteries de préchauffage de l'air neuf estimé⁸ à 74 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an) (soit 62 % de leur consommation)⁹.

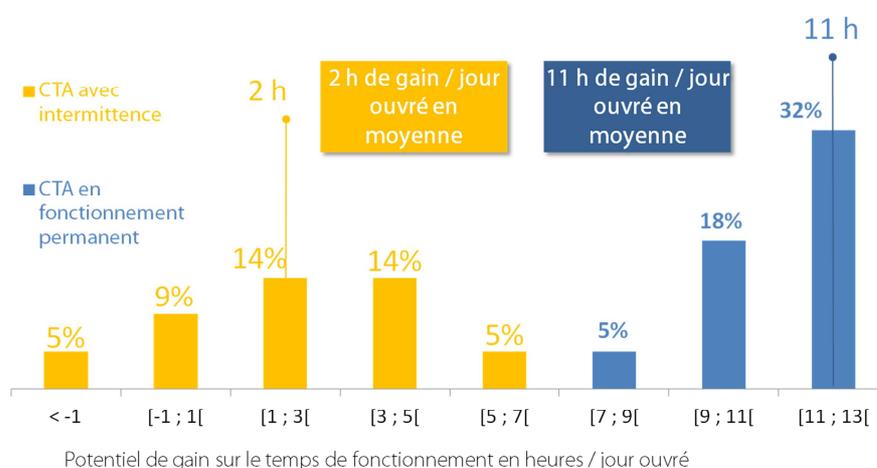


Figure 19 : Distribution du potentiel de gain (en heures par jour ouvré) relatif à l'adaptation des heures de fonctionnement des CTA aux horaires d'occupation effective.

Même lorsque les centrales s'arrêtent effectivement hors occupation, le paramétrage des horaires de fonctionnement n'est pas toujours correctement adapté au site. Leur optimisation par rapport aux horaires d'occupation engendrerait des gains en moyenne de 2 h par jour ouvré, soit un gain annuel sur la consommation de leur ventilateur de 3 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an) (14 %), et un gain sur la consommation de leur batterie de préchauffage estimé⁷ à 6 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an) (14 %).

Globalement, le potentiel d'économies annuel moyen lié à l'adaptation des horaires de fonctionnement des CTA à l'occupation est de 57 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an). Le gain financier correspondant est de l'ordre de 2,3 €_{HTVA}/(m²_{SUB}.an).

Le potentiel d'économies concerne majoritairement le poste préchauffage de l'air neuf, avec un gain de 43 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an), soit 40 % de la consommation des batteries chaudes. La part restante des économies, de 14 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an), concerne les ventilateurs, ce qui représente 48 % de leur consommation.

⁸ L'économie sur le chauffage a été obtenue par calcul, l'ensemble des hypothèses se situe en Annexe.

⁹ La consommation de prérefroidissement hors occupation est négligée (le fonctionnement hors occupation correspond en général à des périodes de la journée où la température de l'air extérieur est modérée).



À RETENIR

LES GAINS EN CHIFFRES

Par rapport à la consommation totale :

10 %

Par rapport à la consommation des batteries chaudes :

40 %

Par rapport à la consommation des ventilateurs :

48 %

57 kWh_{EP}/(m²_{SUB}.an)
Dont 75 % de chauffage2,3 €_{HTVA}/(m²_{SUB}.an)**Nirmal ARYAL**Ingénieur Environnement
GENERALI REAL ESTATE

« Dans le cadre d'une maîtrise des consommations d'énergies dans les immeubles de bureaux, l'usage et l'exploitation ont un impact non négligeable. Ce constat peut être réalisé à travers les audits énergétiques initiés dès 2008 sur le patrimoine de Generali Real Estate France. Les échanges que nous avons avec nos locataires à travers les Comités Environnementaux, la certification en exploitation ou d'autres actions de mobilisation et sensibilisation sont en train de porter leurs fruits. De même, l'amélioration de l'exploitation et de la gestion technique des immeubles nous ont permis d'atteindre des baisses de consommations énergétiques conséquentes. Sur le patrimoine de Generali Real Estate France, nous avons ainsi pu observer un gain en énergie primaire de l'ordre de 20 % et de 23 % sur des immeubles comme Euroatrium et Eureka.

Il est communément admis que les actions liées à l'utilisation et à l'amélioration de l'exploitation sont moins coûteuses en termes financiers que les travaux de rénovation du bâti ou des équipements techniques. Mais il reste encore un gros travail de changement de mœurs et de prise de conscience de toutes les parties prenantes pour réduire le volume de gisement d'économie d'énergie lié à l'utilisation et à l'exploitation des immeubles. »



3.4. Focus sur les dysfonctionnements de systèmes centralisés (GTB)

Un système centralisé de gestion des équipements permet en principe d'agir sur l'ensemble des systèmes avec une facilité accrue, que ce soit de manière manuelle (intervention ponctuelle) ou automatique (programmes horaires, hebdomadaires, etc.). Il est le plus souvent également destiné à remonter de l'information en provenance du terrain (état des équipements contrôlés, processus, retour sur les commandes et actions locales, etc.).

Les observations et les enregistrements sur le terrain montrent que ces bénéfices pour l'immeuble, très souvent, ne sont pas au rendez-vous.

L'architecture sur laquelle s'appuie un système centralisé est souvent complexe, avec notamment plusieurs niveaux (superviseur, concentrateurs, automates de terrain, actionneurs, etc.), qui utilisent parfois différents protocoles de communication. De par cette complexité, il y a davantage de sources potentielles de dysfonctionnement(s) que dans un système de régulation local. Ces dysfonctionnements peuvent en particulier engendrer un fonctionnement intempestif des équipements en période d'inoccupation.

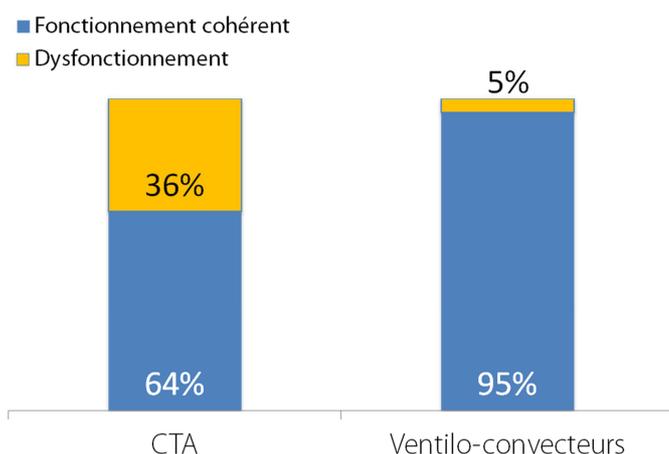


Figure 20 – Incohérences entre les horaires paramétrés et les horaires relevés sur les ventilo-convecteurs et les CTA, dans le cas de systèmes gérés par GTB.

Lorsque les équipements sont pilotés par un système GTB, des dysfonctionnements ont été constatés sur des centrales de traitement d'air dans 36 % des immeubles, et plus minoritairement sur des ventilo-convecteurs, dans 5 % des cas.

Il est probable que cette différence soit liée au fait que le fonctionnement d'une CTA est la majeure partie du temps insensible pour les usagers, tandis que l'arrêt intempestif d'un ventilo-convecteur est très rapidement ressenti et signalé par les usagers. Ainsi, il est possible pour les ventilo-convecteurs comme pour les CTA de fonctionner sur des plages horaires trop importantes sans que cela soit remarqué ; par contre un dysfonctionnement majeur de la commande centralisée des ventilo-convecteurs sera rapidement repéré et traité.

De manière générale, ces chiffres mettent en évidence l'importance de la maintenance et des contrôles réguliers de la GTB : ce qui est paramétré n'est pas forcément ce qui se passe ! Il est donc nécessaire de vérifier de manière périodique que le fonctionnement effectif des équipements correspond bien au fonctionnement souhaité.



Daniel MAGNET

Membre du Comité IPMVP de l'Efficiency Valuation Organization

« L'absence ou la pauvreté d'un processus Qualité appliqué aux GTB est largement constatée dans le cadre d'audits GTB en France. Or à défaut d'un tel système Qualité, les systèmes GTB sont en général sous-employés dans leur capacité d'auto-contrôle. D'où les multiples lacunes constatées dans les enquêtes de terrain, et souvent non connues des organisations en place.

Ces processus sont pourtant classiques dans l'industrie ou les organisations à la pointe des activités de gestion – pourquoi la gestion technique du bâtiment devrait-elle faire exception ? »



Au-delà, un système de GTB devrait en principe constituer un système bouclé, c'est-à-dire non seulement permettant d'agir, mais aussi remontant de l'information en provenance du terrain. La plupart des GTB offrent de telles fonctionnalités de contrôle et de traçabilité, par le biais d'alertes, d'historiques d'actions, d'états ou de mesures, ainsi que par le biais de fonctions de préparation de rapports. Ces fonctionnalités, qui devraient permettre de détecter les fonctionnements hors occupation, et bien d'autres dysfonctionnements, sont en général trop peu utilisées. Parce que mal adaptées à leurs utilisateurs, méconnues, ou encore dysfonctionnant.

L'amélioration de cette utilisation de la GTB passe par des changements sur l'ensemble de son cycle de vie : dès la conception, puis lors de la mise en fonctionnement de nouvelles installations, elle nécessite en particulier une juste spécification des besoins en remontée d'informations (qualification des informations, mais aussi de leur mise en forme et de l'utilisateur potentiel : mainteneur, usager, gestionnaire, décideur, etc.). Ensuite, le prolongement dans le temps de la bonne utilisation de la GTB passe par le provisionnement des moyens nécessaires à son évolution, un contrôle régulier de son bon fonctionnement et des vérifications périodiques plus approfondies (recommissionnement, passant entre autres par des campagnes temporaires d'enregistrement du fonctionnement des systèmes).

Les systèmes de gestion centralisée (GTB) constituent un outil au fort potentiel, non seulement pour la gestion quotidienne, mais aussi pour l'identification des anomalies. À condition d'être conçus et utilisés en ce sens. À condition aussi d'effectuer des vérifications régulières du bon fonctionnement, via la GTB elle-même et sur le terrain.



4 CE QU'IL FAUT RETENIR

Les mesures décrites dans cette synthèse laissent entrevoir un fort potentiel de gain énergétique par suppression de consommation hors occupation sur quatre équipements majeur : éclairage, bureautique, ventilo-convecteurs et centrales de traitement d'air.

Les gains potentiels sur la consommation électrique (mesurée) et de chauffage (estimée) des équipements considérés dans la présente étude représentent au total $127 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2_{SUB}\cdot\text{an})$, soit une économie de 22 % par rapport à la consommation actuelle totale des immeubles du parc audité par MANEXI. Sur le plan financier, cela représente un gain de l'ordre de $4,6 \text{ €}_{HTVA}/(\text{m}^2_{SUB}\cdot\text{an})$.

À l'échelle des postes étudiés ici, les gains sont de 36 % par rapport à leur consommation actuelle totale. Les gains les plus conséquents en valeur absolue se situent :

- Sur le chauffage : $47 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2_{SUB}\cdot\text{an})$, et plus particulièrement sur le préchauffage de l'air neuf par les CTA ;
- Sur la bureautique : $31 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2_{SUB}\cdot\text{an})$.

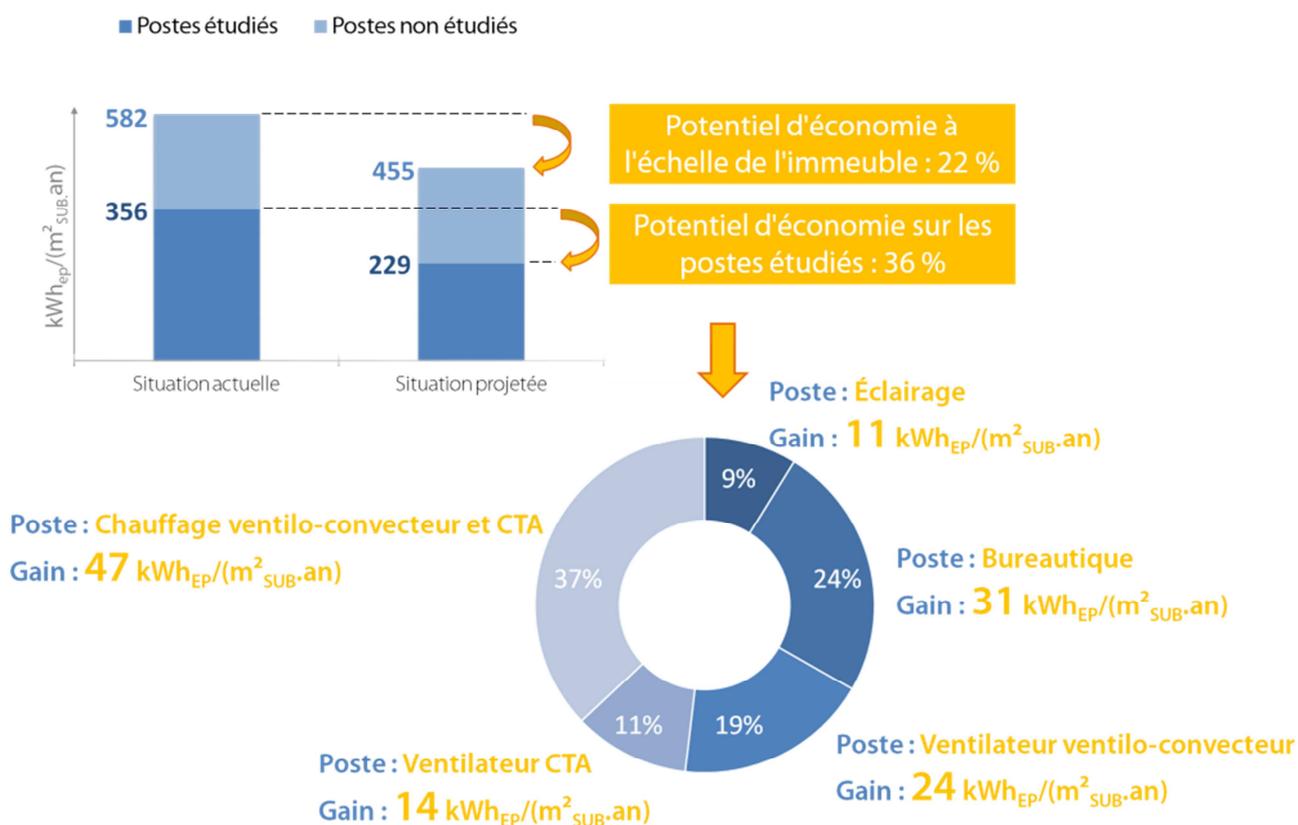


Figure 21 - Récapitulatif des gains potentiels (en énergie primaire) en valeur absolue et en valeur relative, à l'échelle de l'ensemble du parc étudié et répartition des gains par poste.



Il faut noter que ces économies peuvent être atteintes par l'utilisation de commandes manuelles et de simples horloges (installation, remise en fonctionnement ou réglage), ou par l'installation ou la remise en bon fonctionnement des systèmes d'intermittence (horloge, GTB). Des gains supérieurs peuvent naturellement être atteints par la mise en place de systèmes de détection, de gradation, d'optimisation, de récupération, variation de vitesse, etc.

L'atteinte du potentiel annoncé ici repose donc moins sur la technique et les systèmes de gestion de l'intermittence que sur la mise en place et le suivi d'une démarche d'économies d'énergie rassemblant les nombreux acteurs de l'immeuble : propriétaire, gestionnaire, locataires, utilisateurs, mainteneurs multitechnique, mainteneurs GTB, services informatiques, usagers, etc.

La mobilisation de ces acteurs et la définition des objectifs passent avant tout par la mise en évidence de la consommation hors occupation, pour chaque immeuble individuellement. Il existe de multiples solutions pour traquer ces consommations invisibles : instrumentations électriques de courte durée (15 jours), mise en place pérenne de compteurs avec analyse régulière des données, utilisation des modules d'enregistrements de tendances d'une GTB, logiciel permettant d'analyser l'utilisation des appareils informatiques, logiciel de détection d'anomalies à coupler avec une GTB, etc. **Cet état des lieux va à la fois apporter des éléments forts pour la sensibilisation et permettre de définir un plan d'actions pour la réalisation des économies.**

La mise en œuvre pourra ensuite s'inscrire dans le cadre d'une annexe environnementale au bail, d'un système de management de l'énergie (ISO 50 001), ou d'un système de management plus large (HQEx, ISO 14 001, etc.). Mais dans tous les cas, on devra prévoir de s'assurer de l'atteinte des économies attendues et de leur pérennisation.



PERIAL

Benjamin MERCURIALI

Directeur du Développement
Durable et Valorisation des Actifs
PERIAL

« Les conclusions de l'étude publiée par MANEXI recoupent nos convictions quant aux potentiels mobilisables et confirment la pertinence de la stratégie environnementale mise en œuvre dans le cadre de la gestion de notre SCPI « PFO² ». En effet, celle-ci repose sur trois piliers : bonne gestion, bonne utilisation et travaux d'amélioration.

Nos retours d'expérience, suite au déploiement de notre stratégie environnementale sur le patrimoine de la SCPI PFO², ont également confirmé un autre point : la nécessité de mettre en place une méthode itérative pour maintenir dans le temps les gains générés par la mobilisation des deux premiers piliers. Pour notre part, nous considérons que la démarche est à renouveler tous les deux ans. »



ANNEXES

DÉFINITIONS ET HYPOTHÈSES UTILISÉES

Consommation réelle du parc de bureaux privé

Les consommations réelles totales sont établies sur la base de factures (ou de relevés) d'énergie des années précédant chaque audit. Étant ici destinées à déterminer des ordres de grandeurs moyens, elles ont été utilisées brutes (sans ajustement en fonction de l'occupation, de la météo, de l'activité économique...).

Moyennes

Les moyennes sur l'échantillon sont réalisées sur les valeurs surfaciques, sans pondération entre les immeubles. Autrement dit, chaque immeuble a le même poids dans la moyenne, quelle que soit sa surface.

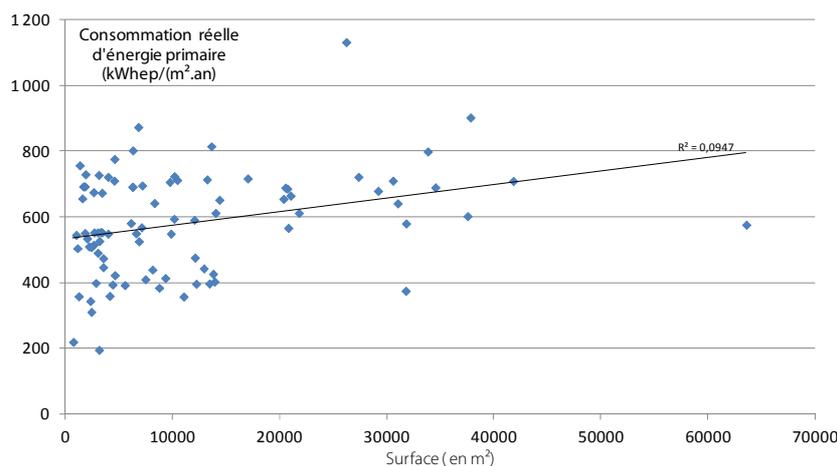
La différence avec une moyenne pondérée en fonction de la surface est faible. La moyenne sur les valeurs surfaciques a été retenue pour illustrer au mieux les caractéristiques d'un « immeuble moyen ». Les moyennes pondérées auraient davantage leur place dans une réflexion de type politique énergétique à l'échelle d'un territoire (réflexion sur la consommation totale).

Remarque :

Sur notre échantillon, les immeubles plus grands ont tendance à être plus intensément consommateurs (au m^2) que les plus petits.

Cette tendance est réduite : la pente est de $4 \text{ kWh}_{EP}/(m^2 \cdot \text{an})$ pour $1\,000 \text{ m}^2$.

De plus, la forte dispersion et le fait que cette tendance n'apparaissait pas dans notre base de données l'an dernier laissent à penser qu'il ne s'agit pas d'une corrélation mais seulement d'un artéfact.



La consommation moyenne pondérée en fonction de la surface (calculée comme la consommation totale divisée par la surface totale) est donc de :

- en énergie primaire $626 \text{ kWh}_{EP}/(m^2 \cdot \text{an})$ (contre 582 sans pondération) ;
- en énergie finale $295 \text{ kWh}_{EF}/(m^2 \cdot \text{an})$ (contre 276 sans pondération).



Surfaces

Sauf précision contraire, toutes les surfaces mentionnées dans le présent document sont des surfaces utiles brutes. Les valeurs sont celles fournies par chaque gestionnaire d'immeuble (la définition de la surface utile brute pouvant varier d'un acteur à l'autre). Lorsque le choix nous est laissé ou lorsque l'évaluation de la surface est réalisée par nos soins, la définition utilisée est celle de la Charte de l'expertise en évaluation immobilière de l'IFEI.

Les économies portant uniquement sur les équipements des plateaux de bureaux ont été ramenées à l'échelle de l'immeuble entier (y compris halls, paliers, restaurants, locaux sociaux, sanitaires, etc.) en prenant en compte l'hypothèse suivante : $SUN = 0,85 \times SUB$, (avec SUN : surface utile nette ; SUB : surface utile brute).

Énergie

Sauf mention contraire, l'énergie est comptabilisée en énergie primaire et en pouvoir calorifique inférieur, avec les facteurs de conversion suivants :

- Gaz : $1 \text{ kWh}_{PCS} = 0,9 \text{ kWh}_{PCI}$;
- Électricité : $1 \text{ kWh}_{EF} = 2,58 \text{ kWh}_{EP}$;
- Réseaux de chaleur urbain : pas de conversion.

Prix de l'énergie

- Gaz : $0,05 \text{ €}_{HTVA}/\text{kWh}_{EF, PCI}$;
- Électricité : $0,08 \text{ €}_{HTVA}/\text{kWh}_{EF}$;
- Réseau de chaleur urbain : $0,10 \text{ €}_{HTVA}/\text{kWh}_{EF}$.

Il n'est pas tenu compte des différences tarifaires selon l'horaire de consommation ni de l'effet d'éventuels appels de puissance sur le coût de l'abonnement (il a été considéré qu'une relance d'une heure permettait de limiter le besoin de puissance – d'autant qu'il est possible d'augmenter cette durée de relance les quelques jours les plus froids).

Consommation annuelle des postes instrumentés

La consommation annuelle des postes instrumentés étudiés (éclairage bureaux, bureautique, ventilo-convecteurs, CTA) a été établie à partir des profils de charges moyens des jours de semaine et de week-end, en négligeant les jours fériés.

Simplification des postes concernés par les mesures sur les prises de courant

La consommation des prises de courant a été assimilée uniquement au poste bureautique. En réalité, le fonctionnement des autres équipements qui sont repris sur les départs prises de courant serait à prendre en compte, mais ont été considérées comme négligeables.

Leur nature dépend des immeubles, mais il peut s'agir, suivant les configurations, de : prises de courant nettoyage, prises de courant coin détente (machine à café, distributeur, micro-ondes, etc.), ballons ECS, sèche-mains, etc.



Occupation

Lors des audits, les périodes d'occupation de chaque immeuble sont déterminées au cas par cas sur la base d'échanges avec les utilisateurs et des profils d'instrumentation (lecture des fronts de puissance sur les appels de puissance).

Pour les besoins de cette synthèse, les horaires d'occupation de chaque immeuble ont été re-déterminés à partir des seuls profils d'instrumentation (en particulier à partir de l'observation des fronts de consommation d'éclairage et de bureautique).

Il est à noter que certains immeubles présentent une légère occupation le week-end (cf. profils journaliers moyens d'éclairage et de bureautique au chapitre 3.1.2.). Néanmoins, cette faible occupation a été négligée dans cette étude, afin de simplifier l'analyse et les calculs.

Ainsi, le gain potentiel relatif à la suppression de la consommation d'éclairage hors occupation a été légèrement surestimé pour certains immeubles, où la présence de quelques usagers le samedi nécessite de l'éclairage parfois sur un plateau entier (selon la distribution).

Consommation annuelle d'énergie tous postes confondus

Afin de ramener les économies d'énergie à l'échelle de la consommation totale de l'immeuble, la consommation considérée tous postes confondus est de $582 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2_{SUB.an})$, et correspond à la consommation moyenne des immeubles du parc de bureaux audité par MANEXI (cf. chapitre 2.).

Profils-types

Les courbes de fonctionnement moyen sont tracées à partir des enregistrements de terrain selon le processus suivant. Il a été fixé de manière à obtenir des profils-types les plus représentatifs possible, dans lesquels chaque campagne d'instrumentation pèse autant, quelle que soit la performance intrinsèque des équipements de l'immeuble.

1. Sélection des campagnes d'instrumentation retenues ;
2. Uniformisation des intervalles de mesure (par interpolation) sur une base d'un pas de temps de 5min commençant à 00:00 ;
3. Uniformisation des puissances appelées surfaciques maximales : chaque campagne est ramenée à une valeur maximale de $1 \text{ W}/\text{m}^2_{SUN}$;
4. Distinction des jours ouvrés et des jours de week-end (et jours fériés) ;
5. Pour chaque pas de temps, détermination de la moyenne et de l'écart-type ;
6. Calcul de la puissance maximale moyenne et application aux courbes établies au point précédent.

Calcul de la puissance appelée par les centrales de traitement d'air neuf en fonctionnement

La puissance appelée des CTA instrumentées n'étant pas systématiquement ramenée à la surface dans nos études, nous avons considéré ici une consommation moyenne forfaitaire de $2,0 \text{ W}/\text{m}^2_{SUN}$, comprenant soufflage et extraction, calculée à partir des ratios de dimensionnement métier suivantes :

- Débit d'air neuf par occupant de $25 \text{ (m}^3/\text{h)}/\text{pers}$;
- Efficacité du ventilateur de soufflage de $0,5 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ et du ventilateur d'extraction de $0,5 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$;
- Densité d'occupation de $10 \text{ m}^2_{SUN}/\text{pers}$.



Par ailleurs, les mesures portent généralement sur les ventilateurs de soufflage des CTA uniquement. Par hypothèse, il a été considéré que les extracteurs suivaient le même profil de fonctionnement.

Les horaires de fonctionnement optimisés des CTA considérés dans les calculs d'économies sont identiques aux horaires d'occupation des locaux (pas d'anticipation de la relance, la fonction des CTA étudiées étant de renouveler l'air neuf dans les locaux en période d'occupation).

Calcul des économies de chauffage relatives à l'arrêt des centrales de traitement d'air en inoccupation

La consommation de préchauffage des CTA n'a été mesurée que dans le cas de CTA avec batterie électrique. Même dans ce cas, la période de mesure n'est pas assez longue pour calculer un gain annuel.

Les économies sur le poste préchauffage de l'air neuf relatives à l'arrêt des CTA en inoccupation ont donc été approximées, sur la base d'un calcul à la main, et celles sur le refroidissement de l'air neuf ont été négligées. Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- Débit de soufflage : 1 vol/h ;
- Hauteur sous plafond : 3 m ;
- Température d'ambiance dans les bureaux : 24 °C toute l'année ;
- Profil de température extérieure : d'après la moyenne trentenaire de la station Paris Montsouris ;
- Arrêt des batteries chaudes des CTA du 1^{er} juin au 1^{er} octobre ;
- Si présent, rendement du système de récupération de chaleur : système à eau glycolée : 45 % ; échangeur à plaques : 60 % ; échangeur à roue : 80 % ;
- Si présent, système de récupération de chaleur fonctionnant uniquement si la température extérieure est inférieure à 15 °C ;
- Si réseau de distribution présent, rendement de distribution : 90 % ;
- Rendements de génération moyens, selon les cas :
 - Effet Joule : 100 % ;
 - Échangeur CPCU : 97 % ;
 - Chaudières gaz (standard) : 80 % ;
 - Pompe à chaleur : COP de 2,5.

Le tableau suivant récapitule la nature de l'échantillon considéré pour le calcul de l'économie de chauffage :

Index immeuble	Energie utilisée	Type de production	Type de récupération	Réseau de distribution	Température de soufflage
1	CPCU	Échangeur CPCU	Eau glycolée	Oui	22 °C
2	Électricité	Effet Joule	Sans	Non	22 °C
3	Gaz	Chaudière gaz	Sans	Oui	21 °C
4	Électricité	Effet Joule	Sans	Non	24 °C
5	Électricité	Effet Joule	Sans	Non	20 °C
6	Électricité	Effet Joule	Eau glycolée	Non	23 °C
7	Gaz	Chaudière gaz	Sans	Oui	19 °C
8	CPCU	Échangeur CPCU	Sans	Oui	Loi de soufflage
9	Électricité	Effet Joule	Eau glycolée	Non	23 °C



Index immeuble	Energie utilisée	Type de production	Type de récupération	Réseau de distribution	Température de soufflage
10	Électricité	Effet Joule	Sans	Non	20 °C
11	CPCU	Échangeur CPCU	Sans	Oui	22 °C en occupation, 20°C en inoccupation
12	Gaz	Pompe à chaleur	Sans	Oui	23 °C
13	CPCU	Échangeur CPCU	Sans	Oui	23 °C
14	Électricité	Pompe à chaleur	Eau glycolée	Oui	Loi de soufflage
15	Électricité	Effet Joule	Eau glycolée	Non	23 °C
16	Électricité	Effet Joule	Eau glycolée	Non	23 °C
17	CPCU	Échangeur CPCU	Sans	Oui	23 °C

Calcul des économies de chauffage relatives à la mise en réduit des ventilo-convecteurs en inoccupation

Tout comme pour les CTA, les économies sur le poste chauffage relatives à la mise en réduit des ventilo-convecteurs en inoccupation se basent sur un calcul à la main, et celles sur le refroidissement ont été négligées.

Les gains ont été calculés uniquement pour les immeubles ne présentant pas de réduit sur le ventilateur des ventilo-convecteurs. En particulier, il a été considéré qu'il y a déjà un réduit de température sur les immeubles dont le ventilateur des ventilo-convecteurs s'arrête totalement ou fonctionne en petite vitesse en inoccupation.

L'équation simplifiée utilisée est exprimée ci-dessous :

$$\text{Gain d'énergie} = U_{\text{bât}} \times S_{\text{déperditive}} \times (T_{\text{sans réduit}} - T_{\text{réduit}}) \times t$$

Avec :

- $U_{\text{bât}}$: coefficient de déperdition de l'immeuble, en $W/(m^2.K)$;
- $S_{\text{déperditive}}$: surface déperditive de l'immeuble, en m^2 ;
- $T_{\text{sans réduit}} - T_{\text{réduit}}$: valeur du réduit de température appliqué dans les locaux, en °C ;
- t : nombre d'heures pour lesquelles les locaux ne sont pas occupés.

Les hypothèses sont les suivantes :

- Réduit moyen en inoccupation : 3 °C ;
- Rendements de génération et de distribution utilisés : cf. hypothèses économies chauffage arrêt des CTA.

Le tableau suivant récapitule la nature de l'échantillon considéré pour le calcul des économies de chauffage :

Index immeuble	Énergie utilisée	Type de production	Réseau de distribution	$U_{\text{bât}}$, en $W/(m^2.K)$	Ratio $S_{\text{déperditive}} / SUB$
1	CPCU	Échangeur CPCU	Oui	0,90	0,78
2	CPCU	Échangeur CPCU	Oui	0,52	0,62
3	Electricité	PAC	Non	1,43	1,09
4	CPCU	Échangeur CPCU	Oui	1,16	0,78



Index immeuble	Énergie utilisée	Type de production	Réseau de distribution	Ubât, en W/(m ² .K)	Ratio S _{déperditive} / SUB
5	CPCU	Échangeur CPCU	Oui	0,73	0,95
6	CPCU	Échangeur CPCU	Oui	1,61	0,54
7	CPCU	Échangeur CPCU	Oui	1,21	0,60
8	CPCU	Échangeur CPCU	Oui	1,15	0,80
9	CPCU	Échangeur CPCU	Oui	1,08	0,86
10	CPCU	Échangeur CPCU	Oui	1,10	0,85
11	Gaz	Chaudière gaz	Oui	1,84	0,71
12	Gaz	Chaudière gaz	Oui	0,96	0,67
13	Electricité	Effet Joule	Non	1,11	0,84
14	Electricité	Effet Joule	Non	1,14	0,90



