



**MINISTÈRE
CHARGÉ
DES TRANSPORTS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



direction
générale
de l'Aviation
civile

Direction Technique et de l'Innovation Service national d'Ingénierie aéroportuaire



**Recommandations pour un usage des systèmes de génie
climatique des locaux DSNA en période de sobriété énergétique**

Production¹:

- Fabrice RICHERI – Ingénieur génie climatique - PhD- DTI/Infra/INS
- Adeline MOLLARD – Ingénieure génie climatique - SNIA / BAT
- Jordan GAUVRIT – Ingénieur génie climatique - SNIA / BAT
- Jean-Michel BOURGUIGNON - expert senior CVC - DTI/Infra/INS
- Alain-Marie RICHARD – OE Climaticien – DTI/Infra/INS - Pôle de compétence Génie climatique

Relecture technique et compléments :

- Clara MICHELARD – Ingénieure génie climatique - SNIA / BAT

Approbation :

- Lucas CINGET- chef de Département Ingénierie Bâtiment par intérim - SNIA / BAT
- Olivier CROT – Chef de pôle ICE - DTI

Validation :

- Philippe BARNOLA - Directeur du SNIA
- Romain Kereneur - Adjoint au directeur DSNA/Direction des Opérations

SOMMAIRE

1	Glossaire	4
2	Introduction	5
2.1	Objectifs de la note et organisation du document	5
2.2	Rappels des enjeux et principes généraux du domaine Génie Climatique	5
2.3	Mise en pratique des actions	5
3	Méthodologie de travail – SME	7
4	Actions nécessaires	8
4.1	Faire des mesures et exploiter les compteurs	8
4.2	Appliquer les bonnes consignes de température et hygrométrie	8
4.3	Vérifier la bonne diffusion de l'air	11
4.4	Adapter les programmes horaires et réduits	13
4.5	Adapter le fonctionnement des ventilateurs de CTA	14
4.6	Adapter le fonctionnement des circulateurs	17
4.7	Adapter les consignes de température d'eau glacée des productions	21
4.8	Adapter les consignes de température d'eau chaude des productions	21
4.9	Isoler les points singuliers des réseaux	22
4.10	Maximiser les modes freecooling / freechilling disponibles	23
4.11	Vérifier la propreté des batteries de CTA et groupes frigorifiques	24
4.12	Analyser la qualité d'eau des réseaux, leur encrassement et performance des échangeurs	25
4.13	Détecter les incohérences de fonctionnement des automatismes	26
5	Actions complémentaires facultatives	27
5.1	Gamme de filtration efficace	27
5.2	Améliorer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et des réseaux	27
6	Bibliographie	29
7	Annexes – exemples	30
7.1	Impacts énergétiques liés au contrôle d'ambiance	30
7.2	Exemple d'installation rénovée en débit variable	34

1 GLOSSAIRE

API	Application Programming interface ou interface de programmation d'application
ATA	Armoire de Traitement d'Air
ASI	Alimentation Sans Interruption
CTA	Centrale de traitement d'air
CEE	Certificat d'Economie d'Energie
CVC	Chauffage, Ventilation, Climatisation
DN	Diamètre Nominal (tube ou gaine)
EC	Eau chaude (pour chauffage)
EER	Energy Efficiency Ratio ou coefficient d'efficacité frigorifique
EG	Eau glacée (pour climatisation)
GTC	Gestion Technique Centralisée
IBC	Investissement Bas Carbone
MCO	Maintien en Condition Opérationnelle
MO	Maintenance Opération
NA	Navigation Aérienne
NC	Non Concerné
Quick Win	Action simple et rapide qui génère des résultats concrets à moindre coût
SO	Sans Objet
UTA	Unité de traitement d'air
TAR	Tour Aéroréfrigérante sèche (autrement appelée Dry) ou humide

2 INTRODUCTION

2.1 Objectifs de la note et organisation du document

Cette note concerne les installations de génie climatique de la DGAC à vocation opérationnelle dans le but d'optimiser la consommation énergétique des équipements de CVC et d'unifier les pratiques entre sites. Cette note rédigée dans le cadre du groupe de travail « Sobriété énergétique à la DSNA » est à destination de tous les exploitants des bâtiments.

Elle a pour objectifs de :

- **Rappeler les principes d'un SME** – Système de Management de l'énergie ;
- **Formuler des actions nécessaires** qui font actuellement consensus parmi la communauté technique et scientifique sur les usages des systèmes et les conditions de mise en pratique ;
- **Formuler des actions complémentaires** nécessitant des investigations ;

La mise en place de certaines actions ont un coût faible à nul (appellation courante « Quick-Win »), d'autres nécessiteront des investissements financiers ciblés (IBC notamment).

La faisabilité technique des actions formulées est évaluée à partir d'échanges entre spécialistes climaticiens exerçant des missions pour le compte de la DGAC. Ces réflexions sont également partagées auprès de quelques spécialistes extérieurs à la DGAC, également concernés par des problématiques similaires sur leurs propres patrimoines techniques et leurs personnels (armée de l'air, collectivités publiques).

Cette note vient compléter les informations disponibles par les pouvoirs publics citées pour information (cf. bibliographie en fin de document).

Son contenu n'est pas limitatif et pourra être amené à évoluer en fonction des retours d'expérience du terrain. Les pôles tout comme la cellule DD du SNIA tout comme le pôle INS de la DTI se tiendront à disposition des sites le souhaitant pour les assister dans l'adaptation de ses grands principes au cas par cas.

2.2 Rappels des enjeux et principes généraux du domaine Génie Climatique

Le maintien en condition opérationnelle (ou MCO) des servitudes de navigation aérienne (NA) constitue un premier enjeu (service continu pour le refroidissement des systèmes opérationnels, confort thermique adapté aux activités NA).

Le second enjeu est énergétique et environnemental. La consommation énergétique des équipements de CVC représente une part importante des postes de consommation énergétique du patrimoine de la DGAC qu'il convient de maîtriser autant que possible.

Les recommandations d'exploitation formulées dans cette note répondent à ces deux enjeux et sont applicables à la fois pour les installations récentes et dans la mesure du possible existantes et en bon état de fonctionnement.

2.3 Mise en pratique des actions

Quelles que soient les actions réalisées, les paramètres de fonctionnement initiaux de l'installation seront inscrits dans un registre notamment pour tout retour arrière en cas de déconvenues. Les modifications des paramétrages régulateurs et automates se feront en

concertation avec les services et **progressivement** avec une période d'observation des systèmes et ambiances contrôlées. Pour les installations techniques OP, on évitera les vendredis, avec des essais si possibles en début de semaine.

Une procédure de retour arrière en urgence pour l'astreinte, la MO ou le mainteneur devra être créée selon la difficulté de paramétrage ou d'intervention.

3 METHODOLOGIE DE TRAVAIL – SME

Toutes les démarches entreprises ayant pour vocation la réduction des consommations énergétiques en entreprise publique ou privée repose sur le **système de management de l'énergie** qui désigne l'ensemble des démarches réalisées par une entreprise pour la maîtrise du poste énergie. Manager l'énergie consiste à prendre des décisions, mettre en place des méthodes, modifier ses usages dans le sens d'une même politique énergétique.

Encadrée par la norme ISO 50001, celle-ci sert de référentiel pour évaluer la portée des actions de performance énergétique. En tant que norme internationale, elle est adaptée aux situations et objectifs spécifiques de chaque entreprise.

Les grandes étapes de cette démarche sont :

- Nommer un **pilote** de l'ensemble de la démarche (nommé « gestionnaire de l'énergie » ou « Energy manager ») ;
- Le pilote désignera ensuite un ou plusieurs « **Référents** » par domaine (CVC, éclairages, systèmes NA, ...) ou sous-domaines (actions sous-comptages, actions maintenances systèmes, actions paramétrages et régulation, actions petits et moyens travaux d'amélioration énergétique, ...) ;
- Chaque référent listera dans un même support partagé les actions de sobriété sur tous les domaines et sous-domaines qu'il identifie (tableur en ligne accessible à l'équipe en charge du SME),
- Le pilote réunit mensuellement, ou au minimum chaque trimestre les référents pour valider les actions à mettre en place, et discuter de leur suivi et si des adaptations corrections sont nécessaires ;
- Le pilote établit la programmation du suivi financier des actions de travaux, et le suivi des gains constatés ou projetés pour donner suite à la mise en place des actions en s'appuyant sur l'expertise de chaque référent. Il établit également les éventuelles actions de formation à mettre en place pour les personnels du site ;

Focus sur le travail des référents par domaine :

La motivation pour la démarche de chaque référent est fondamentale pour la réussite de la démarche. Le référent par domaine devra dialoguer régulièrement avec le pilote de la démarche ainsi qu'avec les autres référents sur l'état des lieux technique (état et fonctionnement des systèmes) et/ou organisationnel (usage des systèmes).

Les sujets à aborder peuvent être exhaustifs et non limitatifs :

- **Consommation des systèmes** : suivre prioritairement les systèmes en fonction de leur puissance, et leur temps de fonctionnement sur l'année – proposer un sous-comptage si l'utilisation est intermittente et potentiellement énergivore ;
- **Usage des systèmes** : identifier les besoins à l'origine de la mise en place des équipements, puis l'évolution du besoin et correctifs à apporter si l'usage a évolué ;
- **Performance des systèmes** : Vérifier en détail le maintien de la performance depuis l'origine – identifier la source d'une dégradation des performances – après diagnostic, proposer une maintenance corrective puis préventive ou un remplacement (travaux) ;

Des actions nécessaires et facultatives sont listées et explicitées dans la suite de ce document mais elles ne sont pas limitatives et n'explorent pas tous les champs possibles. Les référents par domaines et pilotes par site doivent s'en inspirer.

4 ACTIONS NECESSAIRES

4.1 Faire des mesures et exploiter les compteurs

Principes

Il conviendra d'effectuer des mesures afin d'établir un bilan des principaux postes de consommations énergétiques disponibles sur l'ensemble des installations (OP, CVC, autres usages).

L'analyse des données de comptage et sous-comptage (électrique et fluide) complétée de mesures ciblées des intensités sur certains équipements extrapolés sur une année de fonctionnement, permettront de faire émerger des actions sur les usages d'une part, de modifications éventuelles sur les systèmes d'autre part.

Ces actions découlent de l'application du décret tertiaire imposant, entre autres, la remontée des données de consommation sur la plateforme OPERAT¹ (partie tertiaire séparée de la partie OP) et de disposer d'un historique d'au moins 5 années disponibles pour les sites soumis au décret BACS².

Mise en pratique

Il conviendra de faire dans un premier temps l'inventaire des compteurs et sous-compteurs électriques et fluides (EC, EG, Gaz, eau) présents sur site, d'en vérifier le bon fonctionnement et les possibilités d'exploitation et de compléments à apporter (kW, kWh/mois, kWh/an, possibilités de communications vers une supervision technique et/ou l'extérieur, analyses de la données). Ces investigations se feront avec l'appui des correspondants locaux du SNIA en charge de la remontée des données sur la plateforme OPERAT.

Ces données de comptage devront être complétées dans un second temps par des mesures ciblées à la pince ampèremétrique sur les appareils les plus consommateurs – notamment les auxiliaires fonctionnant H24 (ex : circulateurs, ventilateurs de CTA/ATA, ...) pour compléter ce bilan et suivre dans le temps les gains associés aux actions entreprises.

4.2 Appliquer les bonnes consignes de température et hygrométrie

Principes

Le choix des consignes de température (et d'hygrométrie contrôlée le cas échéant) pour le fonctionnement d'une installation CVC ont été définies dans l'ordre de priorité :

- 1/ des plages de fonctionnement des équipements actifs les plus « anciens » (c'est-à-dire les plus fragiles) à respecter ;
- 2/ du confort thermique adapté selon les fonctions du poste de travail dédié à la navigation aérienne ;
- 3/ des consommations énergétiques à maîtriser.

Le traitement d'air des salles opérationnelles engendre des consommations d'énergie importantes liées aux postes suivants :

¹ Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire. En cas de non-respect des obligations, le décret prévoit une amende pour les personnes morales et la publication du nom de la structure sur un site internet des services de l'Etat

² Décret n° 2020-887 du 20 juillet 2020 relatif au système d'automatisation et de contrôle des bâtiments non résidentiels et à la régulation automatique de la chaleur

- au refroidissement ou à la déshumidification de l'air ambiant (production d'eau glacée ou détente directe) ;
- au chauffage de l'air ambiant (production d'eau chaude ou batterie électrique) en mode chauffage (le cas échéant) ou en mode déshumidification avec post-chauffage ;
- au brassage d'air (ventilateurs à débit constant ou variable, entraînement indirect ou direct) ;
- au maintien d'une hygrométrie minimale en hiver (en général - humidificateur à résistance chauffante ou électrodes) ;

En salle technique, ce qui prime en cette période de sobriété énergétique, c'est le refroidissement adapté des équipements actifs nécessaires au bon fonctionnement des aides à la navigation aérienne.

Une illustration des gains énergétiques associés aux actions de réglage des conditions d'ambiance est donné en annexe de ce guide.

Le Tableau 1 indique les consignes de température ambiante chauffage et refroidissement selon le type de local traité extrait du guide [DSNA2022]. Les valeurs guides concernant l'hygrométrie pour le mode humidification vapeur et/ou déshumidification concernent uniquement les installations qui nécessitent, étant donné leurs spécificités, un maintien d'une plage d'une hygrométrie minimale et maximale. Les salles non contrôlées en hygrométrie le resteront.

Tableau 1 : Températures et hygrométries ambiantes à 1,5 m de hauteur et à 3m des équipements opérationnels par type de local à la DGAC

Désignation des locaux	Température d'air		Hygrométrie	
	Mode chauffage	Mode refroidissement	Mode humidification	Mode déshumidification
Salle technique ¹ , y compris partie baies d'un local de paramétrage	≤ 21°C	≥ 24°C	≤ 6,5 gr _{vap} /kg _{as}	≥ 12 gr _{vap} /kg _{as} et ≥ 70% HR
Salle de supervision			ou	
Salle de contrôle			≤ 35 % HR	
Vigie (double vitrages performants Ug<2.5 W/m².k)				
Vigie avec vitrages peu performants (Ug ≥ 2.5 W/m².k)		≤ HR 30% ou ≤ 5 gr _{vap} /kg _{as}		
Salle de simulation		≥ 25°C	NC	≥ 12 gr _{vap} /kg _{as} et ≥ 70% HR
Salle de test/paramétrage (partie occupant)				
Salle technique des sites isolés avec batteries	≤ 16°C	≥ 24°C	NC	NC
Local serveur – opérateur				
Local Energie Onduleurs + batteries ²				
Local HTA avec transformateur	SO	≥ T _{ext} +5°C si bain d'huile 35°C si Sec		
Local Groupe Electrogènes	≤ 12°C	NC		
Stockage matériels sensibles SPARE	≤ 16°C			

Les matériels non standards peuvent dans certains cas sortir des plages recommandées. Dans tous les cas, les exigences en température de ces matériels seront vérifiées et justifiées à partir des notices techniques constructeurs.

Pour les locaux techniques constamment occupés avec contrôle d'ambiance (vigie, salle de contrôle, supervision et salle simulation), l'adaptation sera limitée à +/- 2°C autour des consignes mentionnées dans le tableau. Une vigilance sur la température de soufflage dans les meubles de contrôle et en mode chauffage restera de mise afin de limiter les surchauffes.

Les autres locaux d'occupation non opérationnels suivront les directives en cours pour les bâtiments publics (19°C en hiver / 26°C en cas de climatisation).

¹ En chauffage, le cas échéant une salle technique étant rarement chauffée compte tenu des apports de chaleur sensible.

² Les batteries d'ASI voient leurs performances / durées de vie optimisées pour une température de 20 +/- 2°C selon le type d'accumulateur. En cas de batteries stockées dans un meuble lui-même refroidi partiellement ou totalement via un plénum de soufflage au sol, il conviendra de limiter les températures hautes et basses de soufflage de l'équipement de traitement d'air via une action sur le régulateur de la CTA/ATA.

Optimisation du point de consigne en salle technique

Pour aller au-delà des valeurs mentionnées au tableau 1 cité précédemment, deux méthodes d'investigations sont proposées par DTI/ICE.

Méthode n°1

1. Relever dans les fiches techniques la plage de fonctionnement en température recommandée par chaque constructeur d'équipement technique opérationnel le plus sensible (Exemple 5 à 35 °C) ;
2. Monter progressivement la température de consigne d'un degré °C chaque mois jusqu'à laisser une marge de 5°C inférieure à la limite haute de l'équipement (ex : 35 – 5 °C soit 30°C dans le haut de la baie où se trouve l'équipement - thermostat d'alarme de renvoi défaut température à mettre en cohérence) ;
3. Surveiller cette température régulièrement et agir si besoin sur la bonne diffusion d'air de la baie (voir action guide suivante) ;

Méthode n°2

1. Placer un thermo-enregistreur en lecture permanente (data logger avec ou sans afficheur) dans la baie technique la plus chaude de la salle. (Exemple la baie UC-IRMA où il ferait 28°C) ;
2. Monter progressivement la température de consigne de la salle de 1°C chaque mois pour atteindre 30 °C dans le haut de la baie (thermostat d'alarme de renvoi défaut température à mettre en cohérence) ;
3. Surveiller cette température régulièrement et agir si besoin sur la bonne diffusion d'air de la baie (voir action guide suivante) ;

Mise en pratique

La mise en œuvre des méthodes proposées ci-dessous implique une phase initiale d'explications et de sensibilisation pour faire adhérer les services techniques au projet d'économies d'énergie.

Ainsi, le changement de consigne de régulation se fera progressivement, sur une semaine d'observation, par pas de 0.5°C et jamais un vendredi en se laissant une marche pour un retour arrière.

Les salles non contrôlées en hygrométrie le resteront ;

Les valeurs de consignes seront adaptées selon la position des sondes de régulation si celle-ci sont placées dans la reprise d'air ou en ambiance. Les valeurs mentionnées sont situées en ambiance, à 1,5 m de hauteur du sol et à 3 m de distance des équipements opérationnels.

Pour les sites dont la production d'eau glacée ne parvient pas à assurer une température d'eau glacée en été $\leq 7^{\circ}\text{C}$, le mode déshumidification sera désactivé totalement, le temps de remédier à la correction / modernisation de l'installation.

Les seuils d'alarme température haute seront également mise en cohérence avec les consignes modifiées et selon les exigences des FT des matériels les plus critiques.

4.3 Vérifier la bonne diffusion de l'air

Principes

L'air traité doit être diffusé de manière homogène aux équipements actifs nécessitant un refroidissement et proportionnellement aux apports sensibles dégagés.

Mise en pratique

Pour les salles techniques traitées via un plénum de soufflage sur plancher technique (dalles), l'homogénéité spatiale de la température sera vérifiée en réalisant 6 mesures de températures ponctuelles en ambiance.

Pour corriger la diffusion de l'air soufflé depuis le plancher, les actions consisteront à :

- Vérifier l'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques et/ou plénums de faux plancher utilisés en diffusion ;
- Obturer les ouvertures sous les équipements ne nécessitant pas de refroidissement (tableau électrique, répartiteurs par exemple) ;
- Lors d'un soufflage en faux plancher entièrement ouvert sous une baie fermée, fermer systématiquement les portes pour garantir un meilleur refroidissement des équipements actifs et éviter la baisse de pression entre le plancher et l'ambiance ;
- Les dalles perforées dans les salles techniques doivent être utilisées uniquement si les baies sont ouvertes avec rafraîchissement en façade. Sinon, il faut les remplacer par des dalles pleines (dans la limite de l'alinéa suivant) ;
- Quelques dalles perforées peuvent être utilisés si la pression de soufflage dans le faux plancher est trop importante ($> 20 \text{ Pa}$).

4.4 Adapter les programmes horaires et réduits

Principes

Les locaux à occupation intermittente (cas de certaines petites vigies, salles IFR, salles de supervision, de paramétrage, de simulation) doivent faire l'objet d'un réduit des températures en chauffage et en climatisation hors occupation.

Il en va de même concernant les lois d'eau des chaudières où l'ensemble des locaux desservis sont sur le même programme horaire. Des températures d'eau de chauffage réduites permettront, aussi, de diminuer les pertes thermiques sur les réseaux de distribution (collecteurs, tuyauterie, vannes, pompes, accessoires) d'améliorer, le cas échéant, les rendements des unités de production (chaudière à condensation, pompe à chaleur...). Les horloges, batteries mémoire d'automate, et autres paramétrages d'API seront également contrôlés dans leur ensemble et tracés sur le registre (Cf. § 2.3).

Gestion de la consigne de production de chaudière	Perte thermique d'un réseau de distribution sur la période de chauffe ¹
Pas de réduit (Teau = 70°C)	84MWh/an
Réduit loi d'eau de 5°C (12h/24 – 5j/7, 24h/24 2j/7)	78MWh/an
Réduit loi d'eau de 10°C (12h/24 – 5j/7, 24h/24 2j/7)	72MWh/an
Réduit loi d'eau de 15°C (12h/24 – 5j/7, 24h/24 2j/7)	66MWh/an
Réduit loi d'eau de 20°C (12h/24 – 5j/7, 24h/24 2j/7)	60MWh/an

Mise en pratique

¹ Valeurs estimées pour un réseau de distribution desservant les émetteurs des bureaux d'un bloc technique de 2000 m².

Le réduit de température hors occupation en chauffage ne devra pas descendre sous les 16°C (en ambiance) en mode chauffage et passer au-dessus des 28°C (en ambiance) en mode climatisation.

Les chaudières qui ne sont pas à condensation n'acceptent pas des températures de retour trop basses. Il convient donc de vérifier les régimes de températures acceptés par les unités de production avant de modifier ces réglages et de surveiller en permanence la température de retour.

La relance (passage du mode réduit au mode confort) sera programmée en tenant compte de l'inertie inhérente au bâtiment en matière de chauffage/climatisation de manière à disposer d'une durée suffisante pour atteinte de la consigne de confort en début d'occupation.

La définition des valeurs de décalage de consigne sur les lois d'eau et de programmation des horaires se fera par ajustement progressif à partir d'enregistrements de températures d'ambiance dans les locaux (par exemple issus de courbes de tendance sur supervision, d'enregistreurs de température etc..).

Comme toutes les autres modifications de réglages, celles des chaudières seront tracées sur le carnet de l'installation.

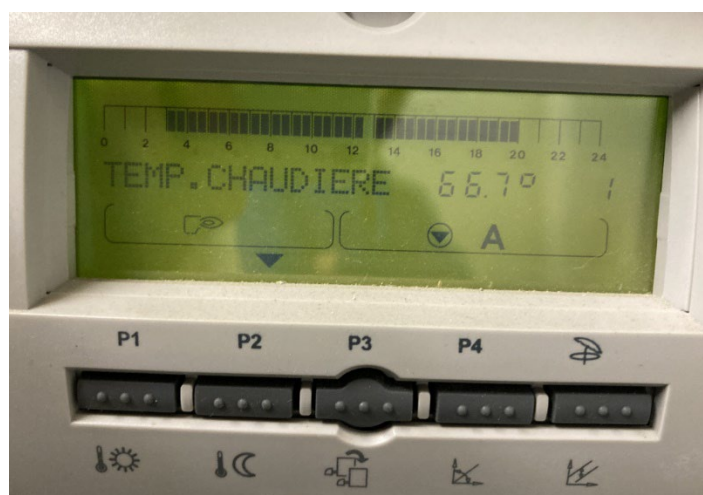


Figure 1: Exemple d'une chaudière mal réglée (loi d'eau trop élevée, heure du jour erronée, relance à 3 h du matin, réduit tardif)

4.5 Adapter le fonctionnement des ventilateurs de CTA

Compte tenu des temps de fonctionnement H24 – 7j/7 des ventilateurs de CTA ou ATA dédiés au traitement d'air des locaux opérationnels, et comme illustré sur la Figure 2, ceux-ci constituent un gisement d'économie à explorer.

Sur l'exemple donné ci-dessous (Figure 2), une armoire de climatisation Ciatronic 8000 de 6500 m³/h dotée d'un ventilateur de 3 kW fonctionnant H24 consommera 26 MWh/an soit 5 à 6 milliers d'euros d'électricité chaque année.



Armoires de traitement d'air de précision



Section ventilation

- Ventilateur centrifuge, turbine à action, accouplement moteur/ventilateur par poulies/courroies
- Débit d'air : 6500 m³/h
- Pression disponible : 10 mmCE
- Moteur ventilateur TRI 230V/400V PTO : 3 kW à 1420 tr/mn

Figure 2: Informations ventilateur TRI d'une armoire de climatisation EG

Différentes situations peuvent être dans ce cas étudiées.

Cas de la ventilation hygiénique

Principes

Les débits d'air neuf tout comme les consommations des ventilateurs ont indirectement un impact énergétique important sur le chauffage, la climatisation, l'hygrométrie mini et maxi des bâtiments.

Il conviendra d'une part de revenir après la période de sur-ventilation de crise Covid-19 à des réglages adaptés à l'occupation normale des locaux selon le code du travail. D'autre part, il doit être également envisagé pour certaines CTA dédiées à la ventilation hygiénique l'arrêt ou le réduit programmé sur horloge GTC ou programmateur (ex : CTA air neuf stoppée hors occupation – nuit / week-end - Figure 3). En cas d'absence de programmateur, compte tenu du coût modeste de son installation et de la rentabilité de la modification, cette adaptation est à réaliser rapidement.

Mise en pratique

L'arrêt temporaire de la ventilation (air neuf hygiénique sur CTA ou de la VMC) est recommandé pour les bureaux et locaux de travail. Concernant les sanitaires, elle peut être envisagée avec un redémarrage une heure avant l'arrivée des premiers travailleurs. Il n'est pas recommandé d'arrêter la ventilation des locaux de sommeil et autres locaux spécifiques humides (douches notamment).

L'arrêt sur horloge de la ventilation hygiénique pour des locaux de bureaux occupés en semaine doit être réalisé par exemple de 19h à 7h du matin du lundi au vendredi – et arrêté le week-end.



Figure 3: Exemple de programmateur pour arrêt VMC hors occupation (source SIEMENS)

Exemples de calcul de gains énergétiques : CTA tout air neuf – 8000 m³/h – batterie de préchauffage d'air neuf (20°C Jour - 16°C nuit).

Plage de fonctionnement	24h/24h 7j/7	12h/24h 5j/7	Gain réduit
Consommation électrique du ventilateur (3kW abs)	26 MWh/an	9 MWh/an	-17 MWh/an
Consommation électrique batterie de préchauffage air neuf (70 kW)	129 MWh/an	30 MWh/an	- 99 MWh/an¹

Cas de CTA/ATA/SPLIT redondants en fonctionnement

Principes

Il peut être envisagé l'arrêt de CTA/ATAs voir Split fonctionnant en redondance ET maintenue en fonctionnement permanent si la ou les CTA « normale(s) » suffisent à maintenir la température de la salle à la consigne souhaitée selon la saison. La gestion peut être manuelle avec une adaptation selon la saison, ou automatisée via une gestion de type cascade.

Mise en pratique

Les essais se feront au cas par cas, après analyse de la charge de chaque CTA (ouvertures de vanne EC/EG, vitesse ventilateur et température de soufflage). Un impact sur les températures de soufflage sera observé (températures inférieures en refroidissement, températures supérieures de chauffage). Compte tenu de l'impact sur le brassage d'air, on évitera dans tous les cas de descendre sous un taux de 50% d'unité de traitement d'air en fonctionnement.

Les tests se feront progressivement, en début de semaine, et seront suivis d'une période de surveillance des températures. Une procédure de redémarrage en urgence côté MO ou astreinte devra être créée en cas d'évolution de la charge thermique des salles.

Cas de CTA/ATA avec variateurs de fréquence ou plug-fan

Principes

Il peut être envisagé la modulation de vitesse² sur les variateurs de vitesse des moteurs électriques des ventilateurs d'UTA selon la charge observée des salles traitées durant la saison. Cette gestion peut être manuelle, ou automatisée via une programmation spécifique de l'API CVC par un intégrateur compétent.

Exemples de calcul de gains énergétiques : Cas d'un ventilateur de CTA consommant 3 kW – source [EnergiePlus]

Une diminution du débit de 10% réduit de 27% la consommation électrique du ventilateur (soit une économie de 7MWh/an).

Une diminution du débit de 30% réduit de 65% la consommation électrique du ventilateur (soit une économie de 17MWh/an).

¹ Le bilan énergétique est le même dans le cas d'une VMC + radiateurs individuels avec fil pilote où l'air neuf sera chauffé une fois dans l'ambiance par les radiateurs.

² La puissance électrique d'un ventilateur varie en fonction du cube du débit d'air. Ainsi, diviser un débit d'air de CTA de moitié fait baisser la puissance absorbée d'un coefficient 8.

Mise en pratique

La diminution des vitesses / débit d'air doit être réalisée avec prudence compte tenu de l'impact sur le taux de brassage notamment en vigie (ie stratification) et la présence de batterie électrique (thermostat de sécurité, ou d'humidificateur).

En règle générale, la vitesse des ventilateurs ne sera jamais inférieure à 50% de la vitesse correspondante au débit nominal de l'installation. En vigie, la vitesse des ventilateurs ne sera pas inférieure à 70% de la vitesse correspondante au débit nominal de l'installation. Les UTA et split de petit débit déjà dotées d'une modulation de vitesse **ET** fonctionnant en mode automatique ne sont pas concernés par ces recommandations.

Autre alternative mais nécessitant d'importantes modifications des CTA, le retrofit partiel ou total de CTA de grande capacité (> 15 à $20000 \text{ m}^3/\text{h}$) peut être envisagé sur des modèles en bon état dont la durée de vie peut être prolongée de 10 ans minimum.

La mise en place de variateurs de fréquence sur ventilateurs voire leur remplacement intégral par des modèles de type plug fan de meilleur rendement aérodynamique (Figure 4) peuvent permettre d'intégrer une loi de régulation fonction de la charge des salles traitées.

Ainsi, à point de fonctionnement identique (débit/pression), le gain sur les consommations électriques des ventilateurs peut aller de 20 à 40 % [Source MAPClim]. En cas de modulation selon la charge, les gains peuvent être nettement supérieurs.

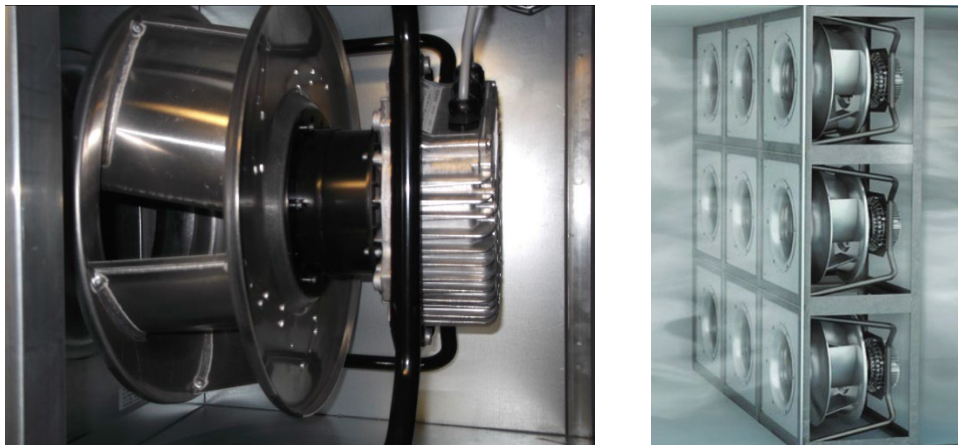


Figure 4: Moteurs EC dans CTA neuve (gauche) - Fan Wall pour retrofit de CTA (droite – source EBM Papst)

4.6 Adapter le fonctionnement des circulateurs

Compte tenu des temps de fonctionnement H24 – 7j/7, la consommation des circulateurs représente un gisement d'économie à explorer.

Différents cas peuvent être étudiés.

Cas des kits hydrauliques de centrale de production redondante et en fonctionnement

Principes

Si les groupes d'eau glacée et circulateurs en mode « normal » suffisent à refroidir seuls les différents locaux traités, il peut être envisagé l'arrêt de groupes de production et de leurs circulateurs utilisées en « secours » ET fonctionnant en permanence.

Mise en pratique

Si un mode automatique de gestion de cascade de groupes est installé et mis en service sur l'installation, celle-ci sera tout d'abord testée (exemple illustré sur la Figure 5).

Il sera aussi vérifié que les dispositifs de protection contre le gel de l'installation ne seront pas perturbés par l'arrêt du groupe (réseau glycolé, dispositif antigel présent sur la machine).

La durée moyenne des cycles compresseurs sera évaluée avant et après modification pour étudier si des cycles courts ne sont pas constatés.

En cas de mise en place d'une cascade au niveau de la production, celle-ci se fera avec l'aide d'un intégrateur CVC spécialisé et dans l'optique d'une meilleure gestion et surveillance de l'installation de production.



Figure 5: Kit hydraulique de 2,2 kWabs sur 2 centrales d'eau glacée redondantes Carrier® de 80 kWfr fonctionnant en marche forcée 1+2 au lieu d'un fonctionnement Auto (normal/secours ou cascade)

Exemple de calculs de gains énergétiques :

Fonctionnement	Mode manuel - marche forcée 1+2	Mode Automatique (normal/secours ou cascade)
Consommation électrique de circulateur de 2.2kWabs pour 2 centrales d'eau glacée redondantes	38MWh/an	19MWh/an

Cas des circulateurs à vitesse variable

Principes

La puissance absorbée d'un circulateur doté d'un variateur évolue en fonction de la puissance cubique de la vitesse. C'est donc un gisement important d'économie d'énergie sur nos sites avec une modulation automatique de la vitesse (ie débit hydraulique) en fonction de la charge des UTA ou tout autre échangeur comme illustré sur la Figure 15.

De nombreux circulateurs à vitesse variable sont toutefois mal paramétrés bien qu'ils offrent de nombreuses fonctionnalités d'optimisation.

Il sera exploré après essais les champs suivants :

- **Gestion manuelle** : La vitesse des circulateurs montés sur réseaux régulés principalement en vanne 3 voies pourra être réduite manuellement et progressivement en cas de delta T faible entre réseaux départs et retour selon la charge maximale appelée en été (CTA en demande). La vitesse des circulateurs montés sur réseaux régulés en vannes 3 voies pourra être régulée en vitesse constante adaptée ou pression constante ;
- **Gestion semi-auto** : La vitesse des circulateurs montés sur réseaux régulés en vanne 2 voies sera régulée en pression proportionnelle. Une vanne de décharge sera prévue si le circulateur n'est pas automatiquement arrêté en cas de débit nul. Dans ce cas-là, il n'y a pas de liaisons de COM entre la régulation des vannes et celle du variateur de vitesse pompe (voir Figure 6) ;
- **Gestion automatique** : En présence d'une GTC sophistiquée permettant le contrôle de fermeture de l'ensemble des vannes des circuits terminaux, on pourra tolérer d'agir automatiquement sur une boucle de régulation agissant selon la charge instantanée maximale appelée par le réseau (c'est-à-dire, variation de vitesse pompe fonction de la demande maximale d'un réseau de vannes 2 ou 3 voies). En variante simplifiée, on pourrait réguler la vitesse de la pompe secondaire sur le différentiel de température - si le retour est à la même température que l'aller on réduit la puissance du moteur électrique équipé d'un variateur de vitesse (voir Figure 7).

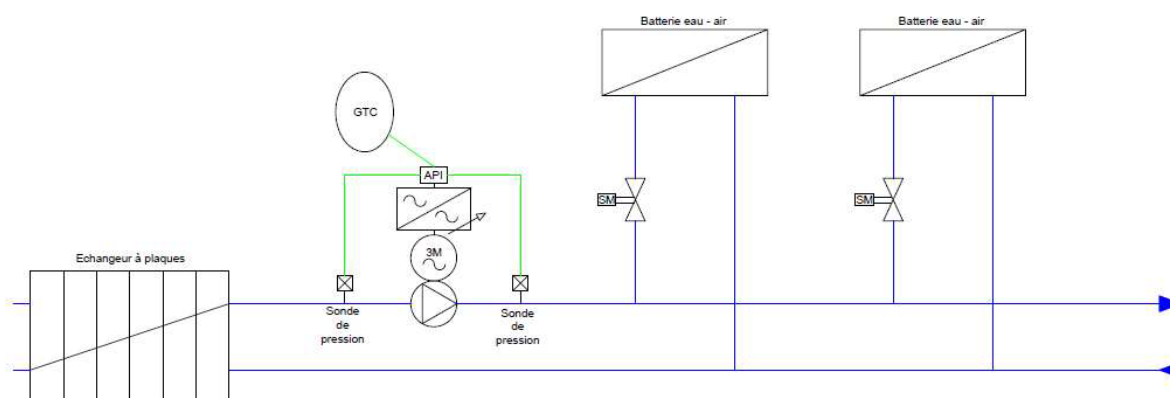


Figure 6: Gestion semi-automatique avec UTA dotées de V2V + variateur sur pompe en régulation de pression proportionnelle

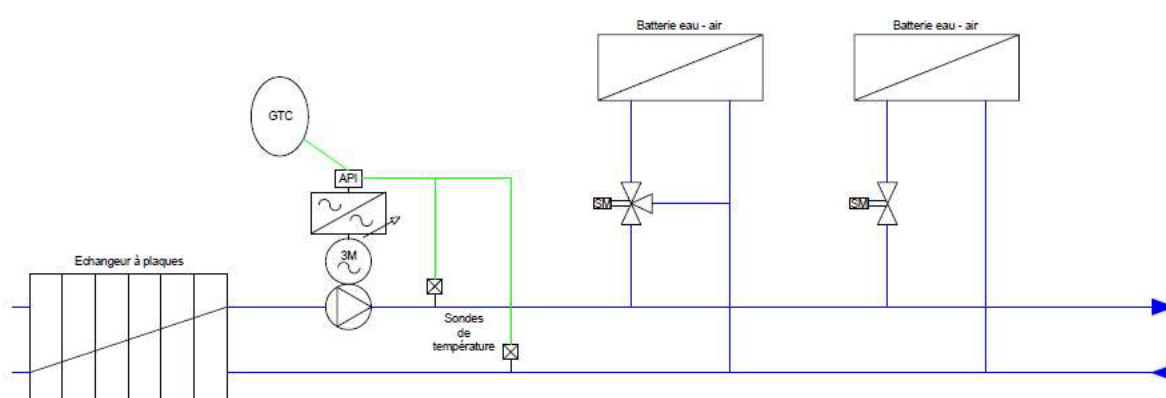


Figure 7: Gestion automatique avec UTA dotées de V3V + variateur sur pompe selon la charge maximale appelée ou selon la charge moyenne du réseau (Aller/retour réseau)

Nota : les débits hydrauliques modulés ne concernent PAS les réseaux primaires dont les productions thermodynamiques nécessitent un débit minimal stabilisé et constant.

Une illustration des gains énergétiques d'une installation modifiée de vanne 3 voies en vannes 2 voies est donné en annexe de ce guide.

Mise en pratique

Les modifications manuelles de vitesse se feront progressivement et par palier de 10% suivi d'une analyse du delta T réseau (départ/retour) et de la charge des UTA (ouvertures des vannes).

A moyen terme, il sera étudié le remplacement des vannes de régulation 3 voies de diamètre supérieur ou égal au DN20 sur ATA et CTA par des vannes 2 voies auto-équilibrantes et si possible communicantes vers GTC afin de réduire au maximum la consommation des principaux circulateurs EC et EG.

Cette étude abordera de façon **obligatoire** la capacité en eau du réseau primaire doté d'une production thermodynamique afin **d'éviter tout risque de court-cycle** en période de faible besoin.

Pour les variateurs ajoutés sur des circulateurs existants, la vitesse minimale de fonctionnement du circulateur sera respectée pour le refroidissement minimal des bobinages moteurs (25 à 30 Hz en général).

4.7 Adapter les consignes de température d'eau glacée des productions

Valeurs guides

Les températures d'eau de bouclage des réseaux d'eau glacée impactent directement la puissance nominale de refroidissement des équipements de traitement d'air, mais également la puissance et le rendement de production. En effet, il est constaté sur les documentations techniques machines qu'une augmentation de la température d'eau glacée produite engendre :

- Une amélioration du rendement de production EER (gain énergétique de +2% / °C)
- Une amélioration de la puissance nominale disponible (gain de +3% / °C),
- Une réduction sensible des pertes de distribution et de condensation sur accessoires du réseau.

Compte tenu de la saisonnalité des besoins de refroidissement des locaux opérationnels, il n'est pas toujours nécessaire de maintenir une production d'eau glacée à une température constante et basse de 6 ou 7°C notamment en période hivernale ou de mi-saison. L'adaptation des consignes de température de production d'eau glacée est donc une piste d'économie d'énergie importante à explorer.

Exemples :

Température de départ EG		
Période de l'année	Hiver	Eté
Si déshumidification	9 à 11°C	6 à 7°C
Absence de déshumidification	10 à 12°C	7 à 10°C

En l'absence de déshumidification, un moyen détourné d'adaptation à la charge sur certains modèles consiste à réguler la température :

- sur le retour EG (ex : maintien de 12°C sur le retour soit 9.5°C à 50% de charge et 7°C à 100% de charge) ;
- Et/Ou selon une loi d'eau sur la température extérieure à activer et paramétrer.

En période hivernale et de mi-saison, s'il n'y a pas d'impact notable sur le refroidissement des salles techniques et énergie, le gain espéré d'une augmentation de la température d'eau glacée produite de 6°C à 11°C sur la consommation électrique de la production sera de 10%.

Mise en pratique

Il est recommandé d'adapter **progressivement** les consignes de production d'eau glacée en observant le fonctionnement de l'ensemble des équipements de traitement d'air du réseau dont la puissance restituée diminuera (par exemple en observant le % d'ouverture des vannes EG de CTA ou la résultante de température ambiante).

La modification des consignes pourra être :

- manuelle (GTC ou sur le régulateur de la centrale de production),
- ou automatisée si disponible ou après intervention d'un intégrateur GTC CVC.

4.8 Adapter les consignes de température d'eau chaude des productions

Valeurs guides

Les températures d'eau de bouclage des réseaux de chauffage impactent directement la puissance nominale des équipements de traitement d'air. Compte tenu de la saisonnalité des besoins de chauffage de certains locaux opérationnels (salles de contrôle, vigie, ou autre installation avec mode déshumidification activé), il n'est par exemple pas toujours nécessaire de maintenir une température d'eau de chauffage élevée en période de d'été et mi-saison.

Compte tenu de l'impact sur les rendements de production (si chaudière à condensation ou PAC) et sur les pertes de distribution et de chaudières, l'adaptation des consignes de production selon la demande réelle doit être envisagée.

Mise en pratique

Il est recommandé d'adapter **progressivement** les consignes de production d'eau chaude en observant le fonctionnement de l'ensemble des équipements de traitement d'air du réseau dont la puissance restituée diminuera (par exemple en observant le % d'ouverture des vannes EC de CTA ou la résultante de température ambiante).

La modification des consignes pourra être :

- manuelle (GTC ou sur le régulateur de la centrale de production),
- ou automatisée si disponible ou après intervention d'un intégrateur GTC CVC.

Cas spécifique des vigies

Dans le cadre du traitement d'une vigie en simple vitrage en été et mi-saison, des besoins de chauffage modérés peuvent survenir en matinée jusqu'au lever du soleil. En cas de présence de batteries électriques de puissance suffisante dans les CTA, celles-ci pourront se substituer au chauffage par eau chaude. Les chaudières seront dans ce cas stoppées.

En cas d'absence de batterie électrique dans les CTA, un moyen d'adaptation consiste à réguler la température de production selon une loi d'eau sur la température extérieure à activer et paramétrer.

4.9 Isoler les points singuliers des réseaux

Valeurs guides

Les pertes de distribution des réseaux d'eau de chauffage peuvent représenter de 5% à 20% de la consommation annuelle de chauffage. Si les réseaux et accessoires pour eau glacée sont en règle générale calorifugés contre les phénomènes de condensation, il est fréquent que les accessoires de réseau de chauffage ne le soient pas.

Il conviendra de procéder au calorifuge (mousse isolante type Armaflex 20 mm collé ou équivalent pour une résistance thermique supérieure à 1.5 m².K/W) et par ordre de priorité des éléments suivants :

- Les échangeurs chauffage ;
- Les corps de pompes,
- Les vannes 3 voies motorisées ;
- Les portions de réseau non calorifugés ;
- Les accessoires de réseaux comme les corps de vannes d'équilibrage et d'isolement, les filtres à tamis, les clapets anti-retour, ect... via une boîte isolante spécifique des fournisseurs ;
- Les portions de réseau dont le calorifuge est dégradé ou absente.

La Figure 8 fournit quelques exemples de réseaux nécessitant la pose d'un calorifuge avec pour conséquence directe un abaissement de la température dans le local, tout en évitant le risque de brûlure pour les opérateurs de maintenance.

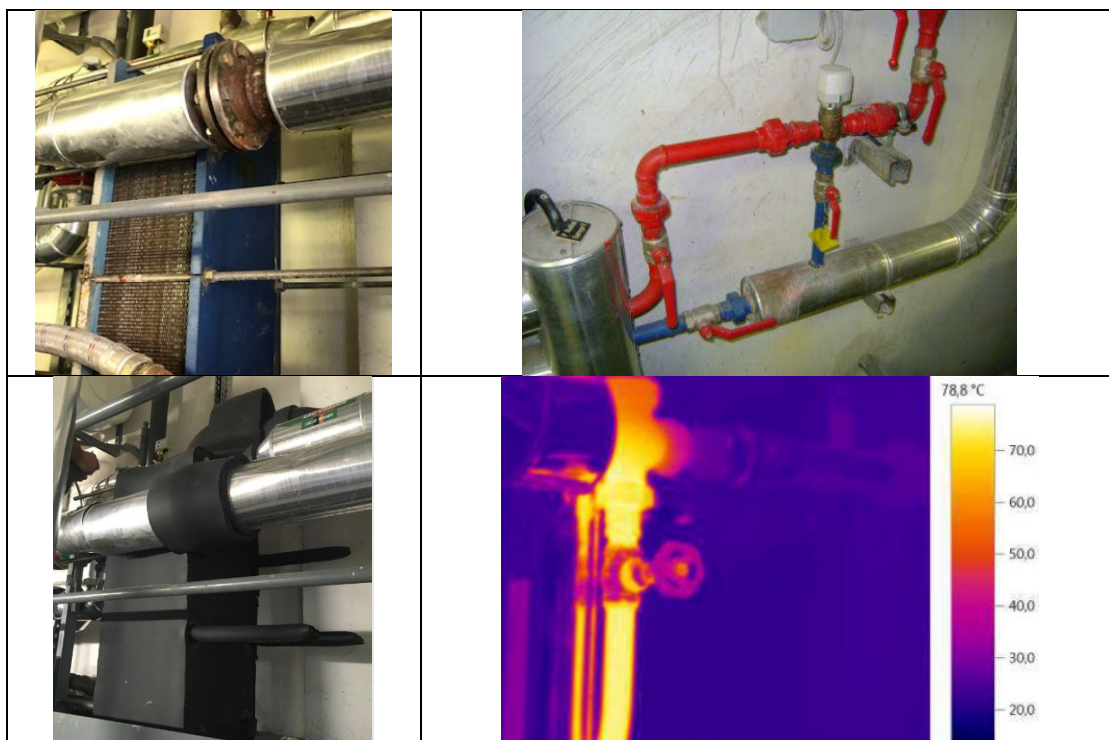


Figure 8 : Exemples de points singuliers non calorifugés (droite) et traitement avant/après (gauche)

Il en va de même pour les réseaux de gaines de CTA dont les règles de l'art imposent 50 mm d'isolant en extérieur et 25 mm en intérieur. Il sera surveillé tout affaissement de l'isolation si positionné en intérieur, ou toute entrée d'eau risquant de dénaturer l'isolation en extérieur.

Mise en pratique

L'inspection par thermographie infrarouge est le principal outil de repérage, réalisé en période de chauffe pour les réseaux d'eau, ou tout le long de l'année pour les réseaux d'air. Les points à traiter doivent être listés, localisés sur plan et/ou photos pour l'établissement du devis du calorifugeur (si non fait en régie). L'inspection doit être menée sur l'ensemble du réseau, de la production jusqu'à l'intérieur des émetteurs (CTA, ATA, ventilo-convecteurs).

Ces prestations, simples à réaliser ou faire réaliser, rentrent tout à fait dans le mécanisme CEE via la fiche BAT-TH-155 - *Isolation de points singuliers d'un réseau* [CEE]. Elles sont dans ce cas contrôlée par un bureau de contrôle qui attestera de la qualité et cohérence de réalisation de ces travaux.

4.10 Maximiser les modes freecooling / freechilling disponibles

Principes

Certaines CTA ou ATA sont dotées d'une option de gestion du freecooling direct via une action de l'automate sur la proportion d'air neuf/air recyclé. Cette option permet des gains intéressants sur la consommation électrique liée à la production de froid si l'installation est correctement réalisée et si la température des salles sont compatibles avec ce mode.

Si l'accès vers une prise d'air extérieure est envisageable, étudier l'installation d'un système combiné permettant le freecooling d'une salle.

Mise en pratique

Pour les sites déjà doté de cette fonctionnalité, il conviendra de vérifier le fonctionnement de ce mode avec les nouvelles consignes de température et/ou hygrométrie dans l'optique de maximiser les économies de refroidissement.

Il convient de surveiller parallèlement les consommations d'humidificateurs d'air qui peuvent dans une certaine proportion augmenter.

Dans le cas spécifique des installations basées sur un mode freechilling, il conviendra de vérifier l'efficacité énergétique de ce mode (état de propreté des échangeurs, consommations circulateur + ventilateur de TAR) en comparaison avec un mode classique (production d'eau glacée).

Dans certains cas particuliers (refroidissement toute l'année, apports de chaleur sensible importants), l'installation d'un système combiné peut être le gisement d'économies importants estimé entre 30 et 50% de la consommation totale électrique du site (ex : expérimentation en cours - Figure 9).



Figure 9: Système combiné avec caisson freecooling en rénovation (CES Haillan)

4.11 Vérifier la propreté des batteries de CTA et groupes frigorifiques

Principes

L'encrassement prononcé des échangeurs - batteries à ailettes contenant de l'eau (CTA, TAR) ou un fluide frigorigène (PAC, centrale d'EG, Split) impacte directement l'efficacité du système que l'automatisme compensera soit par une augmentation des consommations du côté ventilateurs (+ bruit), soit par une baisse de performance du système (temps de fonctionnement compresseur(s) supérieur, défaut par temps chaud / froid, augmentation du débit circulateurs, bruit...). Il en va de même pour certains médias utilisés en humidification adiabatique (TAR adiabatique, CTA) dont la durée de vie reste limitée à 5 ans.

Mise en pratique

Il convient dans ce cas :

- En maintenance préventive : d'ausculter attentivement l'ensemble de la batterie (encrassement et corrosion), de vérifier et relever les performances de l'équipement périodiquement afin d'analyser l'évolution (relevés températures, HP/BP, mesures régulières de pression / perte de charge sur batterie...)

- En maintenance curative : au nettoyage + traitement des batteries selon les recommandations de la société en charge de la maintenance qui fera appel à une société dont c'est la spécialité ;

Les Figures 10 illustrent l'importance du soin apporté à l'entretien d'échangeur exposé aux intempéries et/ou à la pollution.



Figures 10: Echangeur encrassé sur un aérorefroidisseur (freechilling) doté de 3 ventilateurs de 2,2 kW – impacts énergétique multiples (temps de fonctionnement des ventilateurs, des circulateurs eau de freechilling et eau glacée)

4.12 Analyser la qualité d'eau des réseaux, leur encrassement et performance des échangeurs

Principes

L'encrassement des installations hydrauliques de chauffage et d'eau glacée, notamment des échangeurs (à plaques, batteries de CTA et échangeurs des groupes EG et PAC) réduit l'efficacité énergétique des équipements de traitement d'air tout comme les productions. Un suivi des performances doit être réalisé régulièrement.

Mise en pratique

Il convient alors :

- En maintenance préventive : Vérifier les performances de l'équipement périodiquement et les relever afin d'analyser l'évolution (delta T, puissance), faire analyser l'eau des réseaux de bouclage, et les équiper de filtres efficaces si absent (clarificateur à barreau magnétique + poche, filtre à boue en ligne). Adapter les paramètres de l'eau selon les recommandations du laboratoire d'analyse. A cette occasion, il sera vérifié le sens d'alimentation des échangeurs air-eau et eau-eau (contre-sens obligatoire). Des surprises peuvent apparaître plusieurs années après la création de l'installation ;
- En maintenance curative : au désembouage + traitement des réseaux selon les recommandations de la société en charge de la maintenance ;

4.13 Détecter les incohérences de fonctionnement des automatismes

Principes

Les défauts de programmation ou paramétrages d'automates sont malheureusement possibles. Une analyse du fonctionnement des systèmes après mise en service est toujours nécessaire dans les premières années de fonctionnement mais également les suivantes.

Mise en pratique

En cas d'anomalie détectée, faire intervenir l'intégrateur à l'origine de l'installation. Faire constater et modifier la programmation, et faire reprendre l'analyse fonctionnelle de l'installation. Contrôler après modification de l'installation.

NB : Il est rappelé qu'il est **interdit** en dehors des périodes de déshumidification d'air ou de tests spécifiques l'usage simultané des batteries froides et batteries chaudes ou radiateur dans un même local. Un contrôle de cohérence du fonctionnement des équipements CVC est nécessaire. Pourtant les erreurs de pilotage d'installation existent (exemple illustré sur la Figure 11).

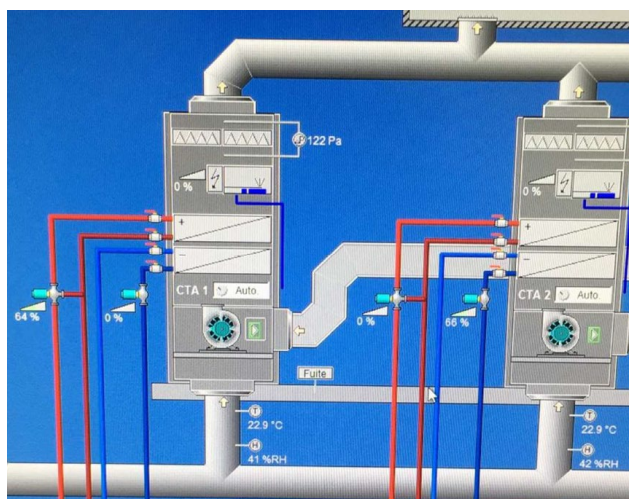


Figure 11: Incohérence de fonctionnement chaud et froid simultané de deux CTA traitant un même local (deux automatismes indépendants sans contrôle de cohérence)

5 ACTIONS COMPLEMENTAIRES FACULTATIVES

5.1 Gamme de filtration efficiente

Valeurs guides

Compte tenu des consommations énergétiques des ventilateurs de CTA régulées en pression de soufflage constante ou variable, il peut être envisagé un changement de gamme de filtration équivalente dont la classe de performance énergétique sera A ou A+. Cette action n'a pas d'intérêt si la vitesse du ventilateur n'est pas modifiable.

Mise en pratique

Vérifier avec la société en charge de la maintenance d'une part la bonne maintenance des filtre, d'autre part la classe de filtration actuelle et sa classe de performance énergétique. Etudier en lien avec la société de maintenance la faisabilité d'augmenter la gamme de performance le cas échéant. Recaler les seuils d'alarme encrassement filtre des pressostats selon les recommandations fournisseurs et mainteneurs.

5.2 Améliorer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et des réseaux

Valeurs guides

Pour les locaux dont les façades sont exposées aux vents (front de piste ou de mer notamment), un diagnostic de mesure d'étanchéité à l'air de l'enveloppe avec recherche de fuites d'air peut être envisagé pour lutter contre les infiltrations d'air parasites apportant inconforts et surconsommation énergétique (chauffage et climatisation).

Pour les réseaux de gaines véhiculant des débits importants ($Q > 5000 \text{ m}^3/\text{h}$) et sous plus de 100 Pa de pression en gaine, il peut être envisagé de qualifier la classe d'étanchéité d'un ou plusieurs réseaux. A défaut de mesure quantifiant l'importance des défauts, une recherche de fuites peut être réalisée à l'aide de fumigène, voir à la main au niveau de chaque raccord. L'inspection des réseaux est généralement l'occasion de détecter les écrasements de gaines souples, voir encrassement interne générant une baisse de performance des installations (voir Figure 12).



Figure 12: Gaine de soufflage écrasée et perforée (à gauche) - Réseau de reprise d'air (prise avant nettoyage / désinfection) fortement encrassé réduisant le débit d'air d'une CTA (à droite)

Mise en pratique

La mesure d'étanchéité enveloppe et le rapport sera réalisé par une société qualifiée QUALIBAT 8711. Compter entre 500 et 1000€HT la campagne de mesure fonction de la complexité de l'intervention. Il s'en suivra une campagne de colmatage des principaux défauts constatés.

Pour les réseaux aérauliques, la mesure et le rapport sera réalisé par une société qualifiée QUALIBAT 8721. Compter entre 800 et 1500€HT la campagne de mesure selon l'intervention qui nécessitera un arrêt de la CTA de quelques heures.

L'état de propreté intérieure des réseaux de gaines doit être inspecté ponctuellement une fois par an par le mainteneur du site. En cas de suspicion d'encrassement, une inspection réalisée par une société spécialisée par caméra mobile permettra de cibler les zones à faire nettoyer/désinfecter.

6 BIBLIOGRAPHIE

Ce guide repose pour l'essentiel sur des travaux scientifiques, réflexions technique partagées s'appuyant notamment sur :

- Le Guide spécifications bâtiments opérationnels DGAC - Génie Climatique [DSNA2022] ;
- Des publications techniques (ex : [ACTEE] - [CERE2022]) et scientifiques en revues internationales ;
- D'échanges techniques avec des membres du réseau des ingénieurs hospitaliers, de collectivités (collèges, lycées et universités) dans le cadre d'un groupe de travail animé par le CEREMA et la société Kelair en région Aquitaine ;
- et de retours terrain remontés au SNIA et DTI.

Liste des publications ou pre-print sur les sujets abordés dans ce guide :

- ✓ [ACTEE] https://www.programme-cee-actee.fr/wp-content/uploads/2021/11/6_Guide_Actions_gains_rapides.pdf
- ✓ [CERE2022] CEREMA Recueil de fiches d'actions à coûts maîtrisés pour réduire les consommations énergétiques <https://www.cerema.fr/fr/actualites/batiment-fiches-actions-faible-cout-reduire-consommations>
- ✓ [DSNA2022]: Guide spécifications bâtiments opérationnels DGAC Génie Climatique – V1.15, diffusion Décembre 2022
- ✓ [Energieplus] <https://energieplus-lesite.be/theories/ventilation10/grandeurs-caracteristiques-des-ventilateurs-d2/>
- ✓ [MAP CLIM] <https://mapclim.fr/documentations/Mapclim-retrofit.pdf>
- ✓ [RICH2021]: Richieri. F. et Al. Design of "high-performance" control towers: The importance and the difficulty of achieving duct and envelope airtightness Long Oral presentation for the 23th BUILDAIR, Germany-Hannover (2021)

7 ANNEXES – EXEMPLES

7.1 Impacts énergétiques liés au contrôle d'ambiance

Cas d'une vigie type

Des simulations thermiques dynamiques réalisées sous logiciel Trnsys® du CSTB sur un modèle de grande vigie en simple vitrage dotée des éléments suivants :

- résistances chauffantes électriques (chauffage et mode déshumidification),
- groupe d'eau glacée (refroidissement et mode déshumidification),
- ventilateurs (tout recyclage + insufflateur d'air neuf indépendant) ;
- humidificateur vapeur à résistance.

Les simulations permettent de calculer les consommations électriques annuelles (Figure 13) selon différentes conditions climatiques pour un traitement d'air conforme au guide de conception [DSNA2022]. Ce bilan est illustré dans l'étude [Rich2021].

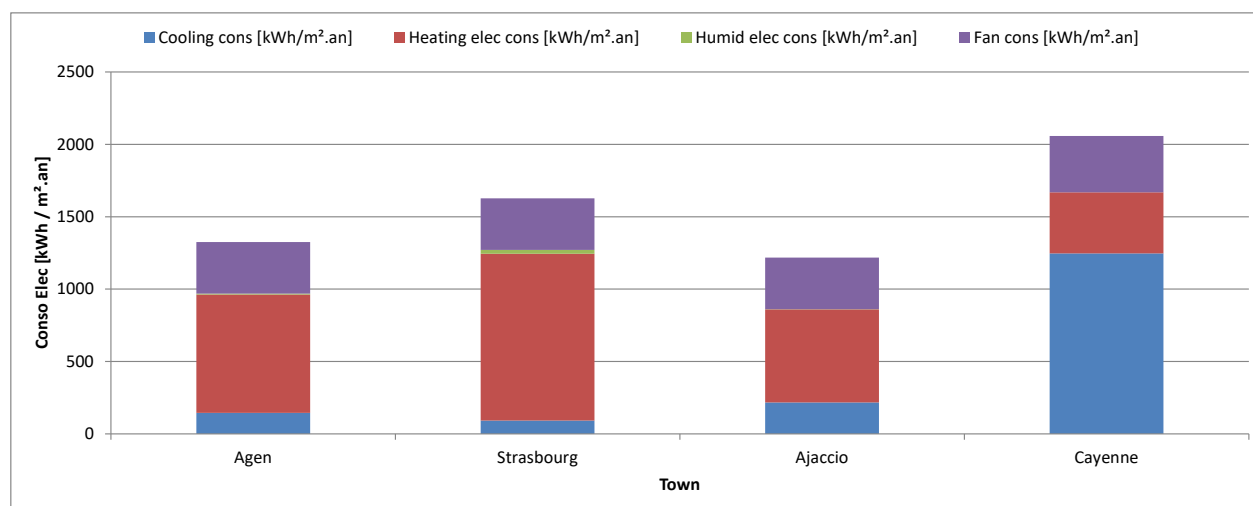


Figure 13: Consommation électriques surfacique annuelle du système de traitement d'air d'une vigie de 110 m² (podium + coursive) selon 4 localités

L'exploitation du même modèle permet ainsi d'évaluer que pour une vigie simple vitrage :

- qu'un degré de chauffage en moins permet un gain de 15% sur les consommations électriques ;
- qu'un degré de climatisation en plus permet un gain de 5% sur les consommations électriques ;
- Les consommations électriques des humidificateurs sont faibles en comparaison avec les autres postes si on respecte un minimum de 5 gr/kg_{as} ;
- Les consommations de batteries électriques sur Cayenne sont liées aux périodes de déshumidification de l'air la nuit en absence de besoin de refroidissement. Ces consommations peuvent être conséquente en besoin froid et chauff simultanés, ce qui nécessite une vigilance quant au respect des consignes de déshumidification fixée à 12 gr/kg_{as}.

Cas d'une salle technique type

Autre exemple concernant la modélisation thermique dynamique d'une grande salle technique (1200 m²), permettant d'illustrer l'évolution des consommations CVC annuelles liées au seul traitement d'air. Le scénario climatique utilisé ici est celui de Bordeaux. Les centrales de traitement d'air disposent dans cet exemple :

- d'un caisson de mélange air-neuf/air recyclé permettant l'accès à un mode de freecooling (0-100% air neuf) ;
- d'une batterie à eau glacée liée à une production centralisée ;

- d'une batterie électrique pour le mode déshumidification en période estivale ;
- d'un étage d'humidification vapeur à résistance plongeante en ligne.

Ainsi la Figure 14 indique :

- que le poste de consommation majoritaire reste la production d'eau glacée et ses circulateurs ;
- vient ensuite la consommation des ventilateurs de CTA ;
- Enfin, les consommations d'humidificateurs.

L'analyse montre qu'une consigne de poids d'eau minimal trop importante peut engendrer des consommations d'humidificateurs vapeur telles qu'elles deviennent comparables aux consommations déjà importantes des ventilateurs de CTA et de production d'eau glacée. Dans l'exemple simulé, les consommations électriques annuelles liées au traitement d'air augmentent de 28% pour une consigne de poids d'eau minimal de 8.5 gr_{vap}/kg_{as} par rapport à une consigne d'humidification de référence de 6.5 gr_{vap}/kg_{as}. La vapeur d'eau produite peut, en excès, condenser en partie sur les batteries ce qui augmentera la consommation de la production d'eau glacée.

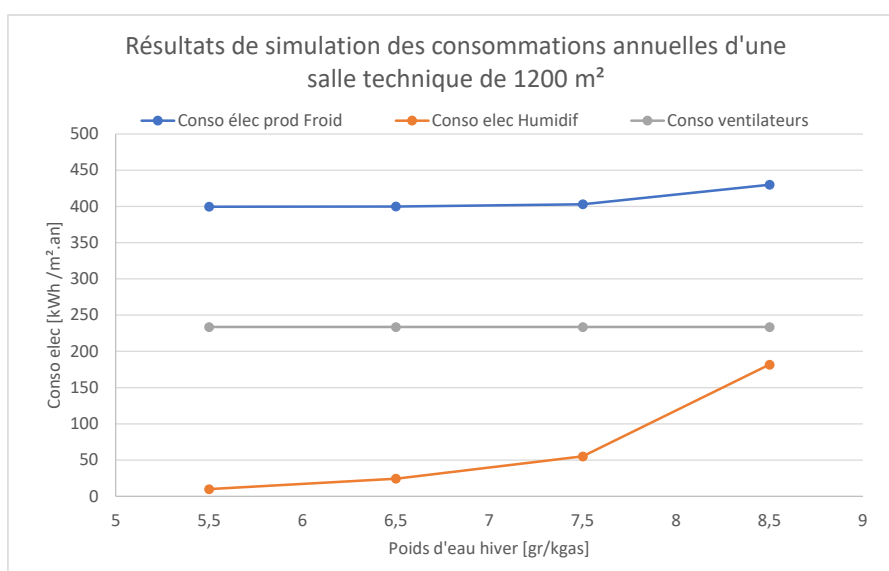


Figure 14: Résultats de simulation des consommations électriques du traitement d'air d'une salle technique en fonction du poids d'eau minimal maintenu en hiver.

Dans le même temps, le choix d'une température de consigne plus élevée impactera de façon sensible la consommation de la production d'eau glacée en augmentant la durée du mode freecooling disponible tout au long de l'année en diminuant les taux charges des compresseurs groupe froid. Comme illustré sur le graphique suivant (Figure 15), les consommations annuelles diminuent sensiblement (3 à 4% par degré) avec la température ambiante lorsque la consigne intérieure augmente.

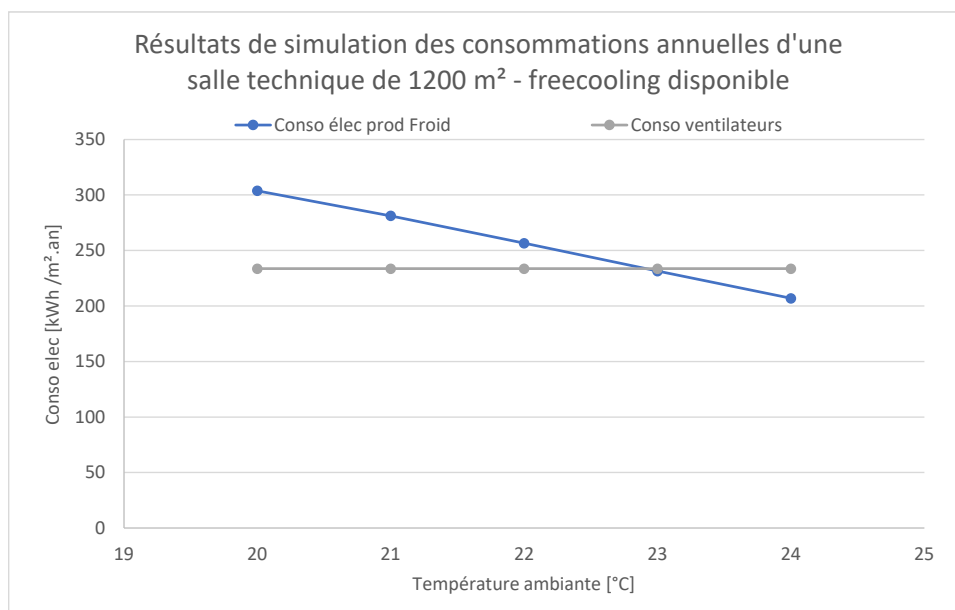


Figure 15: Simulation d'une salle technique avec option Freecooling sur CTA - Influence de la température contrôlée – zone climatique H2c

L'analyse de sensibilité de la consommation des systèmes CVC en fonction de la température et de l'hygrométrie minimale ambiante souligne donc la nécessité de maîtriser les paramètres liés au traitement d'air vis-à-vis les consommations énergétiques des installations.

Cas d'une salle technique de sites isolées

Certains locaux techniques de sites isolés sont fréquemment traités par UTA à détente directe (split réversible - Figure 16) fonctionnant en permanence en mode rafraîchissement.

Une augmentation de la consigne de température hors occupation permet de réduire des économies d'énergie sur la consommation électrique du système pour deux raisons.



Figure 16: Exemple de traitement d'air sur un site isolé

Premièrement, en augmentant la température de consigne, le besoin en rafraîchissement diminue (réduction des apports sensibles) ce qui permet de réduire la consommation d'énergie du système de climatisation.

Deuxièmement, en élevant la température de reprise d'air de l'équipement situé au plafond, les performances thermiques d'un split réversible s'améliorent.

Prenons le cas d'un monosplit équipé d'une unité terminale murale capable de restituer une puissance totale de refroidissement de 10 kWfr dans les conditions nominales (pour 27°C/19°C BH int / 35°C ext).

Le graphique ci-dessous (Figure 17) illustre la variation de la puissance sensible nette de l'équipement en fonction de la température de reprise (données issues de la documentation technique d'un fabricant) et la température extérieure.

Point d'attention : pour une température de consigne réglée à 23°C, comme la reprise de l'unité intérieure se fait en partie haute du local, la température de l'air repris sera de l'ordre de 1°C de plus par rapport à la consigne en ambiance [DSNA2022].

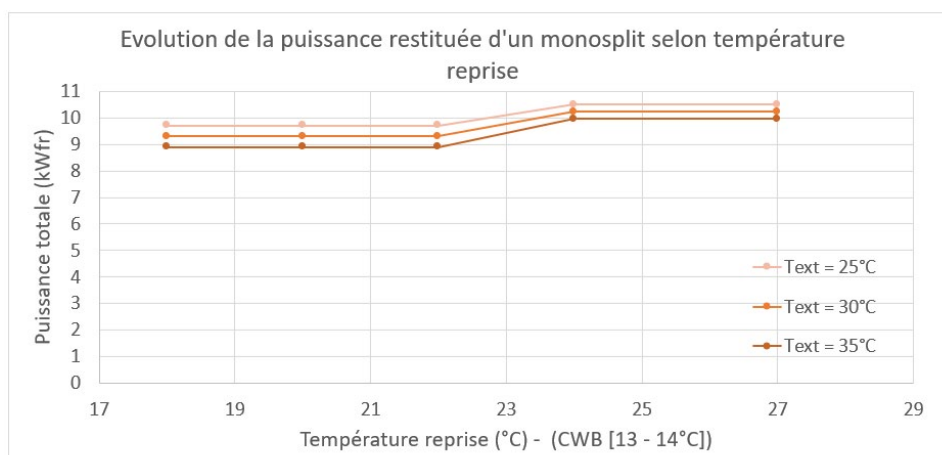


Figure 17: Evolution de la puissance de refroidissement sensible nette restituée d'un monosplit (source Daikin)

Lorsque la température à la reprise passe de 27°C à 18°C pour un bulbe humide entre 13 et 14°C, la puissance restituée diminue de 10%. En choisissant une consigne de température basse par rapport aux caractéristiques nominales d'un monosplit, la capacité de refroidissement de l'appareil est affaiblie.

La Figure 18 représente la variation de l'efficacité énergétique du système ($EER = \text{Puissance restituée} / \text{Puissance électrique absorbée}$) en fonction de la température de reprise et la température extérieure.

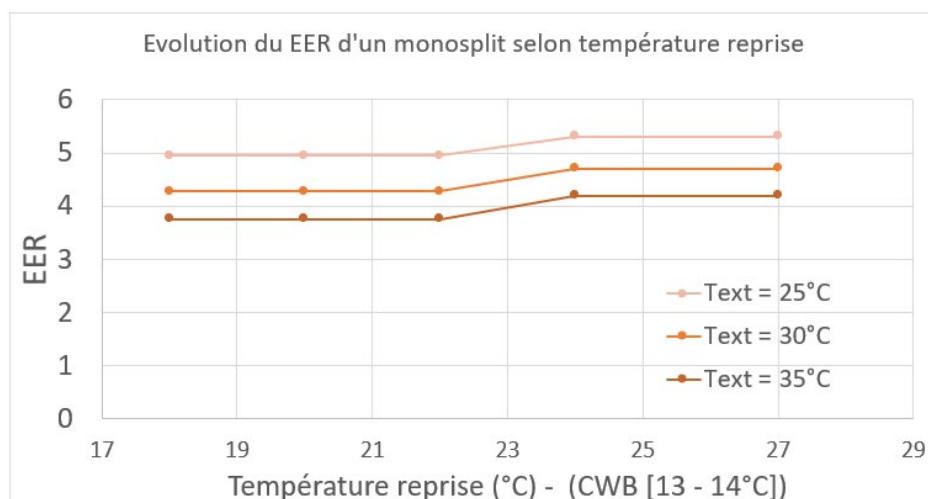


Figure 18: Evolution du coefficient de performance EER en fonction des conditions intérieures / extérieures

L'EER s'améliore lorsque la température à la reprise s'élève. Il augmente en moyenne de 10% lorsque la température intérieure passe de 20 à 24°C.

7.2 Exemple d'installation rénovée en débit variable

Les Figures 19 illustrent l'exemple d'une installation rénovée de vannes 3 voies en vannes 2 voies avec ajout de variateurs sur circulateurs à vitesse fixe de 5.5 kWabs nominal (42 m³/h – 20 mCE).



Figure 19: Circulateurs eau glacée et ses variateurs

Comme illustré sur les Figures 20, certaines vannes dites « intelligentes » permettent entre autres des fonctionnalités complémentaires utiles :

- D'auto-équilibrage du débit nominal à faible pertes de charge ;
- De régulation 0-100% du débit nominal sur signal de commande 0.5-10 V ;
- De mesure des températures entrée/sortie batteries CTA ou ATA ;
- De comptage énergétique (puissance instantanée kW et cumul kWh) ;
- De détection de bulles dans le réseau ;



Figures 20 : Vannes 2 voies communicantes multi-protocole (Belimo® – Siemens®)

La Figure 21 illustre l'évolution de la puissance absorbée selon le besoin du réseau sur une année. La consommation des circulateurs a été divisée par 3 (soit 1.8 kWabs en puissance moyenne absorbée) par rapport au même circulateur fonctionnant toute l'année à 100% pour un gain d'environ 32 MWh/an.

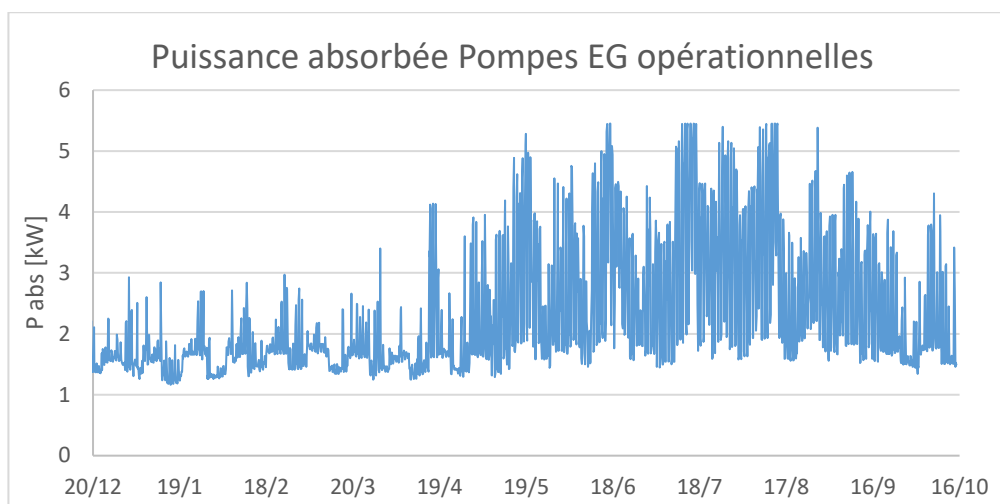


Figure 21 : Variation de vitesse/puissance absorbée sur 10 mois d'une double pompe d'eau glacée opérationnelle – SNA GSO – Réseau EG pour CTA Vigie/IFR/ST/Energie (gauche) – V2V autorégulante et communicante posée en remplacement d'une V3V (droite)

Enfin, la Figure 22 illustre un exemple d'exploitation de ce type de vanne et le bilan énergétique annuel qui est possible de réaliser.

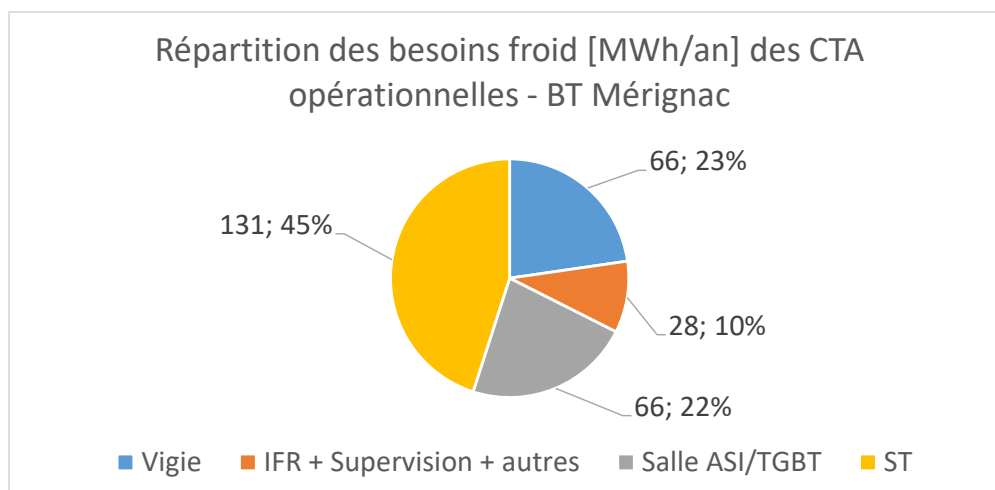


Figure 22: Illustration du bilan de consommation froid annuel sur l'ensemble des CTA opérationnelles d'un bloc technique équipé de V2V communicantes