

RAFRAÎCHISSEMENT ADIABATIQUE

Une technologie simple encore trop mal connue

SOMMAIRE

PRÉSENTATION ENVIROBATBDM	4
PRÉSENTATION ACTION REX BDM	5
INTRODUCTION	7
ADIABATIQUE : ÉTAT DE L'ART	8
PROTOCOLE DU RETOUR D'EXPÉRIENCE	18
ANALYSE PAR SITES D'ÉTUDES	
SITE 1 : MARSEILLE	22
SITE 2 : ÉTANG DE BERRE	26
SITE 3 : PAYS D'AIX	30
SITE 4 : HAUT-VAR	34
SITE 5 : VAR CÔTIER	38
SYNTHÈSE	42
OUTIL PRATIQUE	46
ANNEXES	
ANNEXE 1	48
ANNEXE 2	50
POUR ALLER PLUS LOIN	51

Crédits : Les illustrations ont été réalisées par Alexis BREUIL.

EnvirobatBDM remercie l'ensemble des acteurs qui ont participé aux enquêtes. Leur collaboration a permis de nourrir les discussions et apporter les éléments nécessaires pour rédiger un texte de qualité en intelligence collective.

Janvier 2024 - Réalisation : Carlos VAZQUEZ, Alexis BREUIL, Chargés de mission retour d'expériences, EnvirobatBDM.

Présentation et objectifs

EnvirobatBDM est un centre de ressources qui rassemble les professionnels de la construction en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur depuis plus de quinze ans. Ses acteurs font fructifier les connaissances, les bonnes pratiques et les innovations dans le domaine de l'aménagement, de la construction et de la réhabilitation durables en région méditerranéenne.

Ils sont partis du postulat qu'il est primordial d'évaluer leurs opérations pour mieux évoluer ensemble, en partageant les retours d'expériences. Ils ont ainsi développé des outils adaptés grâce à l'intelligence collective.

Les maîtres d'ouvrage, maîtres d'oeuvre, entreprises de réalisation, fabricants et fournisseurs de matériaux adhérents d'EnvirobatBDM, dialoguent avec les utilisateurs pour valider leurs retours d'expériences. L'association propose ses services aux collectivités, bailleurs et promoteurs pour optimiser leurs projets durables dans un contexte méditerranéen. Chaque interlocuteur bénéficie, dans un écosystème de confiance, d'une expertise technique et humaine pour réaliser des bâtiments d'une grande qualité durable.

Ensemble, bâtissons le bonheur des générations futures !

Compétences de l'association

Centre d'évaluation

Pour accompagner et évaluer les projets de bâtiments et de quartiers ainsi que les actions novatrices.

Centre de ressources

Pour assurer une veille technique et dynamique sur les sources d'informations, capitaliser la matière issue de l'expérience des professionnels et la diffuser lors d'événements tels que Bâtifrais ou le Colloque de la Réhabilitation.

Centre de formation

Pour amplifier la généralisation du bâtiment durable en s'adressant à tous les corps de métier, et mobiliser le plus grand nombre d'acteurs. La diffusion des connaissances et des bonnes pratiques repose sur la formation, l'animation des réseaux de professionnels (conférences, rencontres d'acteurs, visites et voyages d'étude) et la diffusion des ressources et des publications (fiches d'opérations, fiches retours d'expériences, rapports thématiques).



Contexte

Avec plus de 500 projets ayant suivi la démarche BDM, la mise en place d'un dispositif formalisé et systématique de capitalisation des retours d'expériences (REX) répond aux besoins des adhérents BDM ainsi qu'aux professionnels du bâtiment en général, dans le but d'une amélioration continue pour la montée en compétences des acteurs.

Les retours capitalisés sont analysés avec le filtre de la démarche, suivant ses 7 thématiques :



Territoire et site



Eau



Social et économie



Matériaux



Confort et santé



Gestion de projet



Énergie

Phasage de l'action

Choix du sujet

L'action démarre avec l'analyse générale des retours issus des projets BDM, collectés préalablement dans les commissions, livrets et compte-rendus. Les problématiques les plus récurrentes sont regroupées et un choix est défini par le centre de ressources, en accord avec le reste des centres.

Phase de recherche et enquête des opérations

Réalisation d'une quinzaine de visites, dans le but de capitaliser les retours sur le terrain. Le chargé de mission est accompagné par un ou plusieurs acteurs du projet.

Phase de production

Choix d'un ou deux référents techniques qui assistent EnvirobatBDM.
Production d'un rapport synthétique suite à la collecte des informations.

Phase de diffusion

Réalisation d'une restitution publique pour une plus large sensibilisation des professionnels.

Introduction

« À l'échelle nationale, la France a connu du 17 au 24 août 2023 sa 47ème vague de chaleur depuis 1947. Avec une durée de 8 jours, il s'agit de la vague de chaleur tardive la plus longue à l'échelle du pays et la plus intense, notamment sur les régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Occitanie. »

Données Météo France

Lutter contre la chaleur estivale a toujours fait partie de la culture méditerranéenne. On plante des feuillus en façade sud, on ferme les volets la journée, on aère la nuit. Mais comment faire lorsque ces chaleurs s'intensifient et que le bon sens n'est plus appliqué ? On climatise. Telle est la réponse qui s'est généralisée durant le XXème siècle et qui va en s'intensifiant au XXIème siècle (en 2022, selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), environ 2 milliards de climatiseurs fonctionnaient dans le monde). Seulement voilà, cette réponse aggrave le problème initial. Non content de réchauffer toujours plus l'air extérieur, la climatisation implique également une forte consommation électrique (10% de la consommation mondiale en 2022 toujours selon l'AIE).

Devant ces constats, il est donc urgent de changer nos manières de faire du frais et de revenir à du bon sens. Le rafraîchissement adiabatique fait partie de ces outils utilisés depuis les temps anciens qui reviennent progressivement au goût du jour. Cette technologie simple reste pourtant peu connue des prescripteurs et des installateurs. Ce retour d'expérience a pour objectif de dresser un inventaire des différentes solutions adiabatiques qui existent à ce jour et de voir au travers de 5 sites d'études (projets BDM) quels en sont les avantages et les limites. Les résultats décrits, circonscrits aux 5 projets, ne sauraient être complètement représentatifs du marché, mais posent, en revanche, un certain nombre de questions, de bonnes pratiques mais aussi de dysfonctionnements systèmes. Le lecteur aura une vision plus complète des atouts mais aussi des points de vigilance liés à cette technologie.

Le bureau d'études Sowatt a été retenu pour mener l'étude de terrain et Gérard Gaget, responsable d'activité rafraîchissement adiabatique au sein de la société Adexsi, nous a accompagné grâce à son expertise de longue date en la matière.



Cédric GENTIL

Bureau d'études SOWATT



Gérard GAGET

Expert consultant adiabatique

ÉTAT DE L'ART

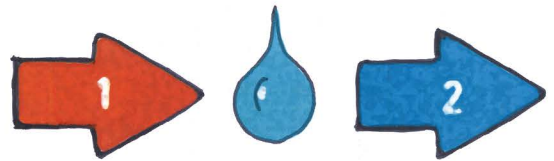
Principe naturel et ancestral, le rafraîchissement adiabatique est de nouveau plébiscité grâce à son faible impact environnemental, une consommation électrique minime et un investissement souvent moindre qu'une climatisation. Les progrès réalisés ces dernières années permettent de répondre à des besoins de plus en plus larges. Retour sur l'évolution des produits et du marché de ces dernières années.

Les prémices

Construits dans les zones les plus chaudes du globe bien avant notre civilisation, les Bâdgir (littéralement « attrape-vent ») de Mésopotamie ressemblent à de grandes cheminées. Dotés de fentes verticales sur la partie haute de leur façade, ils captent les vents pour les rediriger vers l'intérieur du bâtiment afin de le rafraîchir. L'intérieur de la tour est séparé verticalement en plusieurs conduits afin de permettre la circulation de courants descendants (apportant la fraîcheur) et ascendants (expulsant l'air chaud). Les courants descendants étaient souvent mis en contact avec un bassin d'eau situé au pied du Bâdgir : mise en pratique du rafraîchissement adiabatique.

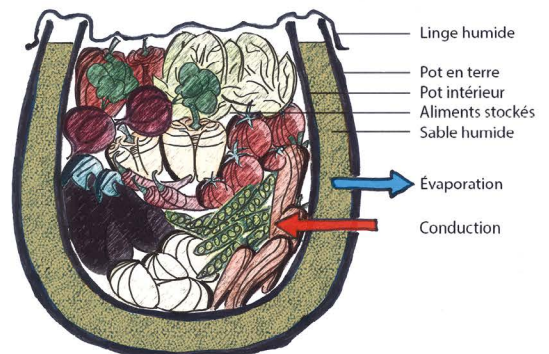
Fonctionnement

Pour passer de l'état liquide à l'état gazeux, l'eau a besoin d'énergie. La mise en contact de l'air avec l'eau permet l'évaporation de celle-ci et l'abaissement de la température de l'air. Un rafraîchisseur adiabatique permet l'échange entre l'air et l'eau, et ainsi, l'insufflation d'un air plus frais. On parle de rafraîchissement adiabatique car l'énergie totale de l'air reste la même (si on occulte l'énergie du ventilateur), l'énergie sensible est transformée en énergie latente sous forme de vapeur d'eau. C'est la chaleur gratuite de l'air qui permet l'évaporation de l'eau, le bilan énergétique est donc particulièrement favorable.

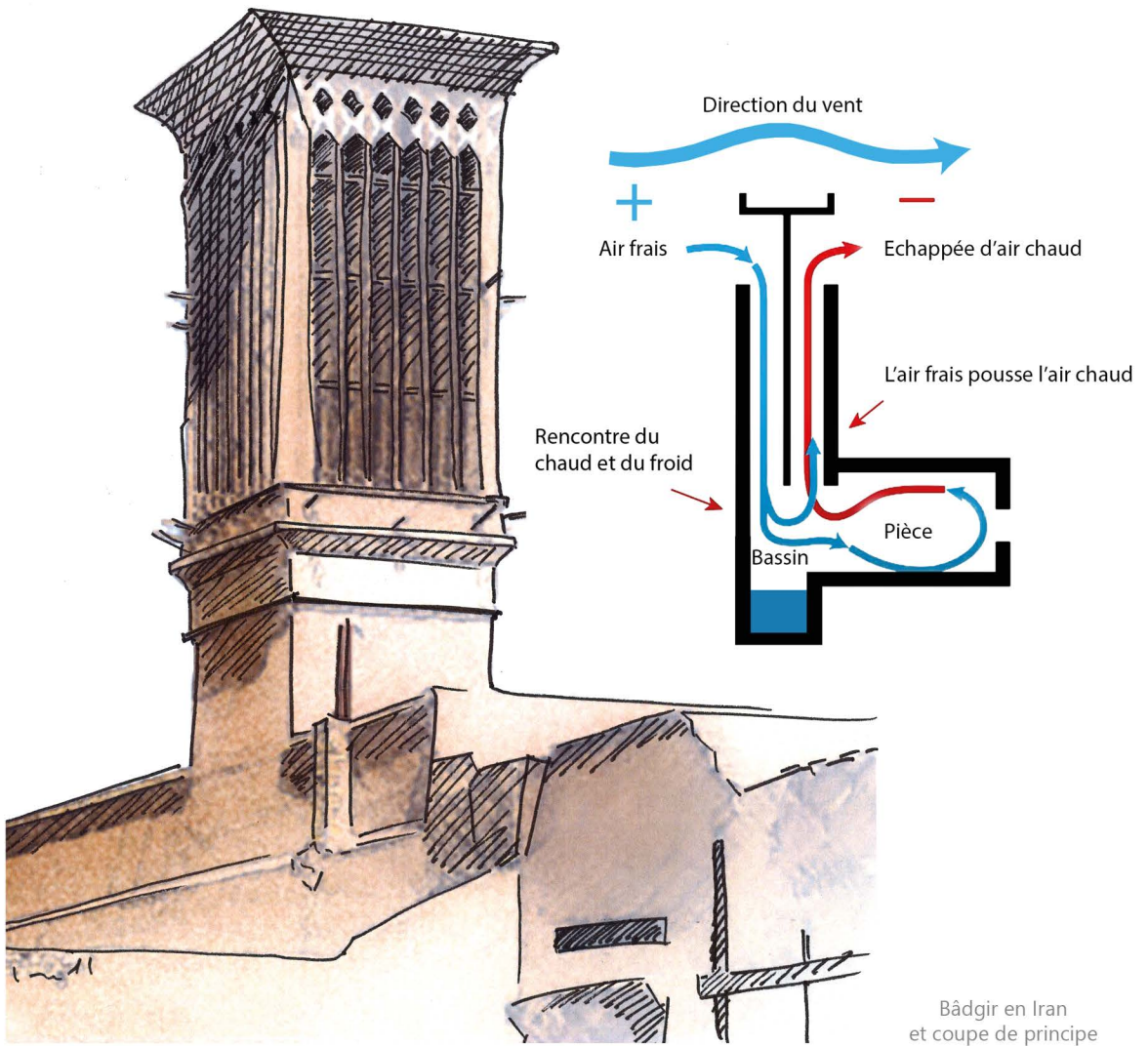


L'air chaud se rafraîchit après l'évaporation de l'eau

Les "frigos du désert" mettent également en application ce phénomène depuis des millénaires. Un pot en terre cuite poreuse ou en argile, garni de sable humide, contient un pot intérieur (qui peut être hermétique et ainsi contenir des liquides) dans lequel l'aliment est placé : l'évaporation de l'humidité extrait la chaleur du pot intérieur.



Coupe d'un frigo du désert



Bâdgir en Iran
et coupe de principe

Alors que les premières climatisations apparaissent au début du XXème siècle, le rafraîchissement adiabatique, dont les premiers échantillons apparaissent peu après en Arizona, reste cantonné à des zones géographiques très sèches et ne parvient pas à prendre une part significative du marché. Il faut attendre les premiers chocs pétroliers pour que la technologie émerge à nouveau lorsque l'on commence à chercher des solutions moins énergivores pour refroidir l'air. Tout d'abord réservée aux applications industrielles et aux grands volumes, la technologie apportait une solution aux projets où la climatisation était trop coûteuse ou mal adaptée.

Le rafraîchissement adiabatique trouva sa place entre des solutions d'extraction mécanique renouvelant l'air sans le rafraîchir et des solutions de climatisation onéreuse à l'achat ainsi qu'à l'exploitation. Le but recherché était à l'époque de maintenir un minimum de confort à moindre coût. Les premiers appareils réalisés avec une coque en matière plastique apparaissent également dans les années 70 en Australie. Des appareils plus légers et résistants à la rouille permirent à cette technologie de se développer dans de nombreux pays.

Un élan environnemental

En 1997 les accords de Kyoto sont signés. Ils entrent en vigueur en 2005 et obligent les pays signataires à réduire leur empreinte carbone. L'impact de la climatisation sur la planète est identifié et les industriels doivent trouver des solutions aux niveaux des réfrigérants utilisés mais aussi sur la performance des produits.

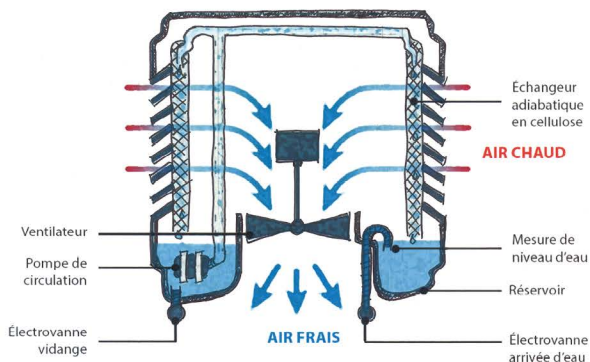
Les fabricants de rafraîchisseurs d'air adiabatique font également évoluer leurs produits pour offrir une alternative réelle à la climatisation, pour un nombre grandissant d'applications.



Des produits adiabatiques plus performants

L'expérience des premières années avait démontré que le refroidissement adiabatique permettait d'amener du confort dans toutes les régions tempérées du globe où la chaleur n'était pas associée à une humidité trop importante. Une optimisation des produits était cependant nécessaire.

Le schéma ci-contre représente les composants que l'on retrouvera dans cette technologie.



Coupe de principe d'un système adiabatique direct de type industriel
Source Génatis

Régulation

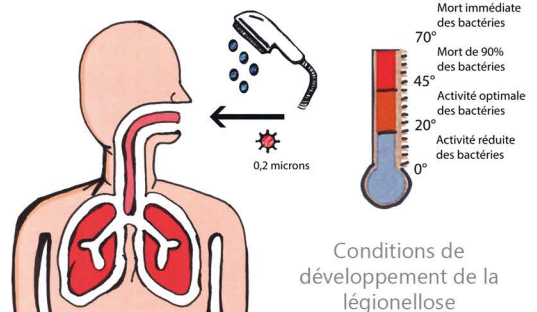
La performance du procédé adiabatique est liée à la température et à l'hygrométrie extérieure, il n'est donc pas possible de choisir une température de soufflage. Pour les zones géographiques favorables, celle-ci est inférieure à 25°C même par temps chaud, il est donc possible de maintenir une température de confort en adaptant le débit d'air aux apports calorifiques. La température de soufflage étant la plupart du temps aux alentours de 23,5°C par 35°C extérieur, il est possible de maintenir une température mesurée de 28°C correspondant à un ressenti de 26°C pour un déplacement d'air de 1m/s environ*. C'est la variation de vitesse qui permettra ainsi de maintenir la température de confort souhaitée. Une limite haute d'hygrométrie peut être ajoutée pour s'assurer que l'hygrométrie ne dépassera jamais un certain seuil. Une sonde de température extérieure permet de basculer du mode free-cooling (ventilation seule) au mode adiabatique (pompe de circulation d'eau en marche).

* Source : Génatis

** ICPE 2921 = règlementation sur le refroidissement évaporatif par dispersion d'eau dans un flux d'air

Une meilleure gestion de l'eau

La présence d'eau dans le système entraîne une crainte liée à la légionellose. Les solutions par ruissèlement permettent, grâce à un contact entre l'air et l'eau sur l'échangeur et sans entraînement de gouttelettes, d'éviter tout risque de transmission de bactéries. Ils sont aujourd'hui préférés à la brumisation où le risque de transmission entraîne des contraintes fortes. L'adiabatique par ruissèlement n'est donc pas soumise à l'ICPE 2921**. Une bonne gestion de l'eau permet également d'éviter toute eau stagnante en enclenchant des cycles de renouvellement d'eau. Ces mêmes cycles permettent d'éviter l'encrassement en minéraux lié à l'évaporation. La fréquence doit être réglée en fonction du Th (la dureté) de l'eau et de la quantité d'eau évaporée.



Amélioration des échangeurs

L'échangeur (ou média) est la partie sur laquelle l'eau s'évapore. C'est un organe important car l'abaissement de température dépend de son efficacité. Plus l'échangeur permet à l'air de se rapprocher du bulbe humide de l'air plus il est efficace. Les premiers échangeurs étaient composés de filaments de bois dont la capacité de rétention d'eau permettait d'atteindre une efficacité de l'ordre de 80%. L'abaissement de température correspondait dans ce cas à 80% de la différence entre le bulbe sec et le bulbe humide (ou température de saturation).

Dans les années 50, la société Munters invente les échangeurs nid d'abeille en cellulose. Ce n'est que lorsque les prix de ceux-ci commencèrent à baisser avec l'apparition de nouveaux fabricants dans les années 80 qu'ils furent intégrés dans la majorité des appareils. Un échangeur adiabatique est considéré comme efficace lorsque l'on dépasse 80% d'efficacité.



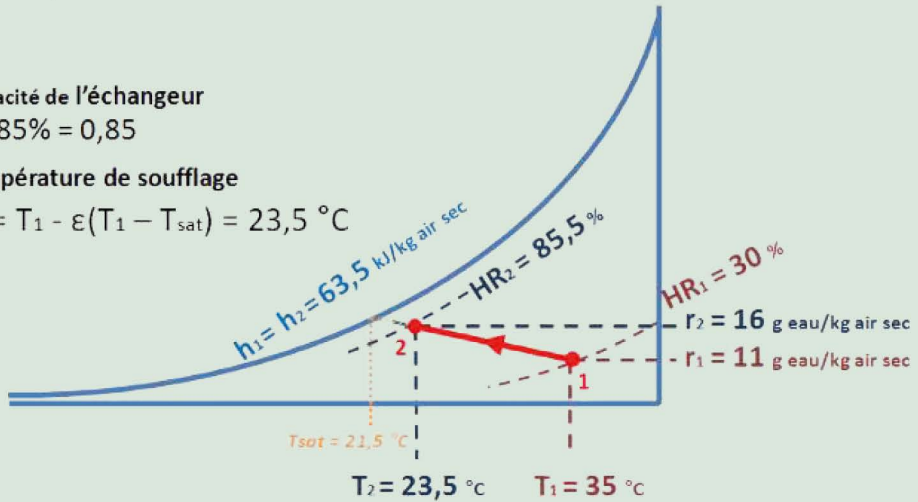
Dans l'exemple ci-dessous, avec de l'air dont le bulbe sec (bs) est à 35°C et la température de saturation (T sat) est à 21,5°C, l'échangeur permet de se rapprocher à 85% de la différence $T_{bs} - T_{sat}$, soit 11,5°C.

Efficacité de l'échangeur

$$\epsilon = 85\% = 0,85$$

Température de soufflage

$$T_2 = T_1 - \epsilon(T_1 - T_{sat}) = 23,5 \text{ °C}$$

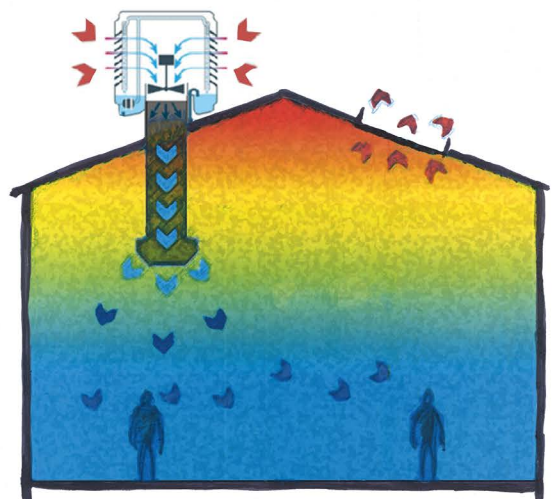


En adiabatique directe, l'évolution des caractéristiques suit les isenthalpiques du diagramme de l'air humide.

Utilisation de l'adiabatique sous nos latitudes

Les premières applications en France concernent essentiellement des bâtiments industriels et ERP de grands volumes où la technologie permet de maintenir le confort des salariés à moindre coût. Contrairement à la climatisation qui « avale » les calories, les solutions de rafraîchissement d'air adiabatique chassent l'air chaud par des ouvertures ou de l'extraction mécanique et le remplace par de l'air extérieur rafraîchi lors de son passage à travers des échangeurs maintenus humides. L'introduction d'air permet également de maintenir une légère surpression et d'évacuer l'air via les ouvertures existantes, il est donc possible de faire fonctionner une solution de rafraîchissement d'air par insufflation en laissant des portes ou des fenêtres ouvertes contrairement à la climatisation.

Pour les grands volumes l'apport d'hygrométrie ne pose pas de problème car le renouvellement d'air et la charge thermique permettent de maintenir une hygrométrie de confort. L'utilisation de l'adiabatique vers des applications tertiaires s'est développée plus tard grâce à des solutions indirectes qui seront présentées dans les chapitres suivants.



Adiabatique directe pour grand volume - Source Génatis



Rafraîchisseurs adiabatiques directs posés en toiture de hangar

Contraintes et limites de l'adiabatique directe

La performance du rafraîchissement adiabatique est liée aux conditions météorologiques. Sous nos latitudes il est possible de garantir un niveau de confort suffisant. La température au soufflage, plus élevée que pour une climatisation, est compensée par un débit d'air plus important. La première contrainte vient donc du débit d'air qu'il faut mettre en place pour arriver à rafraîchir efficacement. Pour un même bâtiment ce débit devra être plus élevé si celui-ci est situé dans une zone plus humide, ainsi une installation proche de la Côte d'Azur devra tenir compte du fait que la température de soufflage sera légèrement supérieure. En revanche, en période de canicule, un rafraîchisseur adiabatique performant sera capable de faire face à des extrêmes car son efficacité augmente avec la température là où la climatisation aura du mal à maintenir une puissance frigorifique suffisante à cause de la baisse de rendement due à des pressions de condensation plus élevées.

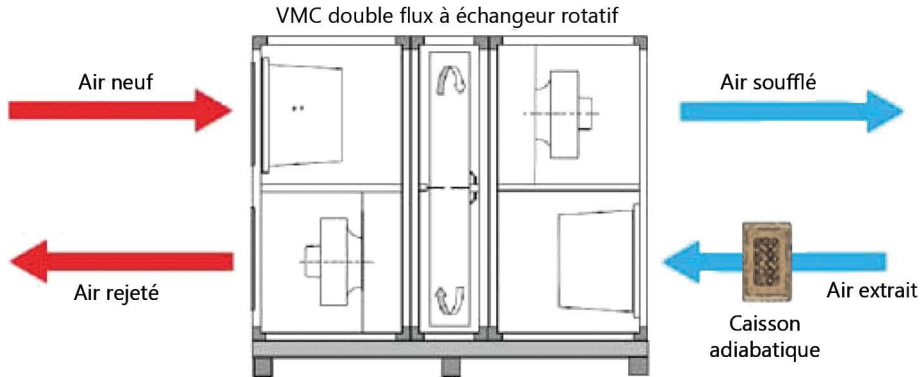
Une autre contrainte de l'adiabatique directe vient du fait de la vaporisation qui a lieu au niveau de l'échangeur. Si dans la plupart des cas, l'humidité relative dans le bâtiment reste raisonnable (comprise entre 55% et 60%), pour certaines applications où il y a déjà une production de chaleur latente (process industriels ou concentration de personnes importante dans les ERP), le poids de l'eau rajouté dans l'air peut être un problème obligeant à un renouvellement d'air plus important.

Des solutions existent pour arriver à des températures plus basses et un poids d'eau plus bas également, celles-ci sont expliquées ci-après.

Solutions hybrides et indirectes

Sur CTA double-flux

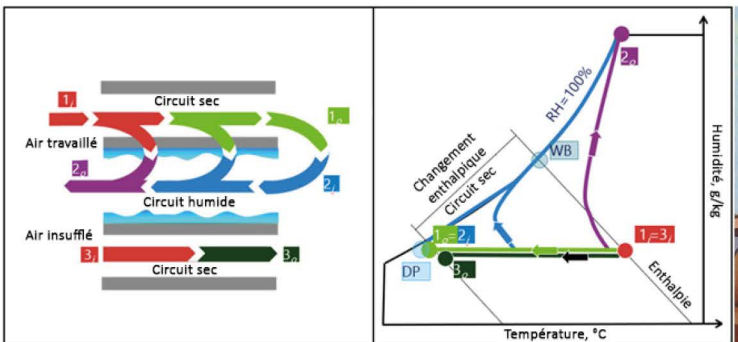
En positionnant un module adiabatique sur la reprise d'une CTA (centrale de traitement d'air) double-flux, l'air neuf n'est pas refroidi directement mais grâce à l'échangeur à contre-flux (à plaque) ou à la roue de récupération. Il n'y a aucune augmentation du poids de l'eau dans l'air soufflé. Il est en revanche nécessaire d'avoir un rendement élevé au niveau de la roue ou des échangeurs à contre-flux pour ne pas réduire la capacité de rafraîchissement.



Source Génatis - Groupe Adexsi

Le cycle de Maisotsenko

Appliqué à certains rafraîchisseurs adiabatiques, le cycle de Maisotsenko permet de faire de l'adiabatique indirecte avec un seul échangeur et de se rapprocher du point de rosée. Cela consiste à faire passer de l'air déjà rafraîchi indirectement à travers les plaques de l'échangeur vers le côté «humide» et se rapprocher progressivement du point de rosée. Une partie de l'air soufflé est ainsi perdue et passe dans la partie humide de l'échangeur. Le coût de ce type de produit limitait pour l'instant son application à des applications de process comme des salles de serveurs mais l'industrialisation de l'échangeur va permettre de toucher un plus grand nombre d'applications y compris résidentielles.



Source Graphy publications

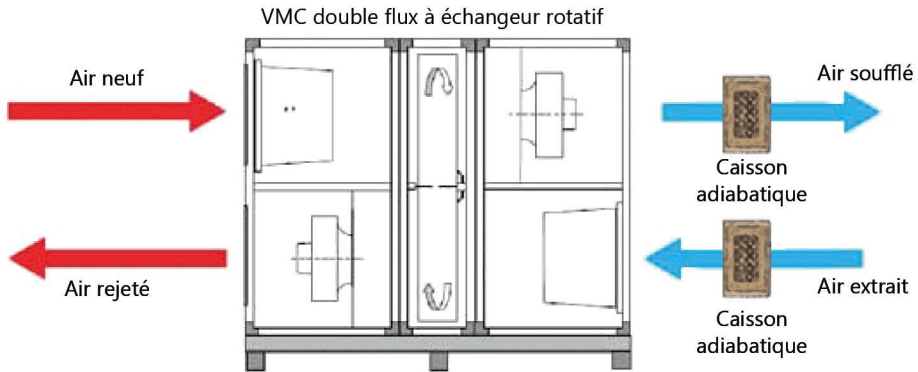


Source Caeli Energie

Solution combinant adiabatique directe et indirecte

Sur CTA double-flux

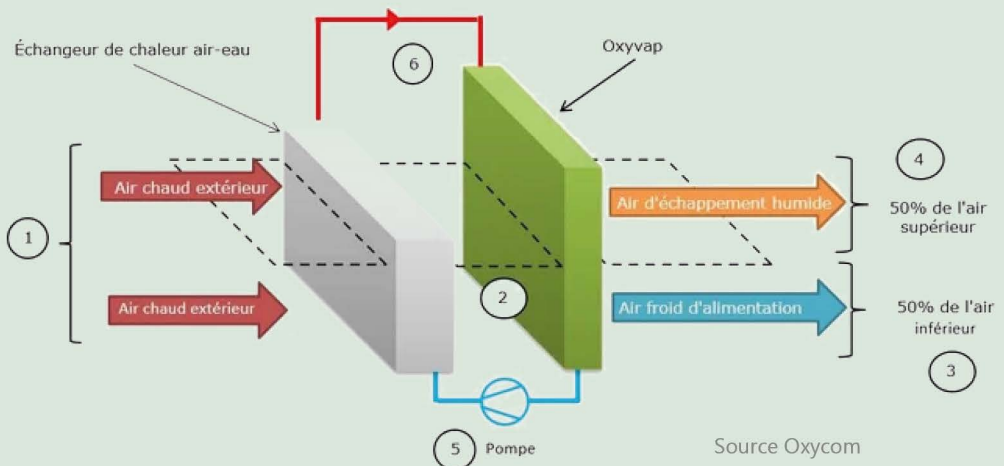
En positionnant un module à la reprise et au soufflage d'une CTA double-flux on peut combiner l'adiabatique directe et indirecte et ainsi obtenir un abaissement d'air plus important tout en restant à un poids raisonnable car une partie du travail est fait en indirect. Le module au soufflage est activé comme un second étage. Une sonde d'hygrométrie peut couper temporairement le module au soufflage si l'humidité relative est jugée trop élevée.



Source Génatis - Groupe Adexsi

En utilisant l'eau générée par le procédé adiabatique

L'eau résultante du procédé évaporatif qui ne s'évapore pas se retrouve dans un réservoir pour être recyclée. Cette eau se retrouve à une température proche du bulbe humide de l'air. Il est donc possible de l'utiliser pour effectuer un pré-rafraîchissement de l'air si on fait passer l'air à travers un échangeur air/eau utilisant cette même eau. Ce refroidissement indirect permet à la fois d'atteindre des températures plus basses mais de limiter également le poids de l'eau contenu dans l'air.



Source Oxycom

Solution combinée avec thermodynamique embarquée

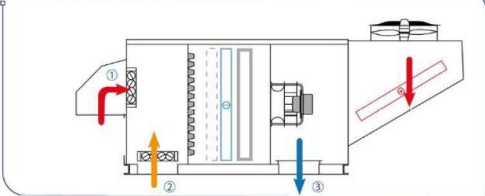
Fonction adiabatique sur rooftop

La première étape pour réduire le temps de fonctionnement du circuit thermodynamique sur un rooftop consiste à introduire une fonction free-cooling. A partir du moment où cette fonction existe il devient possible de rajouter l'option adiabatique pour limiter encore plus le temps de fonctionnement du mode climatisation et faire des économies significatives sur les coûts énergétiques. Il est possible également d'utiliser un pourcentage d'air recyclé tant que l'enthalpie n'est pas trop importante.

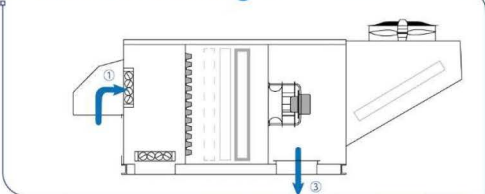
Le rajout d'une fonction adiabatique sur un roof-top permet d'obtenir les résultats suivants:

- Jusqu'à 70% de la consommation énergétique en période estivale*.
- Augmentation de la puissance frigorifique du rooftop car adiabatique plus performante que la climatisation en période de canicule.

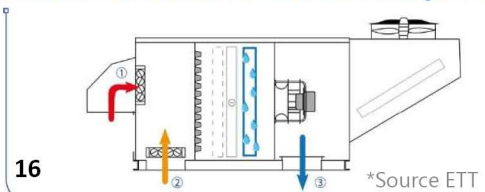
Mode Climatisation



Mode Free Cooling



Mode Refroidissement adiabatique

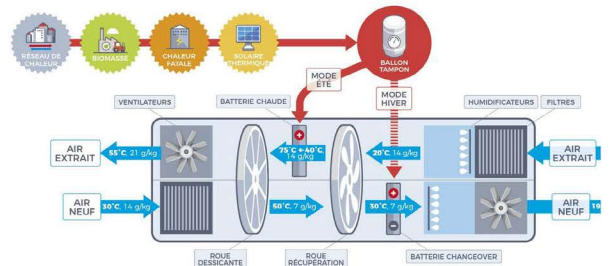


Adiabatique sur double-flux thermodynamique

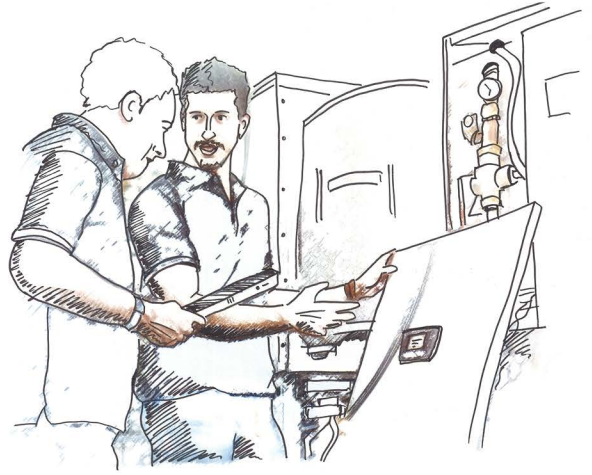
Même si la CTA est déjà équipée d'un système permettant de faire du chaud et du froid, le rajout de l'adiabatique sur la reprise permet, lorsque le circuit thermodynamique est actif, d'abaisser la température de l'air au niveau du condenseur et donc d'augmenter le rendement en froid du système. En période où le besoin en rafraîchissement est plus faible (avec thermodynamique à l'arrêt), l'adiabatique couplée à la récupération de frigories par la roue permet d'offrir un premier étage de rafraîchissement.

Adiabatique combinée avec roue dessicante

Pour les zones géographiques humides, ou par soucis d'optimisation de l'abaissement de température, des CTA avec roues dessicantes peuvent être utilisées pour assécher l'air et rendre le refroidissement adiabatique plus performant. La roue devant ensuite être asséchée pour être régénérée, il convient d'utiliser ce type de solution lorsqu'une source de chaleur est disponible ou à coût modéré. Cette solution permet cependant d'atteindre des conditions de température et d'hygrométrie que l'on obtient généralement qu'avec l'utilisation d'un circuit thermodynamique.



Le rafraîchissement adiabatique permet aujourd'hui d'offrir une réelle alternative à la climatisation dans la plupart des applications. La possibilité de l'utiliser en indirect, de combiner le direct à l'indirect, ou à des roues dessicantes, améliore les performances de cette solution naturelle et peu énergivore. L'incorporation de ces solutions nécessite une meilleure compréhension des différentes solutions aussi bien dans le dimensionnement que dans leur mise en œuvre, les différents acteurs du marché CVC doivent désormais intégrer l'adiabatique pour répondre aux enjeux climatiques et aux nouvelles réglementations.

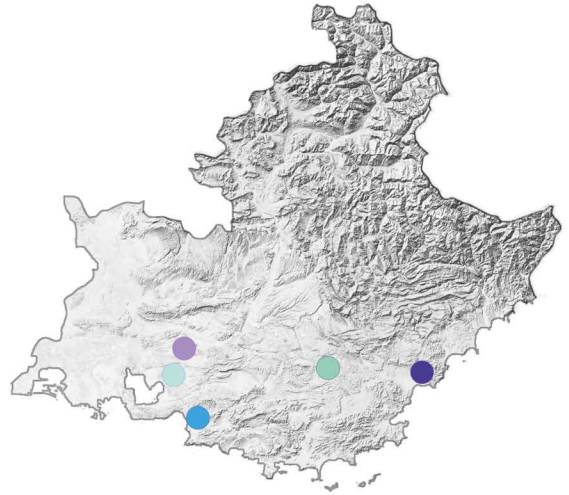


Prototypé de rafraîchissement adiabatique low-tech en bambou - Source Arep



PROTOCOLE

L'enjeu fut d'identifier des projets BDM ayant mis en oeuvre un système adiabatique comme rafraîchissement principal. Ces bâtiments devaient être représentatifs des différents territoires de la région PACA, du moins dans ses parties les plus chaudes. Une préselection a permis de mettre en avant que de nombreux systèmes ne fonctionnaient pas. Les sites retenus étaient tous sensés avoir des systèmes opérationnels.



Sites retenus

Établissement étudiés	Site géographique	Type de technologie
Bureaux associatifs	Marseille ●	Directe sur VMC simple flux par insufflation
Médiathèque	Etang de Berre ●	Adiabatique indirecte sur CTA double flux à roue d'échange
Ecole / centre aéré	Pays d'Aix ●	Adiabatique indirecte sur CTA double flux à échangeur à contre-flux
Centre aéré	Haut Var ●	Adiabatique indirecte sur CTA double flux à échangeur à contre-flux
Collège	Var côtier ●	Adiabatique indirecte sur CTA double flux à roue d'échange

Cibles d'études

Performance technique

- Impact de l'hygrométrie extérieure sur le rendement
- Potentiel de rafraîchissement en fonction des pics de température
- Evaluation du confort d'été «BDM» avec un système adiabatique : performance réelle ($H > 28^{\circ}\text{C}$ et Givoni)
- Fiabilité / maintenabilité => synthèse des retours mainteneurs
- Consommation d'eau du procédé

Acceptabilité usager

- Compréhension du système, de son fonctionnement / adhésion
- Différence entre climatisation et rafraîchissement comprise.
- Aspect pratique
- Confort ressenti
- Consommation d'eau pour le confort d'été dans des régions sous restriction de consommation d'eau


Protocoles de suivi

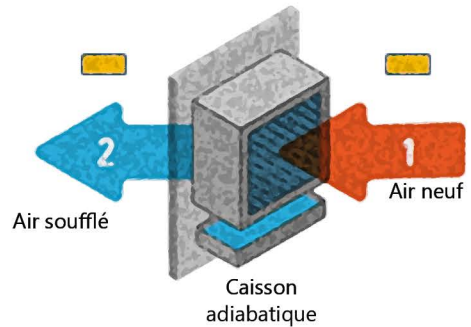
En complément des sondes placées dans les zones d'activité pour mesurer le confort, des sondes hygrothermiques ont été placées dans les systèmes pour étudier leur fonctionnement.

Instrumentation des systèmes directs sur simple flux par insufflation

Placement des sondes d'enregistrement :

- Sonde hygrothermique sur arrivée d'air extérieur (amont batterie adiabatique)
- Sonde hygrothermique après passage batterie adiabatique

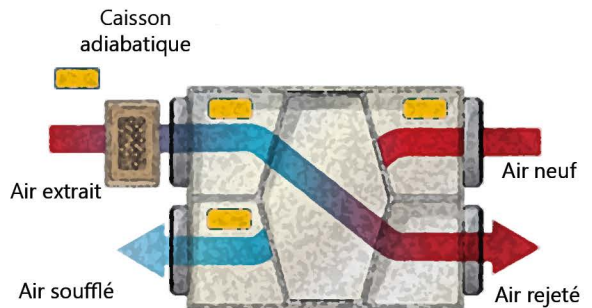
 Sondes hygrothermiques



Instrumentation des systèmes indirects sur double flux avec échangeur à contre-flux

Placement des sondes d'enregistrement :

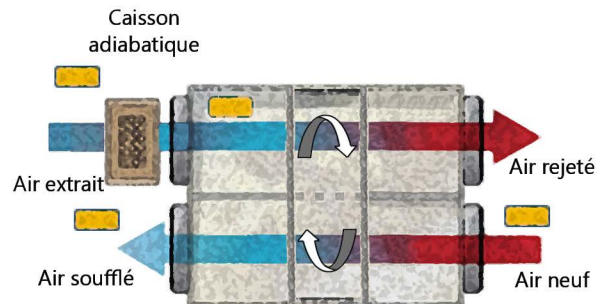
- Sonde hygrothermique sur arrivée d'air extrait (amont batterie adiabatique)
- Sonde hygrothermique aval batterie / avant échangeur (air extrait)
- Sonde hygrothermique air neuf
- Sonde hygrothermique sur air soufflé
- Sonde hygrothermique en extérieur (si différent de l'air neuf)



Instrumentation des systèmes indirects sur roue d'échange

Placement des sondes d'enregistrement :

- Sonde hygrothermique sur arrivée d'air extrait (amont batterie adiabatique)
- Sonde hygrothermique aval batterie / avant roue (air extrait)
- Sonde hygrothermique air neuf
- Sonde hygrothermique sur air soufflé
- Sonde hygrothermique en extérieur (si différent de l'air neuf)



Relevés communs à tous les systèmes

Les actions suivantes ont été menées à chaque visite (dans la mesure du possible) :

- Vérification du débit de la VMC (m³/h, débit fixe / programmation / régulation)
- Vérification de l'état des filtres amonts
- Vérification de l'état du média dans le caisson adiabatique
- Relevé de la consommation du ventilateur / plaque signalétique
- Relevé de la plaque signalétique du caisson adiabatique (surface / perte de charge / type)

- Relevé des index des compteurs d'eau
- Vérification des circuits d'eau (bon fonctionnement, pression, température de l'eau)
- Vérification du carnet de maintenance
- Vérification de la bonne utilisation du système / interview services techniques / Rex maintenance
- Analyse du circuit aéraulique complet (isolation des conduites / longueur / épaisseur d'isolant)
- Interview des usagers, du mainteneur

Matériel utilisé

- Sondes hygrothermiques RS USB IP 67 ;
-35°C / 80°C, précision 0.5°C ;
1600 mesures / canal
- Les sondes sont toutes paramétrées la veille afin d'étalonner leur valeur par comparaison (nous vérifions ainsi si une sonde est décalée).
- Anémomètre à fil chaud
VOLTcraft PL-135 HAN



ANALYSE PAR SITES D'ÉTUDES



SITE 1 : MARSEILLE



CONTEXTE : urbain pavillonnaire -
réhabilitation - alti : 150 m NGF -
distance de la mer : 6 km



DATE DU SYSTEME : 2019



TYPE : direct



PÉRIODE D'INSTRUMENTATION :
du 07 juin au 21 septembre 2023

Le système étudié dessert en insufflation directe les bureaux d'une association sur deux niveaux.

Le système adiabatique est en comble, en amont du ventilateur de soufflage (3000 m³/h).

Les débits de soufflage varient de 120 à 150 m³/h par bureau (4 à 5 vol/h).



Retour d'expérience été 2023

Le système est parfaitement connu des usagers qui font bien la différence entre climatisation et rafraîchissement attendu du système adiabatique.

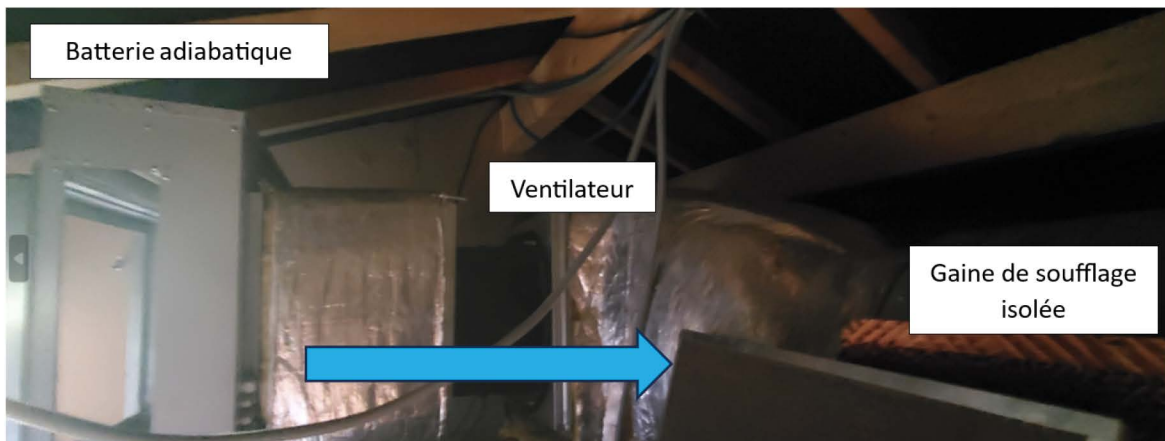
Le confort ressenti est variable, de correct à trop chaud suivant les usagers et les périodes. Certains usagers suivent parfaitement la gestion du confort d'été, d'autres moins avec des fenêtres ouvertes en journée qui abaissent l'efficacité du système.

La consigne du système est réglée à 20°C, ce qui représente une surconsommation d'eau évaluée à 28% (comparé à 26°C : cf annexe 2).

Le système est jugé efficace par la responsable du site mais trop peu fiable (1 été sur 4 avec un système opérationnel). La gestion du niveau d'eau (flotteur) a constitué l'essentiel des problèmes cet été.

5 sondes hydrothermiques ont été positionnées pour l'étude :

- À l'extérieur (amont du système adiabatique).
- Dans la bouche de soufflage la plus éloignées du système (aval système adiabatique).
- Dans un bureau Sud au R+1.
- Dans un bureau Ouest au R+1.
- Dans un bureau Ouest au RDC.

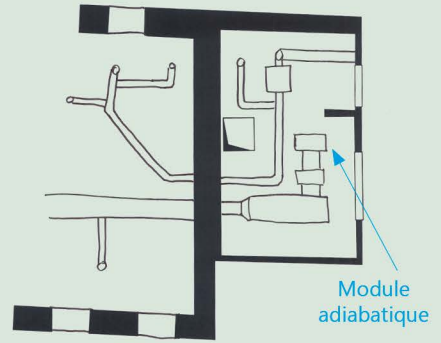


Vue du système installé dans les combles

L'accès se fait par escabeau via une trappe en faux plafond de la salle de pause.

Il y a peu d'espace pour se mouvoir (1.2m sous plafond).

L'espace est très contraint et la maintenance n'est pas aisée.



Plan de l'installation dans les combles

Les filtres sont propres et le média du système adiabatique est en bon état : sans trace de calcaire ni poussière. Les cycles de rinçage sont donc bien paramétrés.

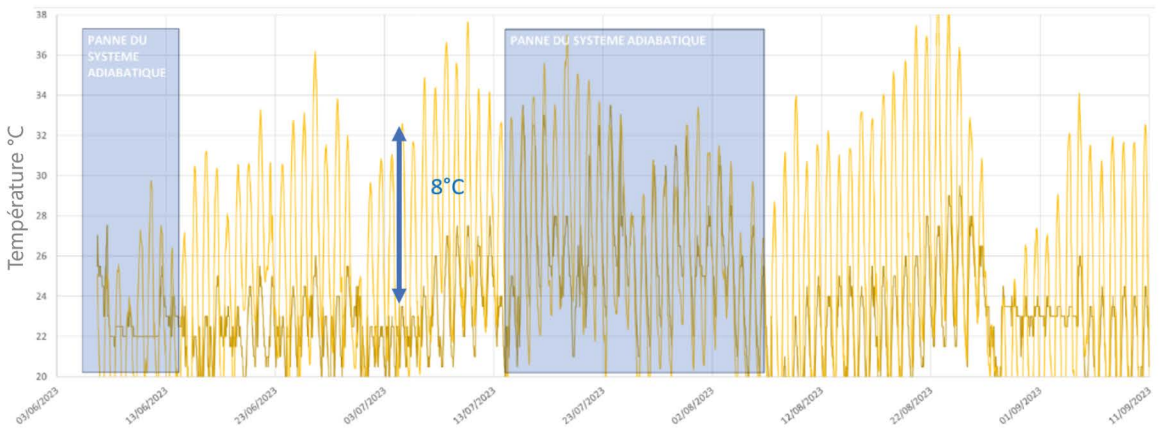
La prise d'air neuf s'effectue dans les combles.

Les gaines de soufflage sont isolées sur 2m puis non isolées dans les combles avant pénétration dans le volume chauffé (non visitable).



Efficacité de la batterie adiabatique

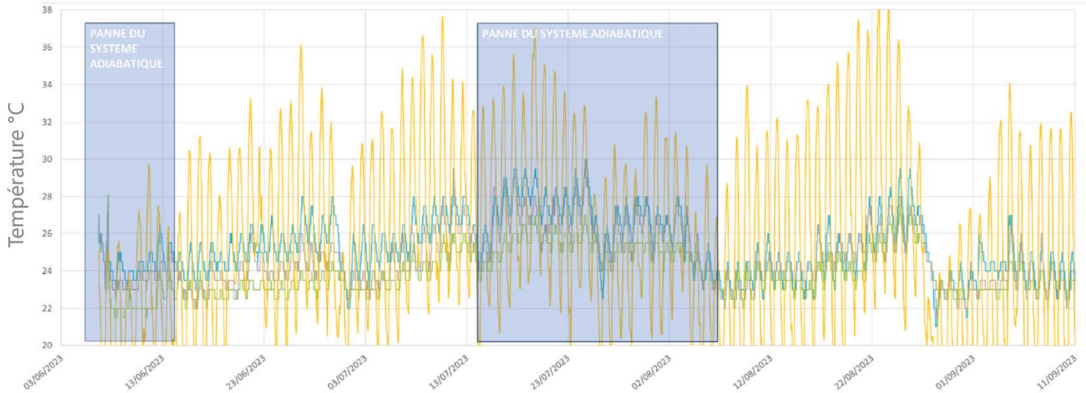
Comparaison **Température extérieure** / température bouche de soufflage (après batterie adiabatique)



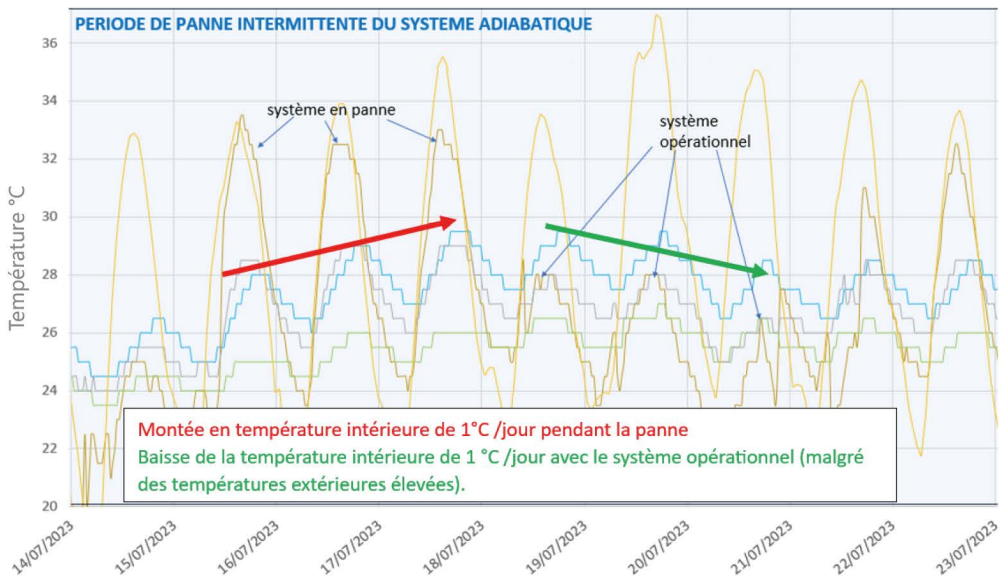
Moyenne de 8°C de gain en pleine journée.

La mesure est faite à plus de 15m de la batterie et pourtant les gains en température restent très performants. Les périodes de pannes correspondent à des défauts flotteurs qui bloquent de manière intermittente le fonctionnement de la batterie adiabatique qui se met en sécurité (plus d'arrivée d'eau). La température de soufflage à ces occasions se recale sur la température extérieure.

La consigne est fixée à 20°C ce qui induit un fonctionnement du système en permanence (optimisable pour diminuer la consommation d'eau).

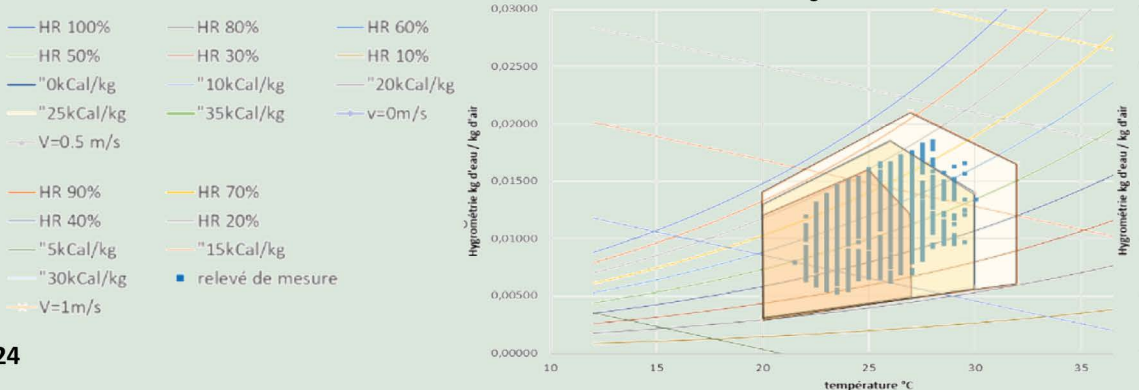


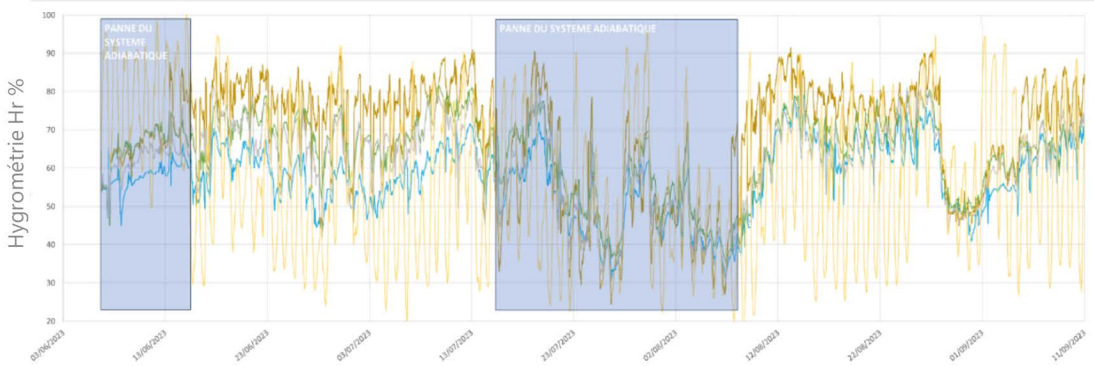
L'usage du bureau R+1 Sud n'est pas optimal (ouvert en journée pendant nos visites), les 3 autres bureaux sont plus confortables (en moyenne 2°C en dessous du bureau Sud, mais avec une hygrométrie supérieure, cf ci-dessus). Le système adiabatique, lorsqu'il fonctionne, maintient la température en dessous des 28°C tout l'été sauf 3 jours fin août.



Même pendant les périodes de panne, la remontée en température est contenue par la qualité du bâtiment (isolation thermique et inertie) et par le fait que les protections solaires sont bien maintenues par les usagers.

Bureau Ouest : Diagramme de Givoni





C'est logiquement le bureau du R+1 Sud qui est le plus bas en hygrométrie mais aussi le plus haut en température (ouverture des fenêtres et volume le plus important avec des plafonds hauts).

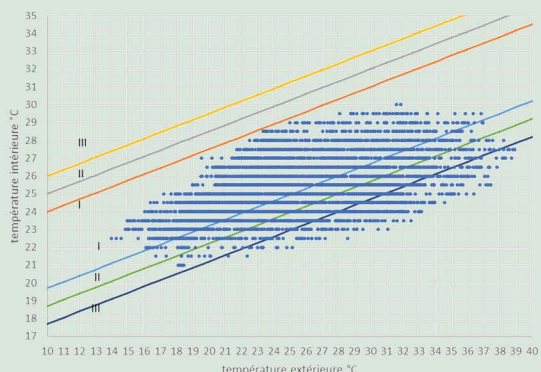
La sortie bouche sur RDC en prise directe après la batterie adiabatique est de très loin la plus haute en hygrométrie : taux moyen soufflé à 75 - 80%. Le bâtiment est construit avec une isolation chaux chanvre, donc régulatrice d'hygrométrie. Malgré cela, le débit par pièces (entre 120 et 150 m3/h) est trop important pour que les matériaux puissent absorber l'intégralité de l'humidité transmise. L'ouverture temporaire des fenêtres peut être une bonne solution (5 min d'ouverture / heure) pour évacuer l'humidité sans réchauffer la pièce.

Analyse du confort intérieur

L'analyse du confort sur un diagramme température / hygrométrie permet de situer les points de mesure sur les polygones de confort de Givoni. Le système adiabatique seul ne permet pas de satisfaire le confort.

L'analyse du confort selon la norme 15251 permet de visualiser la faible part de points de fonctionnement au-dessus des limites hautes. (Attention les températures intérieures reportées sont des températures d'ambiance et non des températures opératives).

Bureau Ouest : Confort suivant norme 15251



ENSEIGNEMENTS

Le gain en température moyen est de 8°C avec des pics à plus de 12°C pendant les canicules. L'augmentation de l'hygrométrie est importante dans les locaux avec une moyenne à 70% alors que l'hygrométrie extérieure est à 40%.

À retenir :

- Énergie fournie en froid : 6865 kWh
- Énergie consommée système adiabatique : 170 kWh
- Énergie consommée ventilateur d'insufflation : 377 kWh
- Eau consommée : 13.06 m3
- EER : 12.5 (Energie froid / Energie syst. Adiabatique + ventilateur)
- Rendement en eau : 78% (eau d'utilisée pour refroidir / eau consommée) : 22% = (rinçages et pertes système).

Voir annexes 1 & 2

SITE 2 : ÉTANG DE BERRE



**CONTEXTE : urbain -
neuf - alti : 75 m NGF -
distance de la mer : 10 km**



DATE DU SYSTEME : 2016



**TYPE : indirect sur CTA à
échangeur à roue**

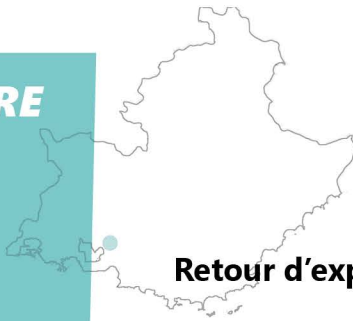


**PÉRIODE D'INSTRUMENTATION :
du 07 juin au 21 septembre 2023**

Le système étudié dessert en soufflage / reprise une partie de la médiathèque.

Le système adiabatique est placé sur la reprise d'air à environ 4 m de la CTA double flux à roue d'échange. L'air soufflé en sortie de CTA est traité par une batterie thermique (chaud l'hiver et froid l'été).

Les débits de soufflage / reprise sont équilibrés, à 1900 m³/h chacun.



Retour d'expérience été 2023

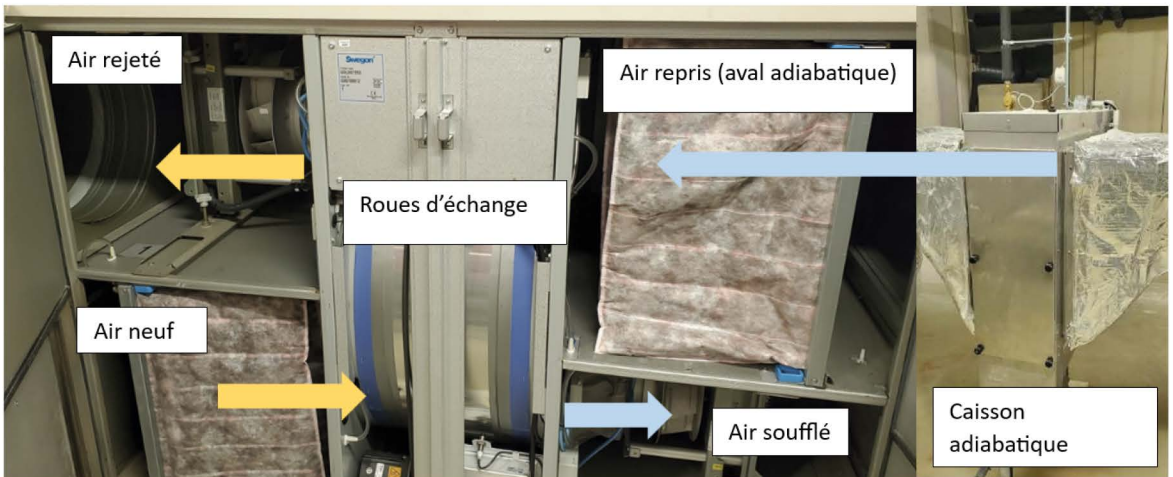
Les usagers interrogés font bien la différence entre climatisation et rafraîchissement attendu pour un système adiabatique.

La maintenance des équipements est bien suivie, mais le paramétrage de la CTA est à revoir. Le constructeur consulté confirme que la roue d'échange n'a pas fonctionné ce qui explique les rendements dégradés observés.

La consigne du système est réglée à 26°C. Le système a généré des fuites d'eau autour du caisson adiabatique tout l'été (sol humide en permanence).

5 sondes hygrothermiques ont été positionnées pour l'étude :

- Air repris (amont du système adiabatique)
- Air repris dans la CTA (aval système adiabatique)
- Air neuf (extérieur)
- Air soufflé (après échange de chaleur)
- Dans la médiathèque

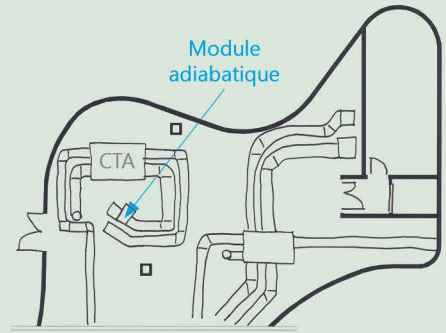


Vue du système installé

L'accès est sécurisé avec un SAS entre l'ascenseur et le local technique.

Le local est suffisamment dimensionné pour accueillir l'ensemble des systèmes techniques.

L'accessibilité pour la maintenance ne pose aucun problème



Plan de l'installation dans un local technique

Les filtres sont propres et le média du système adiabatique est en bon état.

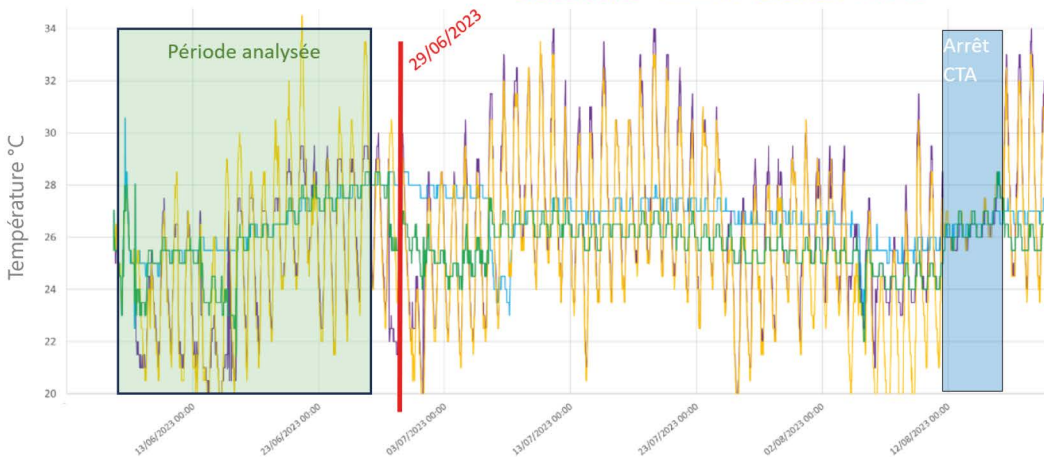
Problème d'étanchéité du bac de récupération des eaux de ruissellement du système adiabatique, d'importantes fuites sont constatées.

Les gaines de reprise et de soufflage sont isolées.



Efficacité de la batterie adiabatique

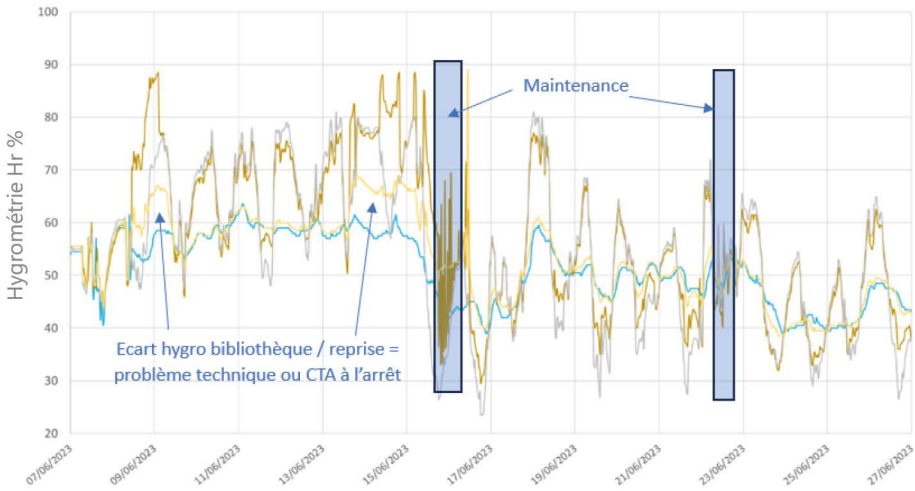
Analyse des températures du process : Bibliothèque / Soufflage / Extérieur / reprise



Le système adiabatique est opérationnel jusqu'au 29 juin.

Passé cette date, la température en sortie de système (soufflée) est strictement égale à la température extérieure. La CTA ne récupère pas le gain effectué par le système adiabatique. La consommation a continué tout l'été (compteur d'eau : 26m³ en début juin ; 28m³ le 06 juillet et 35.7m³ le 21 septembre).

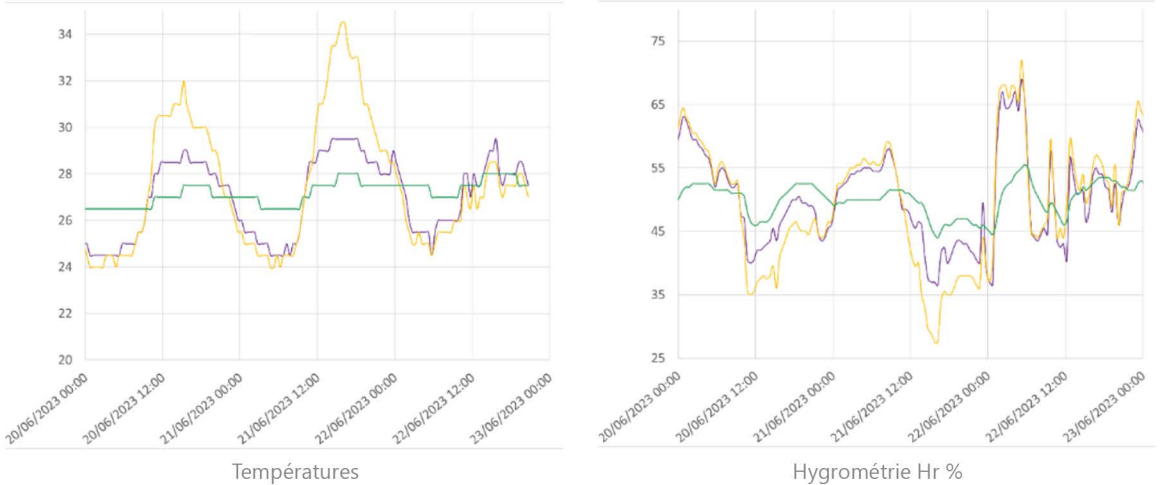
Nous analysons donc la période de fonctionnement la plus favorable observée du 07 juin au 26 juin 2023. Sur cette période l'air soufflé est 2°C au-dessus de l'air repris et en moyenne à 2°C en dessous de la température extérieure (hors périodes d'arrêt où les 4 températures sont dans la même plage de 1°C).



L'air soufflé a une hygrométrie suivant exactement la courbe de l'hygrométrie extérieure (à quelques exceptions près) alors que les températures sont bien abaissées de 2 à 4°C lorsque le système fonctionne (hors maintenance).

L'hygrométrie sur la reprise (interne au bâtiment) est globalement constante entre 40 et 60%, ce qui représente la zone de fonctionnement optimale du système adiabatique.

Zoom sur deux journées représentatives : [soufflage](#) / extérieur / [reprise](#)

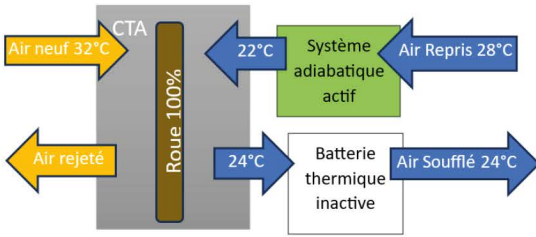


En milieu de journée, lorsque la température extérieure est maximale, la chaîne de traitement de l'air (batterie adiabatique + CTA) ne parvient pas à abaisser la température de soufflage. La batterie adiabatique est en marche (température de reprise 26°C > 25°C : consigne du système adiabatique), mais l'échange de chaleur dans la CTA dégrade le gain obtenu (roue à l'arrêt) pour un soufflage en sortie supérieur à la température de reprise.

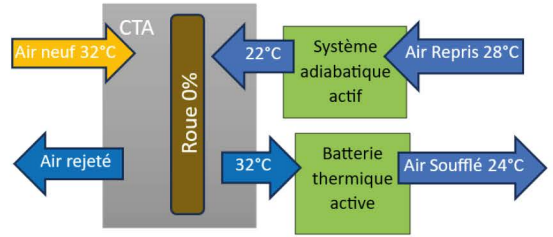
La batterie froid en sortie sera donc activée, ce qui ne devrait pas être le cas avec un paramétrage conforme de la CTA.

Étude du rendement de l'échangeur

Fonctionnement optimal attendu en cascade
(1 adiabatique / 2 batterie froide en complément)



Fonctionnement dégradé observé



Le fabricant confirme que le rendement des échangeurs à roue se situe entre 60 et 90%. Cependant, les 90% correspondent à des écarts de température très importants (extérieur / intérieur) en hiver dans les pays froids (températures négatives). Le rendement atteignable en mode été est plutôt autour de 60%. Une condition nécessaire pour que l'échange soit optimal dans les roues est l'égalité des débits qui se croisent dans la CTA.

Performance du système

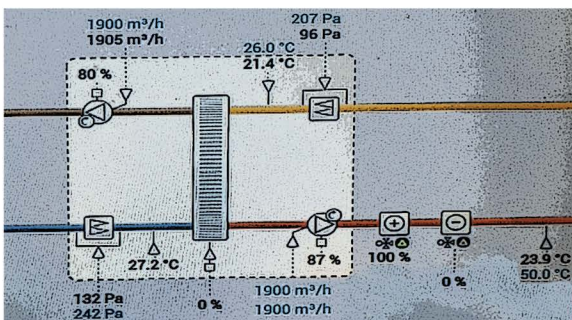
Les données relevées ne permettent pas de statuer sur la performance globale du système. Le fabricant confirme qu'un problème de paramétrage de la CTA est visible sur le panel de commande.

Diagnostic :

La roue est à 0% , elle est donc à l'arrêt, il n'y a pas d'échange.

La batterie chaude (+) est à 100%, la CTA demande de chauffer l'air (logique avec une roue à 0%). Mais la batterie est alimentée en eau froide et donc la température baisse.

Le confort final est validé mais tout le travail de la batterie adiabatique est perdu.



ENSEIGNEMENTS

Le paramétrage de la CTA n'est pas conforme et ne permet pas de conclure sur l'efficacité du système adiabatique indirect sur roue d'échange.

À retenir :

- Paramétrage complexe et essentiel de la CTA.
- Rendements de l'échangeur à roue à 60% en été.
- Fuites d'eau à anticiper (en réception du caisson, traitement au sol pour collecter les éventuelles fuites).

SITE 3 : Pays d'Aix



CONTEXTE : urbain périphérique -
neuf - alti : 120 m NGF -
distance de la mer : 21 km



DATE DU SYSTEME : 2022



TYPE : indirect sur CTA à
échangeur à contre-flux

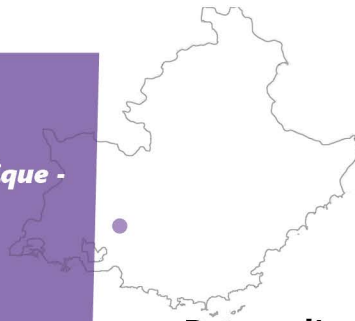


PÉRIODE D'INSTRUMENTATION :
du 07 juin au 21 septembre 2023

Le système étudié dessert en soufflage / reprise une école et un centre aéré.

Le système adiabatique est placé sur la reprise d'air intégré à la CTA double flux à échangeur à contre-flux.

Les débits de soufflage / reprise sont équilibrés, à 1900 m³/h chacun.



Retour d'expérience été 2023

Les usagers se plaignent de températures trop élevées. Les services techniques comme les usagers attendent un confort de niveau de type climatisation.

La consigne du système est réglée à 25°C.

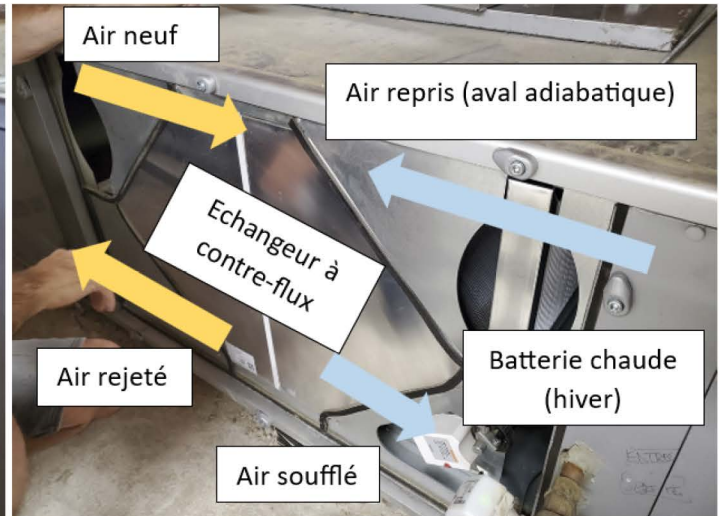
Sur les quatre systèmes adiabatiques présents, un seul était opérationnel, les autres nécessitaient l'intervention du constructeur (défauts non acquittables).

5 sondes hygrothermiques ont été positionnées pour l'étude :

- Air repris (amont du système adiabatique)
- Air repris dans la CTA (aval système adiabatique)
- Air neuf (extérieur)
- Air soufflé (après échange de chaleur)
- Dans une classe



Batterie adiabatique intégrée sur air extrait

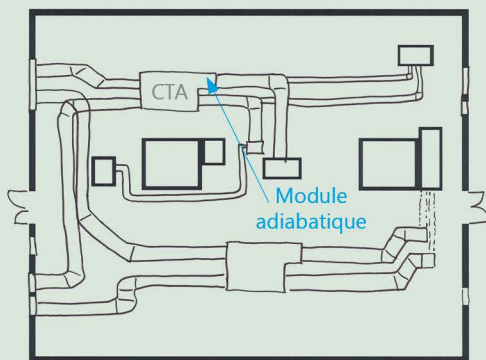


Vue du système installé dans un local technique

L'accès se fait depuis la toiture terrasse, vers un dernier niveau du bâtiment dédié uniquement aux systèmes techniques.

L'espace est largement dimensionné pour réaliser la maintenance des CTA.

Certains modules adiabatiques se trouvent à l'opposé du chemin d'accès aux CTA.



Plan de l'installation dans un local technique

Les gaines de reprise et soufflage sont isolées.

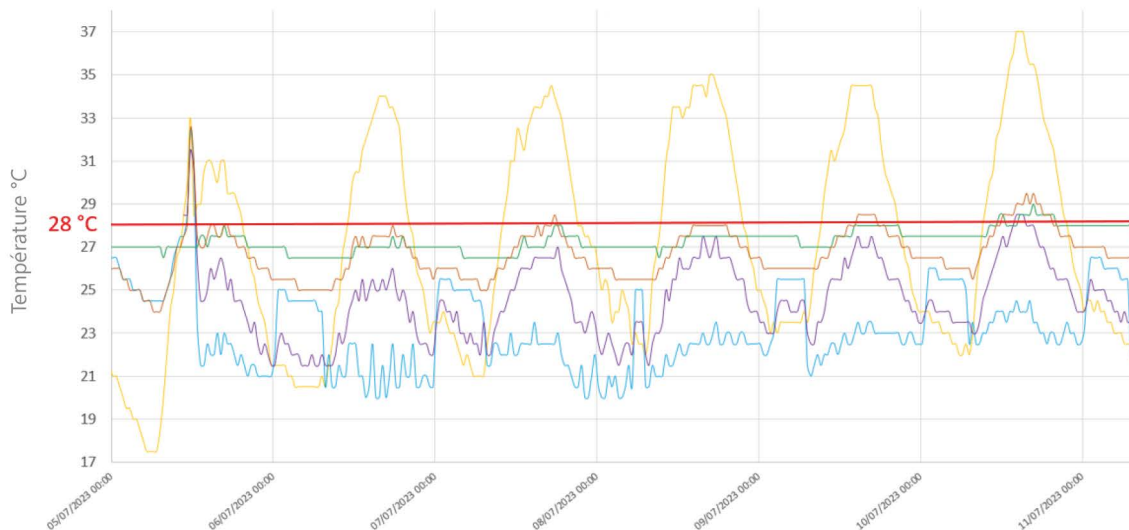
La batterie adiabatique est intégrée à la CTA.

L'espace pour la maintenance est large autour des machines, même si certaines interventions demandent d'enjamber la CTA (accès au panel de commande adiabatique notamment).



Efficacité de la batterie adiabatique

Analyse des températures du process Extérieur / reprise aval adiabatique / soufflage / classe / reprise amont



À partir du 06/07/2023, et le basculement sur la CTA centre aéré avec le système adiabatique dépanné, le système a fonctionné de manière opérationnelle tout l'été. Les températures extérieures étant très élevées (jusqu'à 37°C) le système a maintenu des températures internes en dessous de 28°C tout l'été à quelques exceptions près, ce qui est une bonne performance.

L'efficacité de la batterie adiabatique est constante tout au long de l'été avec un gain de 4 à 5°C en journée.

L'air traité en journée est toujours inférieur à 25°C en sortie de batterie adiabatique. Malheureusement l'échangeur de chaleur de la CTA double flux perd une partie du gain obtenu par le système adiabatique.

En zoomant sur deux jours, le fonctionnement en journée montre une perte importante après échangeur du gain réalisé par le système adiabatique lorsque **la température extérieure est supérieure à 30°C**. Le gain final est de **seulement 1.5°C** alors que le système adiabatique avait gagné 5.5°C.

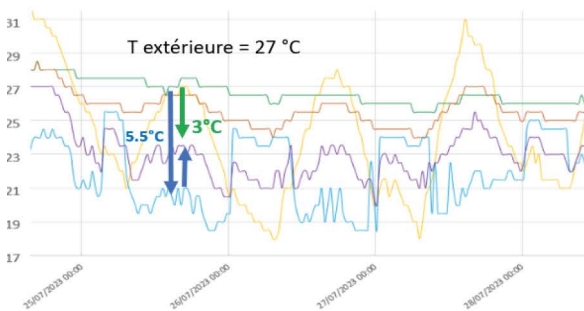
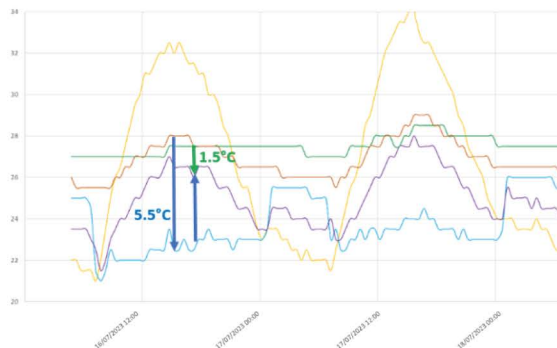
Lorsque la température extérieure est plus raisonnable (27°C) l'air soufflé joue un rôle de rafraîchissement plus important avec un **gain de 3°C** (soufflage à 23°C).

La CTA n'est pas en bypass car le soufflage reste bien inférieur à la température extérieure. La chaleur de l'air extérieur est telle qu'elle absorbe une grande partie du gain de la batterie adiabatique.

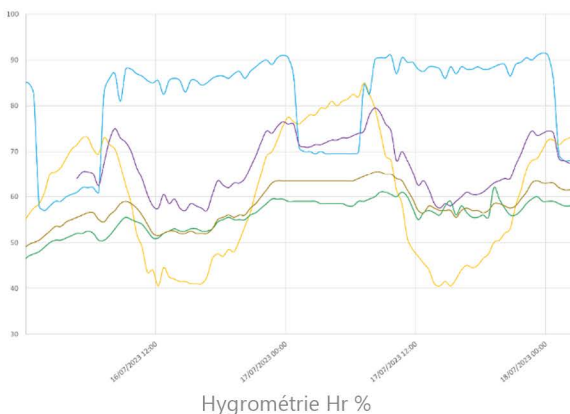
Le système adiabatique associé à la CTA à échangeur à contre-flux permet de limiter l'apport de chaleur extérieure. Il contribue à un léger rafraîchissement de l'air intérieur (-1°C en moyenne). Le système adiabatique est coupé de 0H à 8H (température amont <25°C), mais la CTA n'est pas en bypass (freecooling pourtant intéressant à ces heures).

L'hygrométrie en aval de l'adiabatique est logiquement élevée (>80%). L'hygrométrie au soufflage reste raisonnable (60%). Elle a augmenté de +15% en comparaison avec l'air extérieur ce qui correspond au rafraîchissement de l'air dans le diagramme de l'air humide.

Extérieur / reprise aval adiabatique / soufflage / classe / reprise amont



Extérieur / reprise aval adiabatique / soufflage / classe / reprise amont



Étude du rendement de l'échangeur

En considérant le rendement de l'échangeur hors mode bypass selon la norme EN 13141-7 :

$$\eta_t = (T^{\circ}\text{C Air insufflé} - T^{\circ}\text{C Air Neuf}) / (T^{\circ}\text{C Air Extrait} - T^{\circ}\text{C Air Neuf})$$

Le rendement moyen de l'échangeur à contre-flux sur la période fluctue en milieu de journée entre 50 et 60%. Ces valeurs sont confirmées par le constructeur.

La qualité de l'échange est donc primordiale pour le rendement global. En outre, la maintenance des filtres est essentielle pour éviter des vitesses de flux non homogènes sur l'échangeur (constats faits sur la première CTA abandonnée en cours de campagne dont l'échangeur était colmaté).

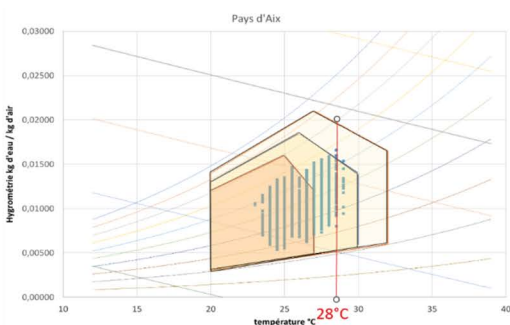
Performance du système

Le rendement du système ne peut être étudié :

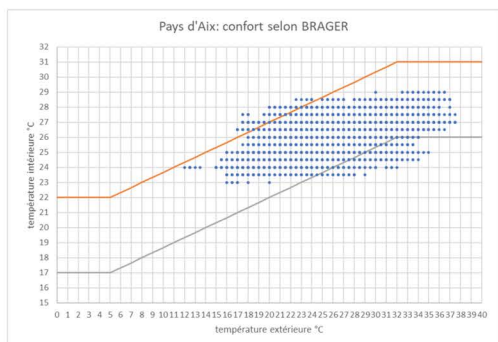
- Le compteur d'eau est commun à plusieurs usages (autres CTA / sanitaires).
- Il n'y a pas de compteur d'énergie dédié par CTA.

Analyse du confort intérieur

Le système adiabatique seul ne permet pas de valider le confort selon Givoni.



Les températures hautes dépassent régulièrement les limites de confort de Brager mais restent la norme pour une classe d'usage II (attention températures d'ambiance et non températures opératives).



ENSEIGNEMENTS

Le système adiabatique permet de compenser les fortes températures extérieures de l'été et d'assurer les 28°C pratiquement constants dans les locaux.

À retenir :

- Paramétrage de la CTA à bien vérifier (bypass).
- Rendements de l'échangeur à contre flux autour de 60% en été.
- Gain en température final sur l'air extrait de 1°C par canicule (>32°C) et jusqu'à 3°C pour des températures extérieures plus basses.
- Le système ne permet pas un abaissement de la température intérieure significatif en dessous de 27°C sous de fortes chaleurs.

SITE 4 : Haut-Var



CONTEXTE : arrière pays -
neuf - alti : 510 m NGF -
distance de la mer : 48 km



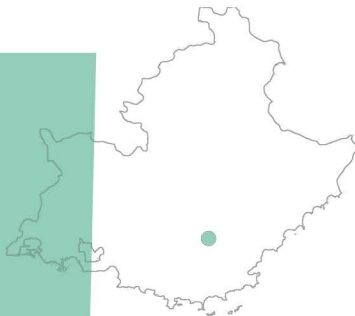
DATE DU SYSTEME : 2019



TYPE : indirect sur CTA à
échangeur à roue



PÉRIODE D'INSTRUMENTATION :
du 30 mai au 15 septembre 2023



Le système étudié dessert en soufflage / reprise un centre aéré.

Le système adiabatique est placé sur la reprise d'air indépendant de la CTA double flux à roue d'échange. La distance entre les deux systèmes est de 4m.

Les débits de soufflage / reprise sont équilibrés à 1500 m³/h chacun.

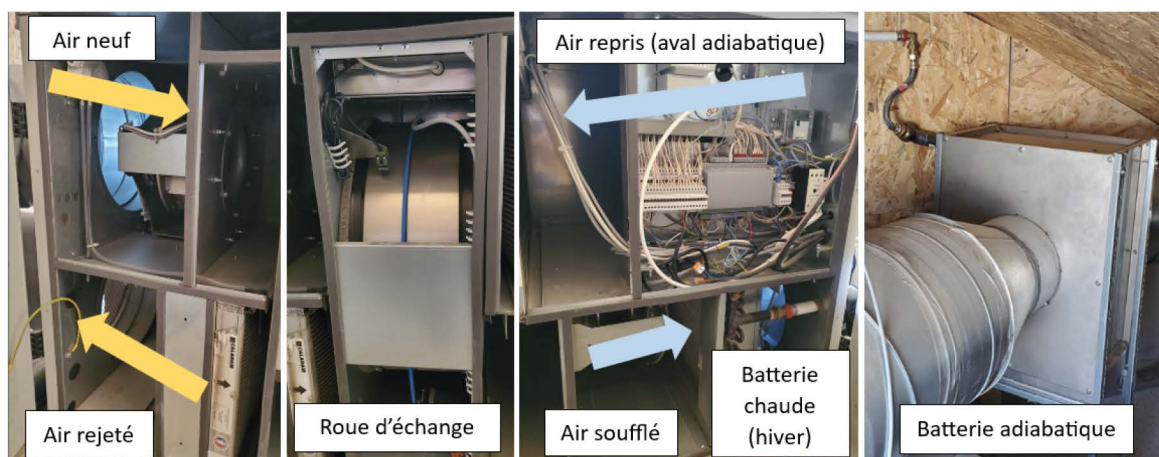
Retour d'expérience été 2023

Les usagers remontent des températures élevées par moments et n'ont pas connaissance des systèmes techniques en place. Les températures observées sont proches de 28°C.

Les salles sont équipées de brasseurs d'air.

5 sondes hydrothermiques ont été positionnées pour l'étude :

- Air repris (amont du système adiabatique)
- Air repris dans la CTA (aval système adiabatique)
- Air neuf (extérieur)
- Air soufflé (après échange de chaleur)
- Dans une classe

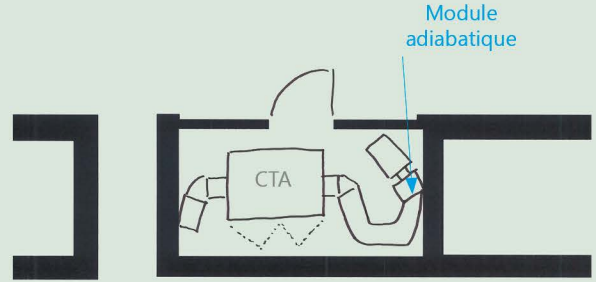


Vue du système installé dans un shed.

L'accès se fait depuis la toiture terrasse extérieure.

L'espace est très contraint et sous dimensionné.

La maintenance de la CTA n'est pas aisée car elle se fait à l'opposé de l'accès au local après franchissement des gaines (50cm de hauteur pour passer).



Plan de l'installation dans un shed

La batterie étant en eau perdue, le débit est réglé ponctuellement sur un régime. Les conditions hygrothermiques évoluant, la consommation en eau du système adiabatique doit s'adapter.

Avec un débit fixe, le système est en manque d'eau ou en rejet d'eau continu. Cette situation n'est pas acceptable. Le système adiabatique est donc condamné par l'exploitant.



Les codes d'accès à la CTA ne sont pas disponibles, la CTA fonctionne en mode constant (pas de freecooling programmé).

Le média adiabatique est très difficile d'accès et concentre toutes les poussières de la reprise (pas de filtre de protection en amont).

L'eau n'est pas adoucie et des cristaux de calcaire sont visibles côté arrivée d'air.

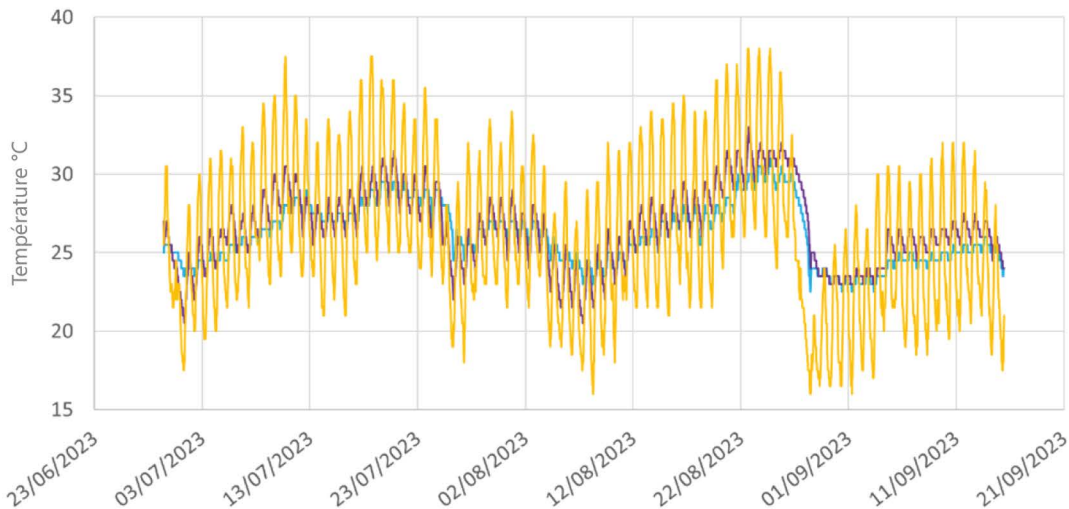


Filtre encrassé déformé par la surpression

Impossibilité de changer le média adiabatique. La trappe d'ouverture est contre la cloison.

La gaine de reprise avant et après le système adiabatique n'est pas calorifugée. L'air repris est donc réchauffé dans les combles (perte de rendement en été comme en hiver).





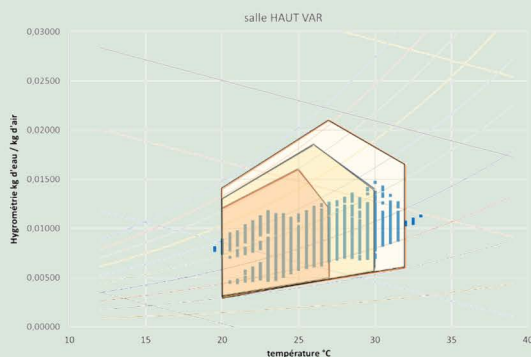
La température extérieure est amortie par le bâtiment, le dortoir (pas d'exposition au soleil et en contact avec le sol au nord) est encore plus inertiel.

La ventilation naturelle nocturne apporte quelques degrés de moins début août. Mais la programmation de la CTA (arrêtée de nuit) n'est pas accessible pour mettre en place un freecooling nocturne qui serait très favorable au confort d'été.

Analyse du confort intérieur

Le confort hygrothermique de la salle d'activité étudiée est très contraint en température. Les brasseurs d'air présents permettent de valider le confort mais le système atteint ses limites avec 32°C en température intérieure.

La mise à niveau du système adiabatique serait vraiment efficace en direct car les conditions hygrothermiques sont très favorables au système adiabatique.



Il est conseillé de programmer le freecooling nocturne de la CTA et en second temps si nécessaire de déplacer le système adiabatique sur le soufflage (sortie CTA) et de limiter son usage aux températures supérieures à 28°C (réglage du système pour ces plages de température).

Étude du rendement de l'échangeur

En considérant le rendement de l'échangeur selon la norme EN 13141-7 :

$$\eta_t = (T^{\circ}\text{C Air insufflé} - T^{\circ}\text{C Air Neuf}) / (T^{\circ}\text{C Air Extrait} - T^{\circ}\text{C Air Neuf})$$

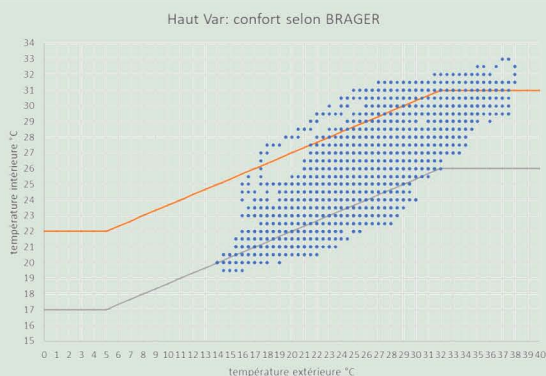
Le rendement moyen de l'échangeur à roue est de **45%** ce qui reste faible, probablement en lien avec l'état des filtres qui dégrade fortement l'efficacité globale de la CTA.

L'interface de cette CTA était peu lisible, il était impossible de savoir l'état du système et donc de conclure sur sa régulation. Mais la roue d'échange était en fonctionnement (sans cela la température de soufflage est identique à la température extérieure).

Performance du système

Le système adiabatique est inopérant.

Les températures hautes dépassent régulièrement les limites de confort de Brager (attention températures d'ambiance et non températures opératives).



ENSEIGNEMENTS

La CTA n'étant pas maintenue, le système n'est pas opérationnel. La batterie adiabatique est en eau perdue (absence de circuit fermé). Ce réglage fixe ne convient pas à l'exploitant qui a condamné le système en voyant les rejets d'eau en toiture (prévus initialement vers les plantations).

À retenir :

- Les systèmes en eau perdue ne répondent pas aux exigences de préservation de l'eau (d'autant plus dans un territoire en restriction d'eau pour cause de sécheresse sévère).
- L'accès aux filtres des CTA doit être facile pour permettre la maintenance (en l'occurrence il faut se coucher sur les gaines).

SITE 5 : Var côtier



CONTEXTE : périphérie urbaine -
neuf - alti : 50 m NGF -
distance de la mer : 1,5 km



DATE DU SYSTEME : 2018



TYPE : indirect sur CTA à
échangeur à contre-flux

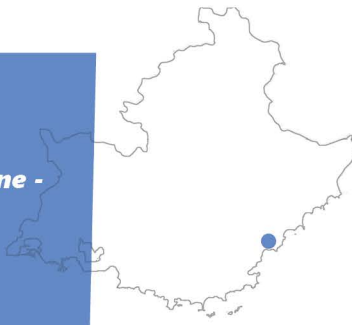


PÉRIODE D'INSTRUMENTATION :
du 30 mai au 15 septembre 2023

Le système étudié dessert en soufflage / reprise la partie administrative d'un collège.

Le système adiabatique est placé sur la reprise d'air intégré à la CTA double flux à échangeur à contre-flux.

Les débits de reprise / soufflage sont en déséquilibre : 2612 m³/h pour la reprise et 4108 m³/h pour le soufflage.



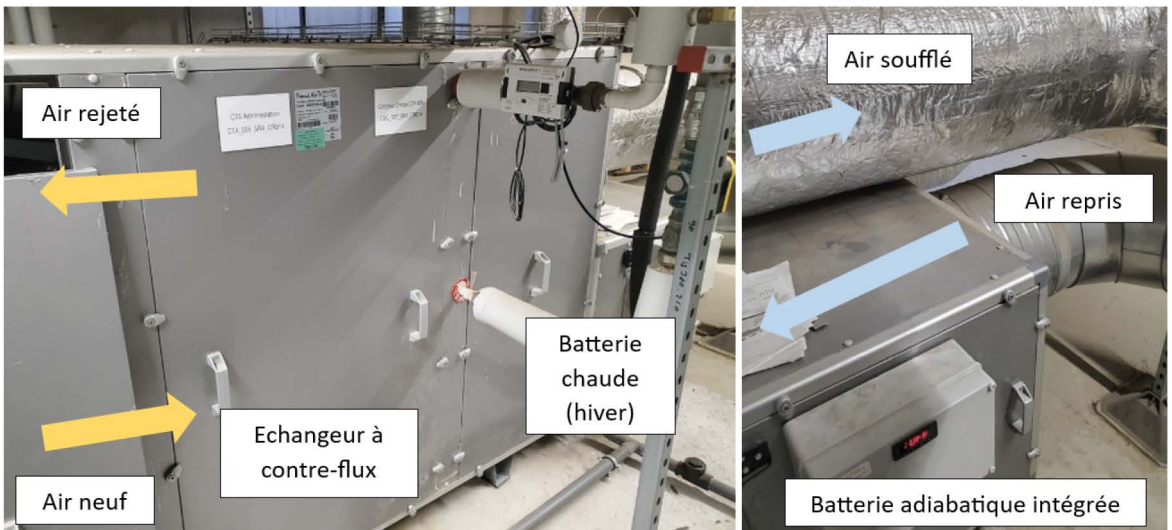
Retour d'expérience été 2023

Les usagers remontent des températures élevées, ils ont connaissance de l'existence du système adiabatique mais préféreraient une climatisation.

Présence de brasseurs d'airs dans les bureaux.

5 sondes hygrothermiques ont été positionnées pour l'étude :

- Air repris (amont du système adiabatique)
- Air repris dans la CTA (aval système adiabatique)
- Air neuf (extérieur)
- Air soufflé (après échange de chaleur)
- Dans un bureau

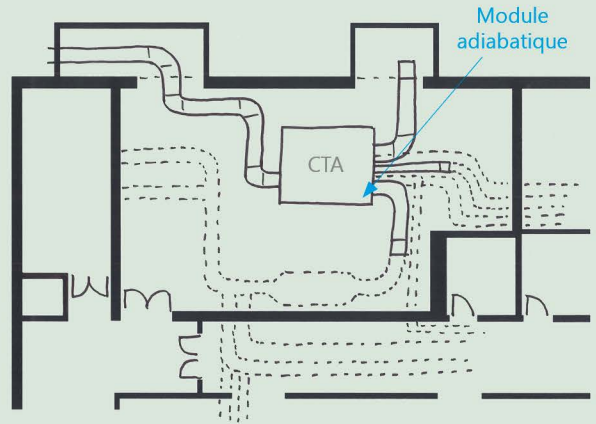


Vue du système installé dans un local technique.

L'accès se fait depuis l'intérieur de la partie administrative.

L'espace est largement dimensionné.

La maintenance de la CTA est facilitée par les accès et par la bonne prise en compte des besoins techniques et d'espaces.

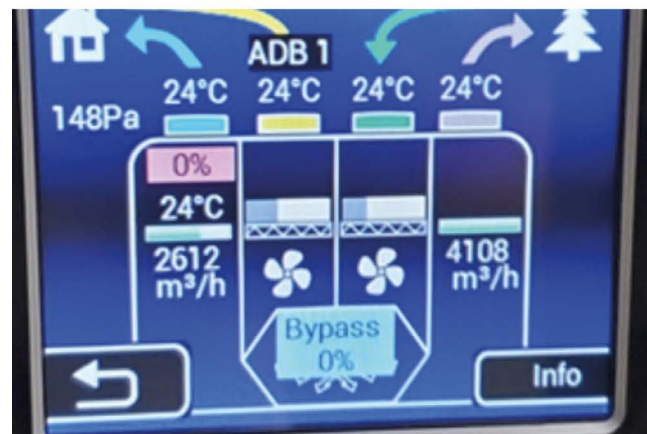


Plan de l'installation dans un local technique

Le système se situe dans un local au RDC. L'accessibilité sur toutes les faces des machines est complète. Seule la gaine de soufflage est isolée. La batterie adiabatique est intégrée à la CTA.

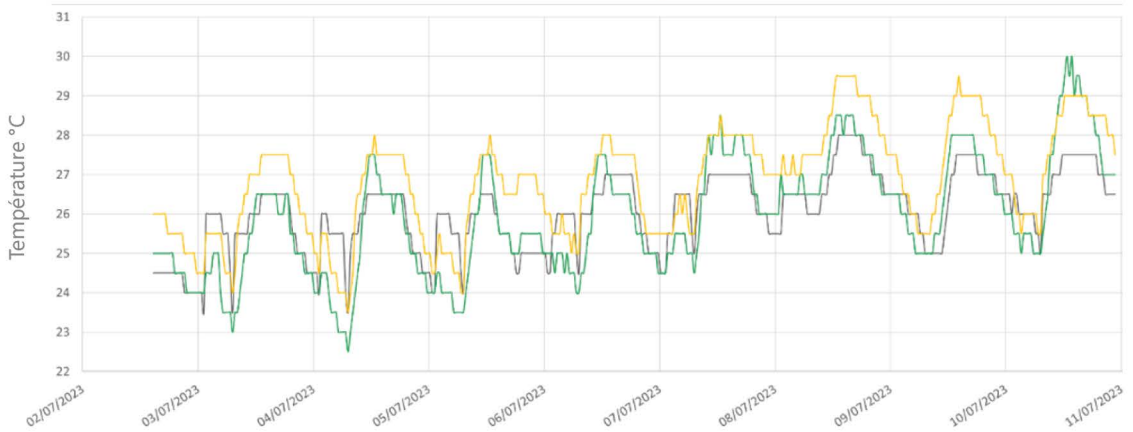
La maintenance des systèmes fait partie d'un contrat global de performance suivi par une entreprise extérieure. La maintenance est parfaitement suivie et les systèmes sont tous opérationnels (filtres changés, média adiabatique en bon état). Le système adiabatique est en défaut (débordement du bac à eau). Le constructeur qui a été contacté dès le mois de juin n'est pas intervenu durant toute la campagne.

Il est important de noter que l'équilibre des débits qui se croisent dans l'échangeur est indispensable pour obtenir un bon rendement, ce qui n'est pas le cas sur cette CTA.



Analyse de température dans la CTA à échangeur à contre-flux

Reprise aval adiabatique / soufflage / extérieur



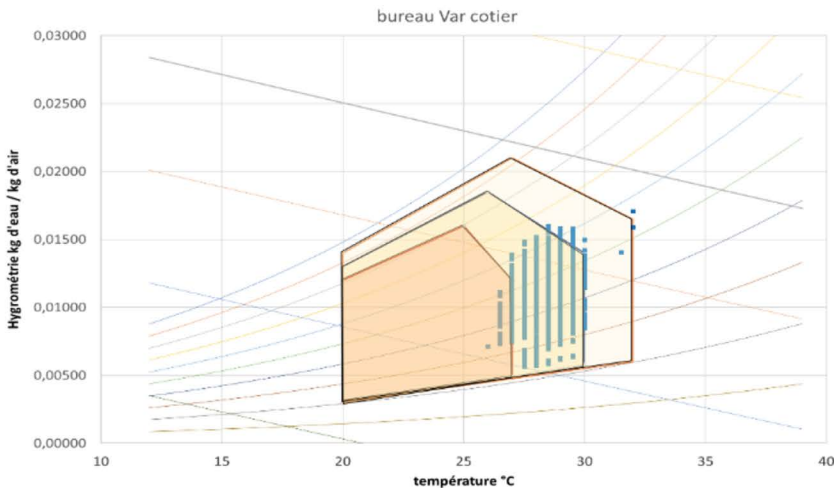
L'activité de l'échangeur n'est pas régulière. Certaines journées l'échangeur est opérationnel (03/07/2023 ; 09/07/2023) et d'autres il est inactif (07/07/2023 ; 10/07/2023) alors que les températures sont supérieures.

Les températures qui se rejoignent la nuit montrent une absence de freecooling qui pourrait nettement améliorer le confort intérieur.

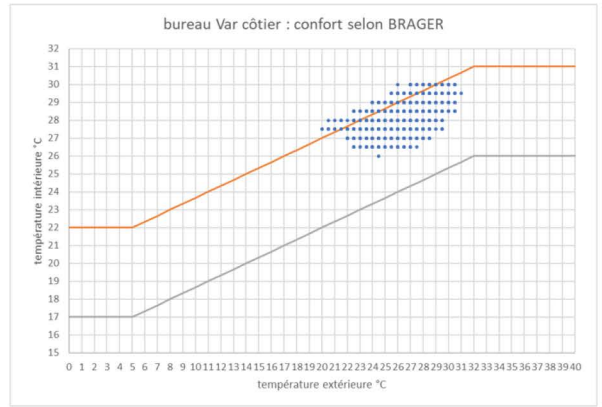
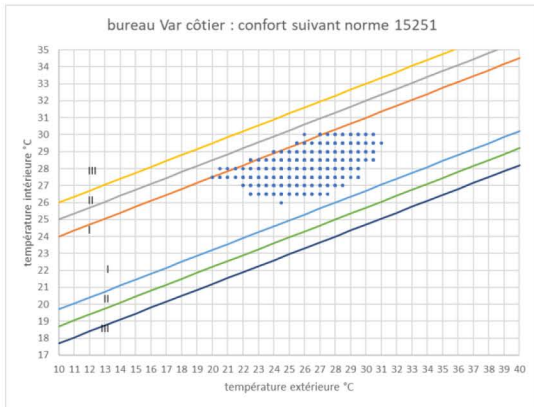
Confort intérieur sans système adiabatique

Sans système adiabatique la température intérieure du bureau est quasi systématiquement au-dessus de 28°C.

Le bureau est équipé d'un brasseur d'air, il reste dans la norme de confort selon Givoni avec 0.5m/s de vitesse d'air.



Les températures sont à la limite de la surchauffe selon la norme 15251 et régulièrement dépassées selon Brager. (Attention les températures intérieures reportées sont des températures d'ambiance et non des températures opératives).



Étude du rendement de l'échangeur

Le rendement moyen de l'échangeur est à 55%, mais cette valeur mérite d'être détaillée. Cette CTA étant très bien entretenue, l'étude des rendements en fonction de la température extérieure apporte des indications intéressantes qui rejoignent les retours fabricants :

- Le rendement moyen est à 70% pour les relevés effectués avec une température extérieure supérieure à 30°C.
- Le rendement moyen est à 63% pour les relevés effectués avec une température extérieure supérieure à 28°C.

Le rendement d'échange augmente bien avec l'écart de température ($T_{\text{reprise}} / T_{\text{extérieure}}$). C'est pour cela qu'on atteint plus de 80% en hiver avec des écarts de plus de 15°C entre reprise et extérieur. C'est également pour cette raison que le rendement moyen de cette CTA est autour de 55% car la température extérieure est tempérée comparée aux autres sites (influence de la mer).

ENSEIGNEMENTS

Le système adiabatique en panne dès juin n'a pas été dépanné par le constructeur (malgré les relances de l'exploitant) : problème de gestion de niveau d'eau.

Les écarts de débits entre la reprise et le soufflage perturbent le rendement de l'échangeur à contre flux.

À retenir :

- L'interface du système adiabatique est peu ergonomique et son dépannage réservé au constructeur. Une formation spécifique serait nécessaire pour diagnostiquer et dépanner en toute autonomie ces systèmes (constat identique au Pays d'Aix).

SYNTHÈSE

Effacité des systèmes adiabatiques directs

Le seul système direct instrumenté (cf site 1 Marseille) a subi quelques soucis techniques avec son flotteur. Il a montré son efficacité (forte baisse des températures : 8°C en moyenne) et ses limites (augmentation de l'hygrométrie : Hr entre 70 et 80%).

Les pistes d'optimisation pour baisser l'hygrométrie ambiante et les consommations d'eau ou augmenter le confort d'été sont :

- Réserver l'utilisation du système aux moments les plus chauds (quelques semaines par an et quelques heures par jour).
- Régler la consigne* sur 26°C (-28% de consommation d'eau Vs 20°C) voire moins si le bâtiment joue parfaitement son rôle de tampon thermique (cf annexe 2).

*Température d'air extérieur à laquelle le système s'active.

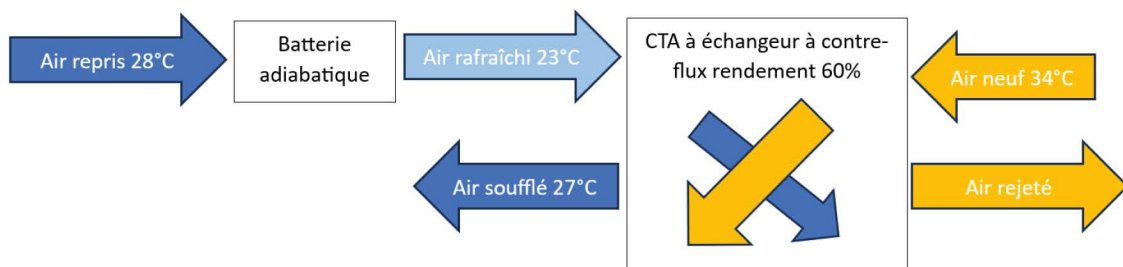
C'est cette technologie qui a obtenu les meilleurs résultats.

Effacité des systèmes adiabatiques indirects

Les systèmes indirects ont tous été impactés par des **pannes systèmes** ou **des problèmes de paramétrage des CTA**. Un seul a fonctionné tout l'été (**avec échangeur à contre-flux**) dans le pays d'Aix. Il a permis de contrer les pics de chaleur extérieure (> 32°C) pour maintenir la température intérieure en dessous de 28°C. Ce résultat n'est pas jugé suffisant par les usagers. Il pourrait être amélioré avec une seconde batterie adiabatique en direct sur le soufflage (permettant de souffler à 23°C au lieu de 27°C).

Les rendements des échangeurs des CTA sont très impactants sur l'efficacité des systèmes indirects.

Les échangeurs à contre-flux observés affichent des rendements moyens de 56 à 70%. Le gain obtenu (avec la CTA dont le rendement moyen est de 56%) est limité.

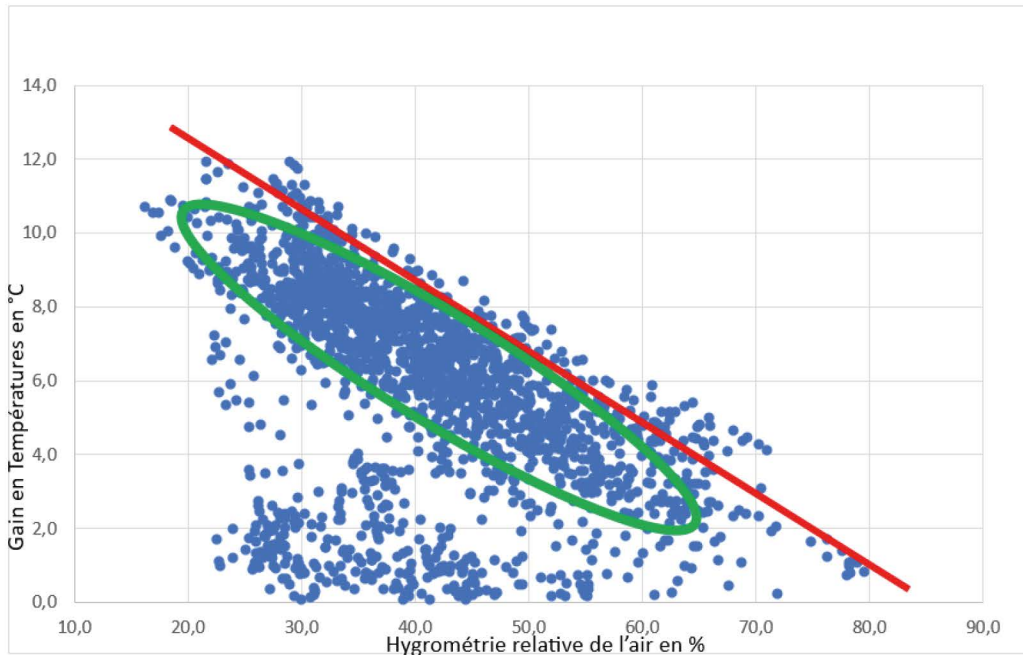


Rendement observé d'un échangeur à contre flux - Adiabatique indirecte

L'échangeur à roue couplé à une batterie adiabatique indirecte a augmenté la température de reprise. Le paramétrage de la CTA semble non conforme (retour constructeur). L'analyse du panel de commande (cf site 2 Étang de Berre) permettra aux techniciens ou aux accompagnateurs BDM de détecter ce type de dysfonctionnement.

La fiabilité des systèmes étudiés (pannes ou paramétrage des CTA) n'a pas permis de conclure sur le couple échangeur / système adiabatique indirect de manière définitive. Il est clair que le fonctionnement optimal ne semble pas simple à atteindre sans implication forte des spécialistes notamment sur le paramétrage des CTA qui diffère des modes standards «hiver». Une formation initiale des techniciens de maintenance sur les automates est indispensable à la livraison pour traiter en toute autonomie les défauts qui restent simples du point de vue technologique.

Impact de l'hygrométrie sur la performance des systèmes adiabatiques



Ce graphique reporte les gains en température obtenus par le système adiabatique ($T_{\text{soufflage}} - T_{\text{extérieure}}$) en fonction de l'hygrométrie extérieure relevée.

L'augmentation de l'hygrométrie extérieure abaisse l'efficacité du système. Au-delà de 80% d'hygrométrie, le système n'apporte plus de gain significatif en température (**ligne rouge = gain maximum atteignable selon l'hygrométrie**).

Les maximums atteignables en gain de température sont de l'ordre de 12°C (constatés sur le site 1 Marseille) pour moins de 30% d'hygrométrie uniquement.

La moyenne des gains possibles en régime standard de fonctionnement se situe entre 4 et 8°C pour une hygrométrie inférieure à 60% (bulle verte).

La plage de fonctionnement optimale est située en dessous de 60% (gain supérieur à 4°C). Ce constat vient confirmer la nécessité d'étudier le fichier météo du site avant d'envisager l'utilisation d'un système adiabatique.

Les sites côtiers soumis à un vent thermique régulier venant de la mer (cf site 5 Var côtier par exemple) ont des conditions de température / hygrométrie **moins favorables pour les systèmes adiabatiques**.

Par contre, **les sites dans les terres** ou soumis à des vents secs (mistral) bénéficient de **très bonnes conditions** pour des rendements adiabatiques optimaux. L'étude préalable du fichier météo (température / hygrométrie) sur un diagramme de l'air humide permet de situer le potentiel d'un système de rafraîchissement adiabatique du site.

Enseignements techniques sur les systèmes étudiés

Le média adiabatique doit faire l'objet d'un suivi au même titre que les filtres des CTA. Sa protection par des filtres amont est nécessaire s'il n'est pas utilisé (hors été) ou il doit être retiré hors période d'utilisation. Pendant l'été son arrosage régulier chasse les poussières accumulées.

La gestion de la concentration en minéraux dans le bac de recirculation des systèmes adiabatiques est un point sensible qui consomme une quantité importante d'eau.

Deux stratégies sont possibles :

- Des vidanges régulières dont la fréquence sera établie en fonction de la dureté de l'eau.
- La mise en place d'un adoucisseur en amont qui permettra (sans les supprimer totalement) de nettement écarter ces rinçages.

En fonction de la dureté de l'eau sur site et de l'usage, l'une ou l'autre des deux méthodes sera choisie.



Qualité d'eau									
	Douce							Dure	
Th (°f)	0 à 5	6 à 10	11 à 15	16 à 20	21 à 25	26 à 30	31 à 35	36 à 40	Sup. à 41
% déconcent.	13%	14%	17%	20%	25%	33%	50%	50%	100%
Nombre de remplissages du réservoir avant vidange	8	7	6	5	4	3	2	2	1

À titre d'exemple : tableau de fréquence de vidanges à prévoir en fonction de la dureté de l'eau.

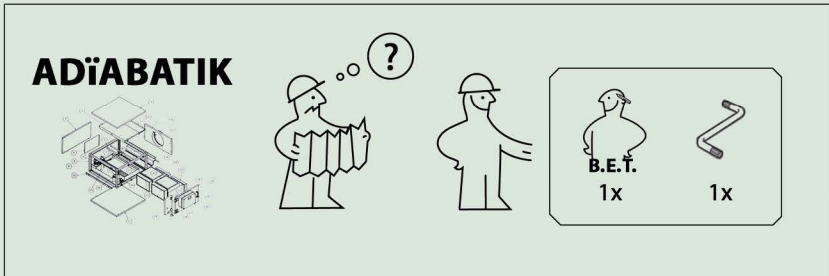
Source Génatis

La performance de l'échangeur de chaleur dans les CTA est un point critique pour les systèmes adiabatiques indirects. Ce point doit être vérifié à réception avec le fabricant. Sur les sites étudiés, le rendement n'a seulement été que de 60%, limitant ainsi l'effet du système adiabatique.

L'étanchéité du carter des systèmes adiabatiques et des systèmes bypass doit être vérifiée à réception. De même les écoulements d'eau accidentels au sol autour des systèmes adiabatiques doivent être anticipés pour éviter tout dommage sur les ouvrages inférieurs.

Seules les personnes habilitées rentrent dans les locaux techniques, par conséquent les codes de programmation maintenance doivent figurer de manière visible sur les machines ou panels de commande pour permettre les programmations simples : plannings, consignes de bypass.

OUTIL PRATIQUE



Check list adiabatique pour les études

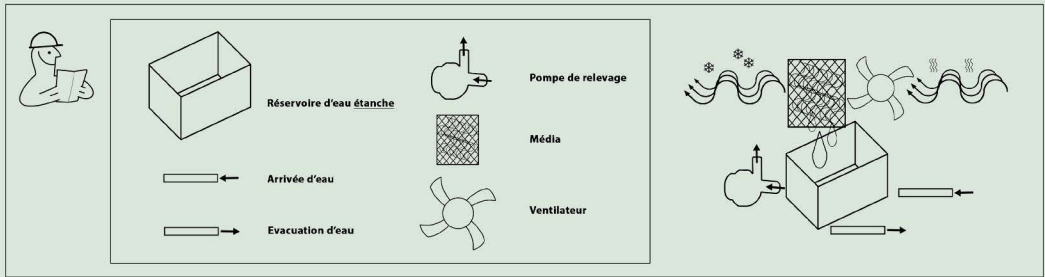
Données à recueillir avant d'envisager les études d'un système adiabatique :



- **Fichier météo** : température / hygrométrie : analyser si les canicules sont accompagnées d'une baisse de l'hygrométrie (Hr < 50%) sur un diagramme de l'air humide.
- **Dureté de l'eau** : envisager ou non la mise en place d'un adoucisseur.
- **Disponibilité de la ressource eau** : quelle source d'eau peut être exploitée par le système (eau de pluie stockée, eau recyclée, eau de ville...).

Études à mener en phase APD/ PRO :

- **Espace disponible autour de la CTA (reprise ou soufflage)** : anticiper les interventions de maintenance sur le média au même titre que les filtres => exiger du BET Fluide la représentation des portes d'accès maintenance ouvertes sur plan.
- **L'augmentation de l'hygrométrie** : les locaux recevant le flux d'un système adiabatique direct doivent pouvoir supporter une augmentation de l'hygrométrie. On pourra anticiper la régulation de cette hygrométrie pour les systèmes directs avec un équilibre des débits soufflage/reprise ou une régulation du système adiabatique qui s'arrête en fonction d'un taux hygrométrique maximum atteint.
- **Le débit de la CTA** est-il suffisant pour que le système adiabatique apporte un effet sur le confort hygrothermique ?
- En reprise, sélectionner une CTA se rapprochant des **80% de rendement global**.
- **Produire une analyse fonctionnelle** souhaitée du système de rafraîchissement et l'intégrer au CCTP CVC-plomberie (consignes de température envisagées, cascade de priorité sur les systèmes : 1 freecooling, 2 adiabatique, 3 batterie froide; différents programmes été / hiver / intersaison...).
- **Intégrer un compteur d'eau** en pied de système adiabatique et un **compteur d'énergie électrique** pour le couple CTA / système adiabatique.
- **Privilégier lorsque cela est possible les systèmes directs** dont les régulations sont indépendantes des CTA.
- **Exiger un visuel possible** du média adiabatique et du bac d'eau pour le contrôle en fonctionnement.
- **Prévoir un « stop flow » ou équivalent sur l'arrivée d'eau** (pour sécuriser un éventuel défaut de remplissage).
- **Pour les systèmes indirects**, vérifier que les vitesses d'air au travers du média adiabatique sont suffisamment faibles pour **ne pas entrainer d'eau** vers la CTA et son échangeur en aval.



Check list adiabatique pour la réception des travaux

Tests et vérifications à apporter pour la réception des travaux :



- **L'isolation des gaines** (reprise / soufflage) est-elle en place sur tout le réseau ?
- **L'échangeur de la CTA** (système indirect) est-il efficace ? => Mesure du débit de fuite et vérification du rendement en mode été.
- **La régulation du niveau d'eau** est-elle opérationnelle ?
- **Le débit de la pompe** est-il adapté ? Le média doit être humidifié sur toute sa hauteur en fonctionnement.
- Quelles sont **la fréquence et la durée des rinçages** de déminéralisation (à préciser avec le fabricant en fonction de la dureté de l'eau) ?
- Le fonctionnement du **remplissage** est-il fiable (perturbations possibles par des dépôts de calcaire) ?
- La température de consigne est-elle fixée à **26°C +/- 1°C** ?
- Analyser les défaillances possibles : débordement du bac à eau, gestion des remontées et descentes de défauts avec la CTA...
- L'exploitant a accès à la **programmation complète** de la CTA, avec le code constructeur (paramétrage de bypass, plages horaires, etc...) ?

Check list adiabatique pour le suivi usage

Vérifications en début et fin d'été :



- Vérifier la **consommation d'eau**.
- Comparer les températures de reprise (avant système adiabatique) et soufflage de la CTA pour vérifier que le système apporte un **gain réel**.
- **Vérifier l'état** du média adiabatique et des filtres. Il convient d'avoir un média en stock à minima.

ANNEXE 1



Calcul détaillé du rendement adiabatique direct (Site 1 Marseille)

Principes et hypothèses

- 1 gramme d'eau nécessite 2400 joules à 25°C pour s'évaporer (équivalent à l'énergie nécessaire pour élever 580 g d'eau de 1°C)
- 1m³ d'eau absorbe 667 kWh d'énergie thermique pour s'évaporer

Nous cherchons à comparer la consommation effective du système et donc son potentiel de refroidissement théorique avec la quantité de froid réellement produite (mesurée).

Les données sont les suivantes :

- Consommation d'eau sur la période de mesure = 13.065 m³
- Surface de plancher considérée = 532 m²
- Débit du ventilateur d'insufflation 3000 m³/h (débit confirmé par le concepteur)
- 547 kWh consommés en 2561 h.

Calcul du rendement adiabatique

Calcul de la variation enthalpique de l'air humide utilisée pour l'abaissement de température :

$$H = Cp \text{ air} * T$$

T = température en °C = mesure

Cp air = chaleur spécifique de l'air sec = 1.01 kJ.kg⁻¹.°C⁻¹

H= enthalpie en kJ.kg⁻¹

La variation enthalpique mesurée entre l'air extérieur et l'air soufflé est cumulée sur la période et comparée à l'énergie absorbée par la simple évaporation de la consommation en eau mesurée.

Énergie absorbée par le système adiabatique pendant la période de mesure :
(base 3000 m3/h) pendant 2515 h (pas de mesure = 0.5 h)

- $E_{\text{adiab}} = (H_{\text{air-soufflé}} - H_{\text{air-ext}}) * D * M_{\text{v-air}} * T$
H = enthalpie en kJ.kg⁻¹
D = débit d'air = 3000m3/h
M_{v-air} = masse volumique de l'air à 30°C = 1.2 kg/m³
T = période de mesure en h
E = énergie absorbée par le système en kJ
- $E_{\text{adiab}} = \mathbf{24\ 711\ 943\ kJ}$ (cumul des calculs par points de mesure sur tableur XL)

Énergie de vaporisation correspondant à l'évaporation des 13.065 m³ consommés cet été

- $E_v = m * L_v$
m = masse d'eau évaporée pendant la période de mesure = 13 065 kg
L_v = chaleur latente de vaporisation de l'eau = 2425 kJ.kg⁻¹
- $E_v = \mathbf{31\ 682\ 625\ kJ}$

Rendement du système = $E_{\text{adiab}} / E_v = 78 \%$

Ce rendement permet d'identifier la part d'eau active dans le processus adiabatique.

Approximations du calcul :

- Débit de ventilation estimé (3500 débit constructeur, évalué avec le concepteur à 3000 m3/h en charge)
- Conditions de pression partielle fixées à 30°C
- Pression atmosphérique fixée à 101 325 Pa
- Période de mesure extérieure interrompue du 14 au 20 septembre (6% de la période de mesure)
- Prise de température / hygrométrie extérieure à 1km du site (même typologie de site) => la sonde de mesure est tombée en panne

Conclusion :

78 % de l'eau mise en jeu a effectivement servi au process adiabatique de rafraîchissement. Les 22% restants se répartissent entre les rinçages, les périodes de pannes et les périodes d'interruption de mesure (il manque 4 jours de mesure en fin de campagne).

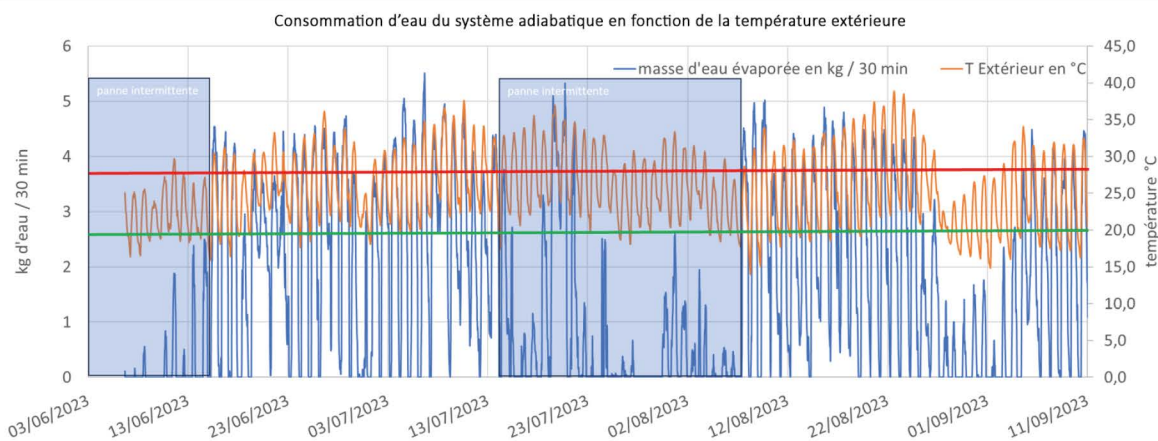


ANNEXE 2

Étude de l'impact de la consigne de température du système adiabatique direct sur la consommation en eau (Site 1 Marseille)

L'analyse de la consommation en eau en fonction de la température extérieure permet d'évaluer le gain sur la consommation en eau en fonction de la consigne du système, en postulant que 78% de l'eau est évaporée (cf annexe 1), le reste servant aux rinçages de déminéralisation.

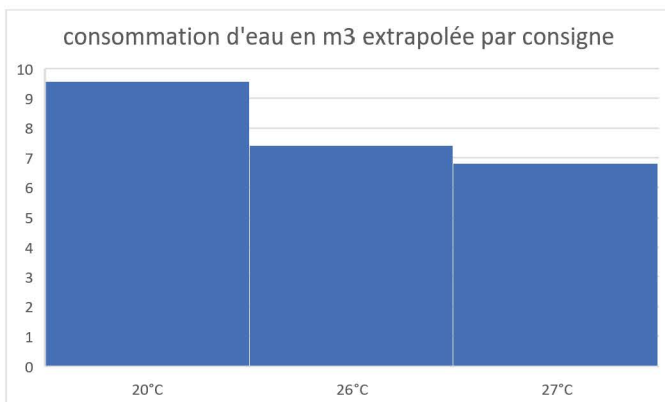
La consigne de 20°C engage pratiquement à plein temps le système adiabatique (consigne observée cet été).



Une consigne à 28°C limiterait fortement l'engagement du système.

La quantité d'eau est estimée en filtrant les données par échelle de température : quantité d'eau consommée pour T aval > 27°C ; 26°C ; 20°C.

La quantité d'eau est calculée pour chaque point avec la différence d'enthalpie entre amont et aval du système (cf annexe 1).



Une consigne à 26°C permettrait d'économiser 28% de la consommation en eau par rapport à une consigne à 20°C.

POUR ALLER PLUS LOIN

Quelques références bibliographiques :

- Les solutions de rafraîchissement adiabatique dans les bâtiments tertiaires en rénovation, Guide PROFEEL, septembre 2021
- Rafraîchissement à faible impact environnemental, ALEC, juin 2022

Ce livrable s'inscrit dans une série d'ouvrages "Retours d'expérience" édités par EnvirobatBDM depuis quelques années, en traitant la question du confort d'été comme axe majeur.

Ci-dessous quelques exemples :

- <https://www.enviroboite.net/vegetal-architecture>
- <https://www.enviroboite.net/panorama-des-protections-solaires>
- <https://www.enviroboite.net/conception-des-protections-solaires-principes-generaux-et-retours-d-experiences>
- <https://www.enviroboite.net/ventilation-naturelle-pour-le-confort-thermique-d-ete-dans-des-batiments-de-bureaux-performants>
- <https://www.enviroboite.net/confort-d-ete-dans-l-habitat-apres-renovation>

Retrouvez tous nos retours d'expérience, outils ou encore sélection de ressources thématiques dans l'EnviroBOITE, notre centre de ressources en ligne.



envirobat**bdm**

Créée en 2003, EnvirobatBDM est une association régionale de professionnels de l'acte de bâtir. Elle oeuvre pour la généralisation de la construction et de l'aménagement durable. En 2008, elle a initié la démarche « Bâtiments durables méditerranéens » (BDM) qui vise à accompagner les projets de manière contextualisée, participative et ouverte.

EnvirobatBDM
Résidence le Phocéan, bâtiment C
32 rue de Crimée - 13003 Marseille
04 95 04 30 44
contact@envirobatbdm.eu
www.envirobatbdm.eu

