

Ventilation et économie d'énergie : une expérience concluante dans une Unité de recherche de l'INRA

Damien Fourcy¹ Gilles Monod²

Résumé. Une méthode de gestion technique visant à réduire la consommation d'énergie pour le chauffage des locaux est appliquée depuis 2012 à l'Unité LPGP (Laboratoire de Physiologie et génomique des poissons) de Rennes. Cette méthode exploite le gisement d'économie d'énergie qui réside dans la régulation de la ventilation des locaux. La démarche a d'abord consisté à établir un diagnostic de la ventilation des locaux et des déperditions thermiques qui en découlent. Celui-ci a mis en évidence le rôle considérable des hottes de laboratoire, équivalent à celui de la ventilation mécanique contrôlée (VMC). Nous avons alors élaboré une solution de régulation de la ventilation répondant à trois impératifs : le respect de la législation sur la qualité de l'air intérieur, une adéquation avec les caractéristiques techniques du bâtiment et un très faible coût d'investissement. La régulation des sorbonnes a consisté à rationaliser leur utilisation, alors que la régulation de la VMC est du type jour/nuit avec un fonctionnement maintenu durant la présence du personnel dans les locaux et désactivé quand ces derniers sont inoccupés. Les résultats valident nos hypothèses de départ. La consommation d'énergie pour le chauffage a été abaissée de 20 %. Cette expérience montre qu'il est possible de réaliser d'importantes économies d'énergie en régulant la ventilation des locaux, tout en respectant la réglementation et le bien-être des personnes, avec un coût d'investissement très faible. Cette démarche est potentiellement applicable à tous les bâtiments similaires de l'Inra.

Mots-clés : ventilation, sorbonnes, économies d'énergie.

¹ INRA, UMR ESE, F-35042 Rennes, France ; damien.fourcy@rennes.inra.fr

² INRA, Mission Développement durable, Centre de Rennes Bretagne Normandie, F-35042 Rennes, France

Introduction

Le maintien de l'augmentation des températures moyennes globales au-dessous de 2° C est un défi que se sont lancées en 2015 les nations réunies à Paris à la 21^e conférence mondiale sur le climat (COP21). Dans cette perspective, en France, la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique fixe les objectifs suivants : les émissions de gaz à effet de serre devront être réduites de 40% à l'horizon 2030 et divisées par quatre d'ici 2050. La consommation énergétique finale devra être divisée par deux en 2050 par rapport à 2012. Le texte met l'accent, entre autres, sur la rénovation thermique des bâtiments et la construction de bâtiments à haute performance énergétique.

Devant la problématique du réchauffement global, les grands acteurs publics comme l'INRA doivent assumer leur responsabilité sociétale en composant avec des ressources financières en réduction constante. Mais, indépendamment des investissements lourds souvent évoqués autour de l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments existants, comme par exemple leur isolation extérieure, il existe des leviers plus modestes mais sur lesquels nous pouvons agir immédiatement, avec à la clé des économies financières immédiates. La régulation de la ventilation des locaux est l'une de ces solutions simples et rapide à mettre en œuvre.

Cet article décrit l'expérience-pilote de régulation de la ventilation qui est en cours depuis 2012 dans les locaux de l'Unité de recherche LPGP (Laboratoire de Physiologie et génomique des poissons) du Centre Inra de Rennes Bretagne Normandie. Elle a été initiée par le groupe Développement durable de l'Unité, avec l'appui de la mission DD du Centre. Elle a bénéficié du soutien financier de la Délégation au Développement durable de l'Inra.

Contexte initial

Le diagnostic de l'Unité LPGP réalisé en 2010, dans le cadre des actions de la mission Développement durable du Centre de Rennes, avait attiré notre attention sur la consommation d'énergie mais aussi sur les importantes infiltrations d'air qui laissaient supposer une surventilation des bâtiments. En effet, une étude portant sur 13 pays de régions tempérées a estimé que les déperditions thermiques par ventilation représentent 33 % de l'énergie consommée pour le chauffage (Orme, 2001). Afin d'évaluer le potentiel d'économie d'énergie réalisable sur la consommation d'énergie pour le chauffage, nous avons entrepris une étude de la ventilation générale des locaux de l'Unité.

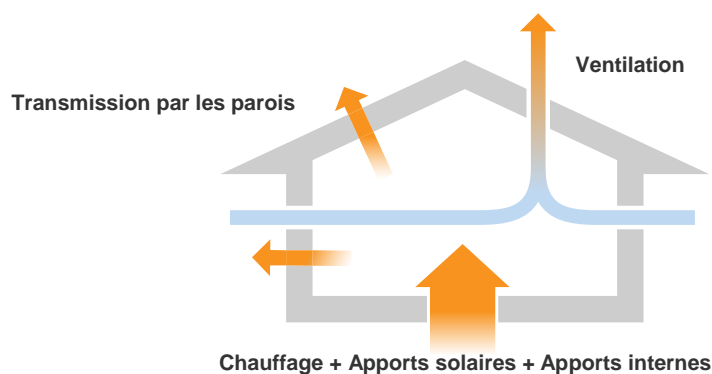


Figure 1. Schéma des principales voies de pertes de chaleur d'un bâtiment.

La chaleur produite par le chauffage, les apports solaires et les apports internes (occupants, appareils électriques divers, etc.) quitte l'enceinte du bâtiment par transmission directe à travers les parois et par le renouvellement de l'air.

Description sommaire des locaux

Les bâtiments de l'Unité LPGP concernés par la régulation de la ventilation forment un ensemble continu que l'on peut assimiler à un seul bâtiment de deux niveaux et d'une surface totale de 3400 m². Cet ensemble a été bâti en deux étapes, en 1981 puis en 1998. Les locaux desservis par le chauffage central et aérés par ventilation mécanique contrôlée (VMC) occupent 2750 m² environ. Ils abritent des bureaux et des laboratoires, dédiés à des recherches en biologie, répartis de manière uniforme. Environ 65 personnes y travaillent. Le chauffage central est assuré par deux chaudières à gaz, à condensation, qui ont également produit l'eau chaude sanitaire (ECS) jusqu'en septembre 2013.

Consommation annuelle d'énergie

La consommation annuelle moyenne d'énergie, de 2000 à 2011, de l'unité LPGP, avant régulation de la ventilation, est résumée ci-dessous :

	Gaz	Electricité
Energie	487 641 KWh	590 738 KWh
Coût	25 000 €	34 000 €
Emissions	107 t CO ₂	45 t CO ₂

Cela correspond, en ordre de grandeur, à la consommation d'énergie pour le chauffage de 100 appartements de taille moyenne en d'Ile-de-France (Mettetal et Desjardins, 2010).

Le renouvellement de l'air des locaux

Dans ce type de bâtiment, le renouvellement de l'air des locaux se fait par trois voies :

- ✓ **la VMC.** Le bâtiment est équipé au total de 10 groupes d'extractions, chacun étant spécifique à une zone ou une catégorie de locaux (salle de stockage des déchets, sanitaires, bureaux et laboratoires, salles d'élevage ...) ;
- ✓ **2. les fuites d'air** par les ouvertures, par l'effet de tirage thermique, par les défauts d'étanchéité à l'air de l'enveloppe des bâtiments, etc. ;
- ✓ **3. les extractions mécaniques ponctuelles (hottes et sorbonnes).** Ces équipements sont chargés de traiter les pollutions spécifiques. Il y avait en 2011, 18 sorbonnes dont 6 étaient en fonctionnement permanent. Ces sorbonnes ne disposent pas d'arrivée d'air de compensation.

Règlementation

Selon la réglementation on distingue deux types de pollutions devant être traitées par ventilation (INRS, 2007)

- ✓ **Les pollutions non spécifiques liées à la seule présence humaine** (principalement CO₂, et vapeur d'eau). Selon l'article R. 232-5-2 du Code du travail, le traitement de ces pollutions, c'est-à-dire l'aération des locaux concernés, peut être réalisé soit par VMC (c'est le cas pour l'Unité LPGP) soit par ventilation naturelle permanente par des ouvrants (portes, fenêtres). L'article R. 4222-5 précise que l'aération par ventilation naturelle, assurée exclusivement par ouverture de fenêtres ou autres ouvrants donnant directement sur l'extérieur, est autorisée lorsque le volume par occupant est égal ou supérieur à 15 m³ pour les bureaux et les locaux où est accompli un travail physique léger, ou 24 m³ pour les autres locaux.

Il est à noter que la VMC a également un rôle de préservation de la salubrité du bâtiment lui-même, en particulier par le contrôle du taux d'humidité de l'air qui peut entraîner des désordres quand le point de rosée est atteint (condensation).

- ✓ Les pollutions spécifiques liées à des substances dangereuses ou gênantes émises sous forme de gaz, vapeurs, aérosols solides ou liquides. Selon l'article R. 232-5-7 du Code du travail, ces émissions doivent être supprimées lorsque les techniques de production le permettent. Dans le cas contraire, elles doivent être captées au fur et à mesure de leur production, au plus près de leur source d'émission. Dans l'unité LPGP, grâce au travail des agents chargés de la prévention (ACP) il n'y a plus de manipulation de produits toxiques hors sorbonne depuis de nombreuses années. Toutes les émissions dangereuses sont traitées par des sorbonnes.

Stratégie et Méthodologie

L'état des lieux de la ventilation des locaux a montré les points faibles sur lesquels agir : l'absence de régulation de la VMC, l'absence de compensation de débit des sorbonnes et l'utilisation inappropriée de plusieurs d'entre elles. Pour disposer d'arguments chiffrés, nous avons d'abord calculé les débits de ventilation mécanique (VMC et sorbonnes) et les déperditions thermiques associées. Nous avons ensuite proposé des solutions de régulation de la ventilation techniquement simples et peu coûteuses à mettre en œuvre afin qu'elles restent réalisables dans un contexte budgétaire très contraint. Nous nous sommes également assurés, avec l'aide des Services d'Appui à la Recherche, que ces solutions soient recevables au regard du confort des occupants, de la salubrité des locaux et de la réglementation sur la qualité de l'air. Après mise en œuvre des solutions préconisées, leurs effets sur la consommation d'énergie ont été évalués en comparant les consommations de gaz avant et après la mise en place de la régulation.

Calculs des débits de ventilation

Pour calculer le débit total de ventilation ainsi que les parts respectives de la VMC et des sorbonnes dites « permanentes », nous avons utilisé les mesures de débits d'extraction réalisées par la société de contrôle Hygiatech en 2011. Il n'a pas été possible de prendre en compte la part des sorbonnes en fonctionnement intermittent faute de données précises sur les temps d'utilisation. Nous avons ainsi mis en évidence que les seules sorbonnes actives en permanence (6 sur 18) avaient un débit total d'extraction proche de celui de la VMC entraînant une augmentation de la ventilation des bâtiments de plus de 80% (Figure 2).

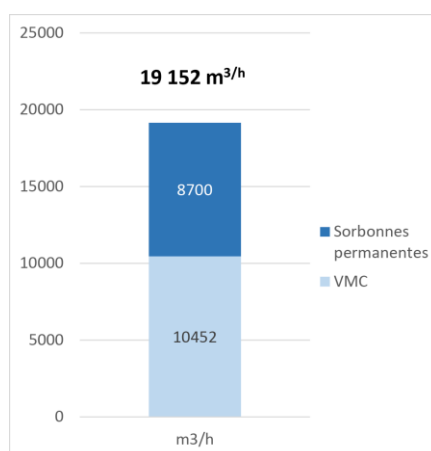


Figure 2. Débits en 2011 des ventilations mécaniques (VMC et sorbonnes permanentes).

Calculs des déperditions thermiques

Nous avons calculé les déperditions thermiques par renouvellement de l'air selon la formule suivante (Archenault et al., 2011; EIE, 2009) :

$$E \text{ (Wh)} = 0,34 \cdot Q_v \cdot \text{DJU} \cdot 24$$

avec :

E = déperditions thermiques annuelles en Wh

0,34 = Capacité thermique volumique de l'air en [Wh/m³K]

Qv = débit total de ventilation en m³/h

DJU = nombre de degrés-jour unifiés de la période considérée (**Figure 3**). Dans le cas présent : moyenne sur les trente dernières années des DJU d'octobre à mai, à Rennes, soit 2324.

24 = heures par jour

On obtient ainsi :

		Déperditions E (KWh/an)
	VMC	198 217
	VMC et sorbonnes « permanentes »	362 637

Ces calculs montrent l'importance des déperditions thermiques par la ventilation, et l'impact très significatif des sorbonnes dans l'Unité LPGP (ce d'autant plus que les sorbonnes "intermittentes" n'ont pas été prises en compte dans le calcul).

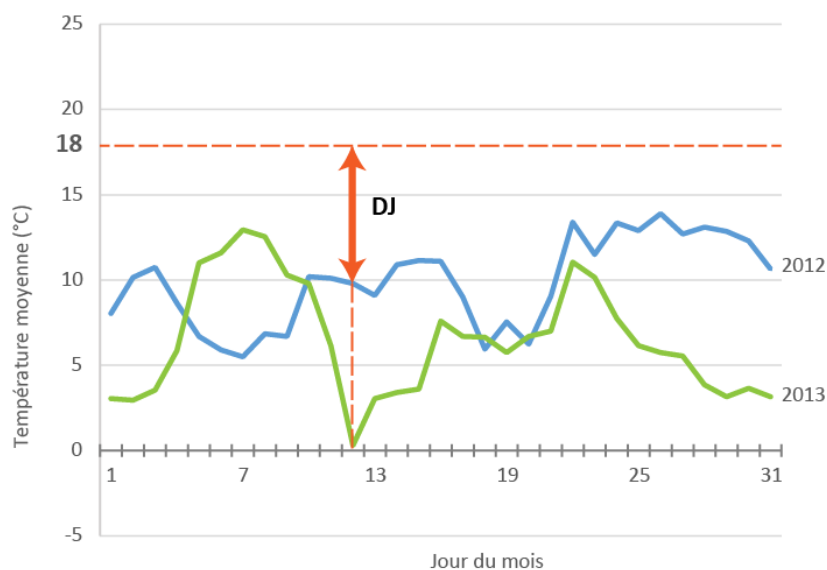


Figure 3 . Le concept de degrés-jours unifiés.

Le degré-jour (DJ) est l'écart entre la température moyenne journalière et un seuil de température préétabli. Il sert en général à évaluer les besoins en chauffage ou en climatisation. Pour les besoins en chauffage, le seuil de 18 °C permet de tenir compte des apports solaires et internes. Les degrés-jours unifiés (DJU) représentent le cumul des DJ sur une période donnée (ex. une année) et selon des relevés météorologiques de référence. L'exemple ci-dessus représente les températures moyennes journalières des mois de mars 2012 et 2013. Ainsi, le 12 mars (ligne pointillée), le DJ est de 8 °C en 2012 et de 18 °C en 2013.

Actions sur les sorbonnes de laboratoires

Nous avons proposé à l'Unité d'identifier collectivement les raisons qui avaient conduit à laisser en fonctionnement permanent six sorbonnes. Il s'est avéré que pour quatre d'entre elles cette pratique n'était pas justifiée (négligence, stockage inapproprié de matières dangereuses) et des recommandations ont été émises par la Direction de l'Unité pour rationaliser l'usage des sorbonnes et rappeler les bonnes pratiques à appliquer, comme éteindre une sorbonne en fin d'utilisation. Pour une des deux autres sorbonnes, l'argument était d'empêcher le flux d'air inverse qui survient à l'arrêt et qui est provoqué par la dépression générale du bâtiment. Un clapet anti-retour a été installé dans le conduit d'évacuation de la hotte afin de stopper ce flux d'air descendant préjudiciable au bon fonctionnement d'un appareil installé à demeure sous cette sorbonne. Pour la dernière sorbonne dont le fonctionnement permanent est justifié par l'appareillage qui l'occupe, aucune solution technique n'a été trouvée mais elle est néanmoins équipée d'un variateur automatique de débit qui limite les déperditions.

Cette action sur l'usage des sorbonnes a été mise en œuvre au début de la saison de chauffe 2011-2012.

Action sur la VMC

Il existe plusieurs moyens de réguler la VMC dans un bâtiment de type « tertiaire ». Les fabricants de matériels aérauliques proposent tous des dispositifs d'asservissement de la ventilation à l'aide de capteurs de présence ou de CO₂, par exemple. Ces dispositifs permettent d'avoir une régulation fine de la ventilation et différenciée selon la nature des locaux et de leur usage conduisant à des réductions de la consommation d'énergie pouvant atteindre 50 % dans certains cas (Fisk et De Almeida, 1998 ; Mysen et al., 2005). Mais ces solutions ont l'inconvénient d'être coûteuses à mettre en place.

Nous avons proposé une régulation moins fine mais techniquement simple, peu coûteuse et rapide à mettre en œuvre. Il s'agit de désactiver la VMC principale **en dehors des plages horaires de présence autorisée du personnel**. Durant les plages horaires de présence du personnel, le fonctionnement de la VMC est inchangé, et les débits d'extractions, régulièrement vérifiés par le service Travaux du centre, sont conformes à la réglementation. La VMC des salles spécifiques comme les locaux de stockage des déchets n'est pas incluse dans cette régulation, elle reste active en permanence.

Les plages de coupures de la VMC sont les suivantes :

Arrêt programmé de la VMC

En semaine	de 20 h à 06 h
Le samedi et le dimanche	de 20 h à 11 h puis de 14 h à 18 h

Durant les périodes estivales, la VMC est maintenue en marche constante afin de permettre un rafraîchissement nocturne des locaux.

En fonctionnement, le taux de renouvellement initial a été conservé (taux minimal de renouvellement de l'air 1,3 volume/h, valeur moyenne par personne 150 m³/h) malgré un niveau bien supérieur à celui demandé par la réglementation (25 à 45 m³/h, Code du travail - R.4222-6).

L'installation du dispositif de programmation des ventilateurs a été réalisée par un agent de l'unité habilité à intervenir sur les installations électriques. Elle tire profit de la présence d'un système informatique de GTC (gestion technique centralisée) qui permet de paramétrer aisément les plages de fonctionnement de chaque ventilateur de VMC.

Cette action a été réalisée en concertation étroite avec le Service Travaux et le Service Prévention du Centre. Nous l'avons mise en œuvre après validation par ces services et par le Conseil d'Unité. Elle a également été présentée en réunion plénière à l'ensemble des agents de l'Unité pour une validation collective. Ce fut une occasion de répondre aux interrogations des agents sur le bien-fondé "énergétique" de l'action et ses attendus.

La régulation de la VMC a débuté deux semaines avant la saison de chauffe 2012-2013.

Mesure de la qualité de l'air

Afin de détecter d'éventuels effets de la régulation nocturne de la VMC sur la qualité de l'air, nous avons suivi, avec des capteurs Lascar EL-USB-2, le taux d'humidité relative et le taux de dioxyde de carbone (CO₂) dans trois pièces témoins toujours occupées et réparties régulièrement dans le bâtiment. La concentration de CO₂, produit par la respiration, est liée à l'occupation humaine et au renouvellement d'air. Bien qu'elle ne constitue pas à elle seule un indicateur de la qualité de l'air, elle peut néanmoins être utilisée comme indicateur du confinement (ANSES, 2013). Nous avons suivi cette concentration avec un pas de mesure de 1 h durant quatre semaines, dont une avant la mise en route de la régulation de la VMC.

Suivi de la consommation d'énergie

La consommation de gaz a été mesurée à partir des relevés hebdomadaires du compteur principal effectués par un agent de l'Unité depuis 2008. Ces relevés ont été mis en place à la suite d'une défaillance de GDF qui entraînaient des erreurs dans les relevés durant trois années (variations de 1000 % d'un semestre à l'autre). Pour calculer la quantité d'énergie à partir du volume de gaz mesuré par le compteur nous avons utilisé les facteurs de conversion fournis par GDF sur les factures. Le bâtiment étant équipé de chaudières à condensation nous avons calculé le pouvoir calorifique supérieur (PCS) du gaz (GrDF, 2011). L'énergie consommée est ainsi exprimée en KWh PCS.

La part de gaz consommé pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS) jusqu'en 2013 a été estimée sur la base des consommations de gaz hors période de chauffe des locaux. Bien qu'en été le nombre d'occupants est plus faible, l'extrapolation des consommations au reste de l'année reste fiable car, comme nous l'avons montré dans une étude ultérieure, 90 % de l'énergie fournie pour la production d'ECS se dissipe dans le réseau de bouclage, indépendamment du puisage d'ECS par les occupants.

Pour comparer les consommations annuelles de gaz pour le chauffage, nous avons utilisé comme référence la moyenne des trois saisons de chauffe de 2008 à 2011 précédant la mise en place des actions sur la ventilation. La saison de chauffe analysée, commune à toutes les années prises en compte, va du 1^{er} novembre au 1^{er} mai. Afin de tenir compte des variations climatologiques d'une année à l'autre nous avons normalisé la consommation de chaque saison de chauffe en la divisant par les degrés-jour unifiés (DJU) correspondants. Les valeurs des DJU ont été calculées à partir des relevés météorologiques de Rennes - Saint Jacques compilés et diffusés par l'association Infoclimat (Infoclimat, 2015) dont Météo France est partenaire.

Evaluation des économies réalisées

Les économies de gaz réalisées ont été calculées en comparant la consommation observée et celle attendue si aucune modification de la ventilation (sorbonnes et VMC) n'avait été réalisée (consommation théorique). La consommation théorique (KWh) a été estimée à partir de la consommation normalisée moyenne de la période de référence 2008-2011(KWh/DJU) multipliée par les DJU de la saison de chauffe considérée.

Les économies sur la consommation d'électricité par les ventilateurs de la VMC ont été calculées à partir de leur puissance électrique et de leur durée journalière d'arrêt. Ne disposant pas d'information précise sur les durées d'activité des sorbonnes, les économies d'électricité sur le fonctionnement de celles-ci n'ont pas été prises en compte.

Les réductions d'émissions de CO₂ ont été calculées en utilisant le tableur Bilan Carbone®, version 7.4 (Association Bilan Carbone).

Résultats et Discussion

Suivi de la qualité de l'air

Comme cela était attendu, nous n'avons pas observé de modification du taux de CO₂ par la régulation nocturne de la VMC et les concentrations que nous avons mesurées n'ont jamais atteint la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) de 1000 ppm, au-delà de laquelle la qualité de l'air intérieur est considérée comme « basse » (NF EN 13779). Les mesures n'ont pas, non plus, montré d'effet sur le taux d'humidité relative.

Evolution de la consommation de gaz

La consommation de gaz pour le chauffage est présentée dans le **Tableau 1**. Elle a été obtenue en retranchant de la consommation totale la part imputable à la production d'ECS. Cette part a été évaluée à 155 m³ par semaine, en moyenne.

Tableau 1. Consommation de gaz pour le chauffage de 2008 à 2015

Saison de chauffe	Consommation. Chauffage ¹ (m ³)	Facteur de conversion moyen*	KWh PCS	DJU du 01/11 au 01/05	Conso. normalisée KWh/DJU
2008-2009	32870	11.42	375375	2004	187.3
2009-2010	31610	11.43	361302	1966	183.8
2010-2011	29959	11.45	343031	1864	184.0
2011-2012	26127	11.43	298632	1755	170.2
2012-2013	25900	11.25	291375	1980	147.2
2013-2014	25249	11.09	280011	1703	164.4
2014-2015	22672	11.12	252113	1772	142.3
Moyenne 2008 à 2010-2011	31480		359903		185

1 : = Consommation totale – consommation ECS estimée | * donnée facture GDF

La consommation normalisée et sa variation par rapport à la moyenne des 3 années précédant la mise en œuvre des actions d'économie est représentée **Figure 6**. La consommation normalisée est stable avant ces actions. Puis en 2011-2012, saison de la mise en place des nouvelles pratiques dans l'usage des sorbonnes, la consommation baisse de 8 % par rapport à la moyenne des trois saisons de chauffe de référence. En 2012-2013, saison de la mise en place de la régulation de la VMC (en plus de l'action sur les sorbonnes), la consommation de gaz diminue encore pour atteindre un niveau inférieur de 20,5 % à la référence. L'année suivante (saison de chauffe 2013-2014), pour des raisons de travaux sur des armoires électriques, la régulation de la VMC a été désactivée pour environ 60 % des locaux durant toute la période de chauffe. On remarque que ceci se traduit par une consommation de gaz nettement supérieure à la saison 2012-2013, mais elle reste toutefois inférieure de 11 % à la moyenne de référence. Enfin, durant la saison de chauffe 2014-2015, avec le rétablissement de la régulation de la VMC dans tous les locaux (hors locaux initialement exclus) la consommation de gaz diminue à nouveau pour atteindre un niveau inférieur de 23 % à la moyenne de référence. Bien qu'il soit difficile d'isoler l'effet de chacun des paramètres influant sur la consommation de gaz, on peut certainement attribuer une part de la baisse de cette dernière saison à la performance de la nouvelle chaufferie qui a été mise en place en 2013.

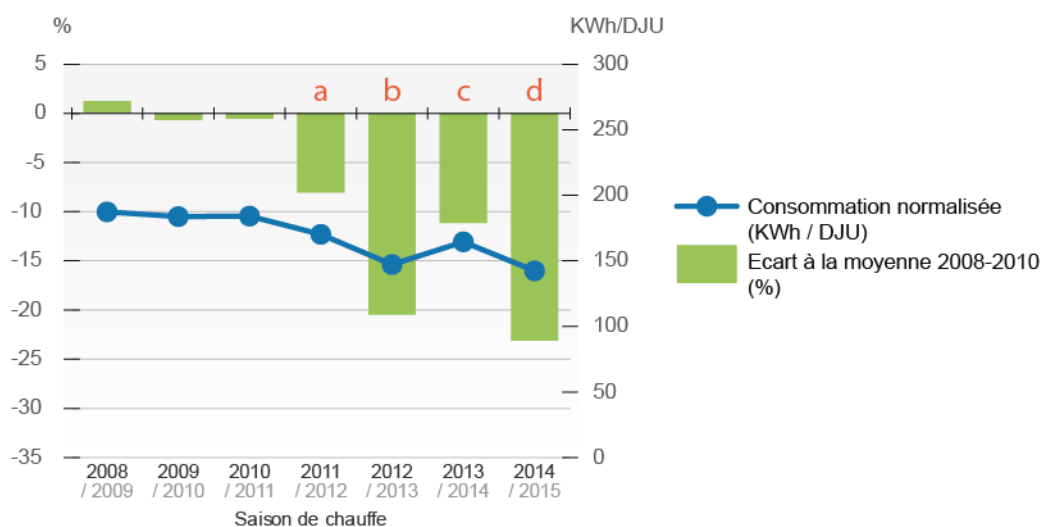


Figure 6 . Consommations normalisées de gaz pour le chauffage et évolution de 2008 à 2014. Evènements nouveaux par rapport aux années précédentes : (a) mise en place de l'action sur les sorbonnes ; (b) mise en place de la régulation de la VMC ; (c) Régulation VMC désactivée pour 60 % des locaux (travaux) ; (d) Régulation VMC réactivée pour tous les locaux et nouvelle chaufferie.

Economies réalisées

Les économies annuelles réalisées sur la consommation d'énergie ainsi que la réduction des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) ont été calculées en comparant les saisons de chauffe avec la moyenne de référence 2008-2001 (Tableau 2).

Tableau 2 . Détails des calculs des économies réalisées

Consommation de gaz pour le chauffage											
	KWh (pcs)			DJU	KWh/DJU	t CO ₂			Euros		
	Théorique	Mesurée	Différence			Théorique	Mesurée	Différence	Théorique	Mesurée	Différence
Moyenne de 2008 à 2011	—	359903	—	—	185,04	—	7,7	—	—	14396	—
2011-2012	324745	298632	-26114	1755	170,2	70,8	65.1	-5,7	16887	15529	-1358
2012-2013	366379	291375	-75004	1980	147,16	80,2	63.7	-16,5	19052	15152	-3900
2013-2014	315123	280011	-35113	1703	164,42	68,9	61.3	-7,6	15441	13721	-1721
2014-2015	327891	252113	-75778	1772	142,28	71,7	55.2	-16,5	13771	10589	-3183

Consommation d'électricité des ventilateurs			
	KWh	t CO ₂	Euros (tarif 2013)
Saison type, du 1 ^{er} octobre au 1 ^{er} juin	-7238	-0,55	-434,28

La saison 2012-2013 ne diffère techniquement de la moyenne de référence que par la régulation de la ventilation (sorbonnes + VMC). Les économies obtenues sont donc les plus représentatives de l'effet de la régulation de la ventilation. Elles sont résumées ci-dessous :

	Gaz	Electricité	Total énergie	Montant	Emission CO ₂
Economie réalisée	-75 004 KWh	-7 238 KWh	-82 242 KWh	-4334 €	-17 t

Pour donner un ordre de grandeur, cette économie d'énergie correspond à la consommation annuelle de près de 400 ordinateurs de bureautique (UE-Energy Star, 2013) et la quantité de CO₂ émise en moins dans l'atmosphère correspond à plus de 7000 voyages aller-retour d'une personne, de Rennes à Paris, en train (SNCF, 2015). Lors des deux saisons suivantes, d'autres paramètres techniques différaient avec la saison moyenne de référence : VMC non régulée dans la moitié des locaux pour 2013-2014 et nouvelle chaufferie pour 2014-2015. Les économies réalisées durant ces deux saisons confirment l'effet de la régulation de la ventilation (**Tableau 2**).

Coût de mise en œuvre des actions

Le coût du matériel à mettre en œuvre pour cette opération s'est élevé à 800 euros. Cela correspond à l'achat du matériel de connexion des groupes VMC à la GTC du bâtiment (câbles, modules de commande) et aussi à l'achat de capteurs de CO₂ et d'humidité relative utilisés pour le suivi de la qualité de l'air. L'installation a été réalisée par un agent habilité de l'unité.

Validation des calculs

Nous avons fait valider la pertinence technique de notre démarche et la justesse de nos calculs par le bureau d'étude ECIC, spécialisé en thermique de bâtiment, qui a réalisé le diagnostic énergétique de LPGP (ECIC, 2014). Dans son rapport, page 17, ECIC écrit : " Le potentiel d'économie d'énergie et l'amélioration du confort des occupants des locaux sont très clairement mis en évidence par cette étude. Les résultats obtenus sont très encourageants et ECIC valide cette démarche déjà bien engagée".

Conclusions et perspectives

Les résultats de cette action qui visait à tester le potentiel d'économie d'énergie résidant dans la régulation de la ventilation des locaux s'avèrent très encourageants.

Des économies substantielles ont été obtenues malgré d'importantes marges de précaution tant sur les plages horaires de régulation que sur le choix des groupes de ventilation impliqués.

Les diminutions de consommation observées sont du même ordre de grandeur que celles de cas concrets rapportés comme exemples par l'ADEME dans son guide de la modulation de la ventilation du tertiaire (Archambault, 2011).

Aucun effet négatif sur la qualité de l'air mesurée ou perçue n'a été relevé. Des témoignages du personnel ont même rapporté une perception de confort accru qui s'accorde avec les enregistrements de températures que nous avons effectués et qui montrent que la régulation de la VMC atténue la baisse des températures dans les locaux durant la nuit et leur disparité d'une pièce à l'autre.

Par ailleurs, cette action a mis en lumière l'effet important des sorbonnes qui avait été ignoré dans la conception des installations aérauliques des locaux de l'Unité LPGP. L'absence de compensation des débits, nécessaire lors de l'installation des hottes (INRS, 2009 ; Augier et al., 2011), constitue ainsi le principal point faible thermique des locaux de cette Unité. Nous travaillons actuellement à résoudre ce problème mais comme toujours, il est bien plus compliqué et coûteux de corriger *a posteriori* des défauts de conception initiale.

Cet effet négatif des sorbonnes sur les performances des bâtiments est aujourd'hui pris en compte par les fabricants qui proposent désormais des sorbonnes à bas débit permettant de diminuer de 30 % les déperditions thermiques induites.

Cette expérience très positive de régulation de la ventilation en dehors des horaires d'occupation des locaux permet d'envisager son déploiement sur tout l'établissement. Chaque site a ses caractéristiques techniques et ses contraintes mais la configuration de l'Unité LPGP est assez classique et se rencontre dans de nombreux

Le Cahier des Techniques de l'INRA 2016 (87)

bâtiment de l'Inra. À l'occasion d'une présentation de cette expérience à Jean-Pierre Bon, responsable adjoint du service des Affaires immobilières et foncières de l'Inra, celui-ci a estimé que la généralisation d'une telle démarche au niveau national aboutirait à une économie de l'ordre d'un million d'euros par an pour les dépenses de chauffage des locaux de l'INRA. Cette économie se traduirait par une réduction des émissions annuelles de CO₂ de 2800 tonnes, soit l'équivalent de 14 millions de kilomètres en voiture à moteur thermique (SNCF/DDD, 2015), environ le kilométrage parcouru par l'ensemble du parc de l'Inra.

Références bibliographiques

- ANSES (2013) *Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé* (ANSES Editions - Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation environnement travail -).
- Archenault M, Barles P, Bernard A-M (2011) *Guide pratique sur la modulation des débits de ventilation dans le tertiaire* (ADEME Editions-Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'énergie-).
- Augier C, Batonneau S, Follonier M, Pelletier E (2011) La ventilation spécifique à l'INRA. *Les guides de la prévention*.
- ECIC (2014) Orientations pour l'amélioration énergétique des bâtiments de l'Inra-LPGP, batex 3 et 4, 25 pages.
- Espaces Info Energie (EIE) (2009) Amélioration du système de ventilation mécanique en collectif: Institut de l'Ecologie en milieu urbain.
- Fisk W J, de Almeida A T (1998) Sensor-based demand-controlled ventilation: a review. *Energy and Buildings*, 29(1), 35-45. doi: 10.1016/S0378-7788(98)00029-2
- GRDF (2011) Méthode de détermination des énergies livrées aux PCE raccordés au réseau de GRDF, à partir des volumes mesurés par les compteurs. Gaz Réseau Distribution France.
- http://bibliotheque.grdf.fr/fileadmin/user_upload/biblio_fournisseur/Determination_des_energies_livrees_a_partir_des_volumes_mesures_v3.pdf.
- Infoclimat (2015) Infoclimat.fr Version 5.3-beta <http://www.infoclimat.fr/>
- INRS (2007) *Aération et assainissement des lieux de travail*. Edition INRS 4e ed. (Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles).
- INRS (2009) *Sorbonnes de laboratoire : guide pratique de ventilation* (Edition INRS Ed.). Paris: Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.
- Mettetal L, Desjardins X (2010) *L'amélioration énergétique du parc résidentiel francilien* (IAU Ed.): Institut d'aménagement et d'urbanisme / Ile-de-France.

Mysen M, Berntsen S, Nafstad P, Schild PG (2005) Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools. *Energy and Buildings*, 37(12), 1234-1240. doi: 10.1016/j.enbuild.2005.01.003

Orme M (2001) Estimates of the energy impact of ventilation and associated financial expenditures. *Energy and Buildings*, 33(3), 199-205. doi: 10.1016/S0378-7788(00)00082-7

SNCF (2015) L'information CO₂ décryptée pour vous. Retrieved 01/09/2015, from <http://www.sncf.com/fr/train-emission-co2>

SNCF/Direction du Développement Durable (2015) *Information CO₂ des prestations de transport*: Société nationale des chemins de fer français.

Sundell J, Levin H, Nazaroff WW, Cain WS, Fisk WJ, Grimsrud DT et al. (2011) Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature. *Indoor Air*, 21(3), 191-204. doi: 10.1111/j.1600-0668.2010.00703.x

UE - Energy Star. (2013) *Calculateur d'énergie : Efficacité énergétique des équipements de bureau*. Retrieved 01/07/2013, from http://www.eu-energystar.org/fr/fr_007.shtml