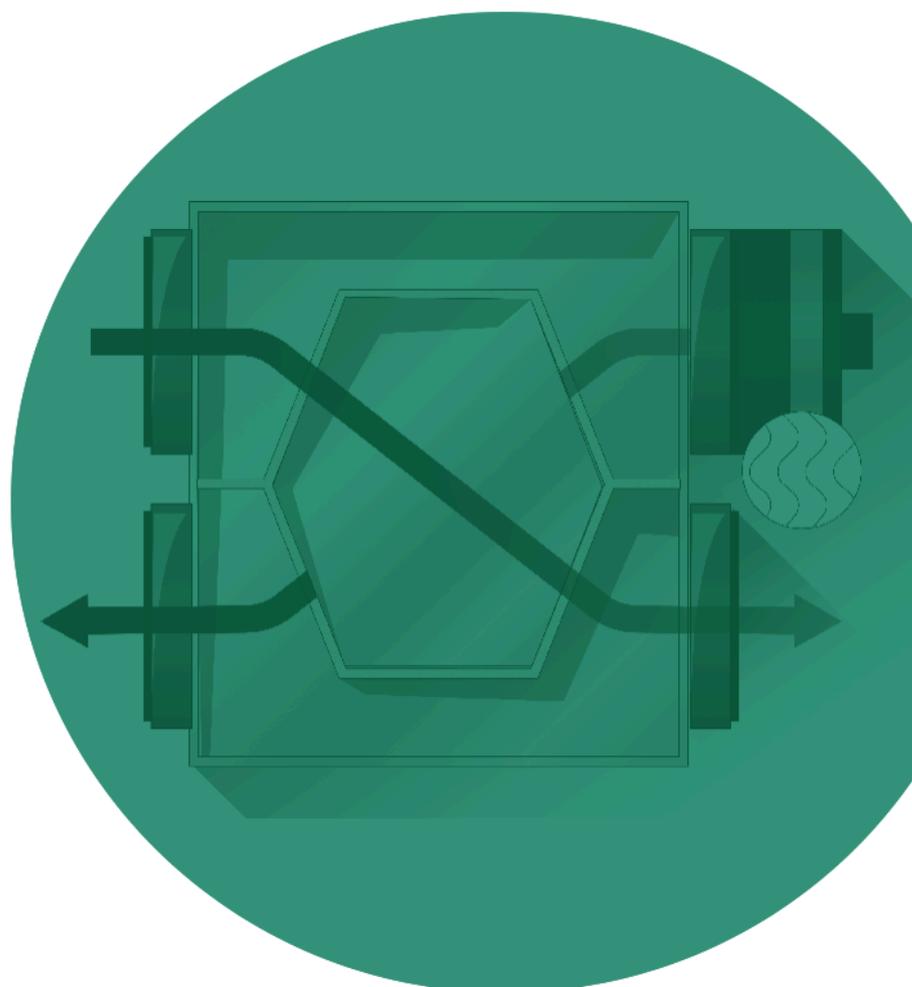


LES SOLUTIONS DE RAFRAICHISSEMENT ADIABATIQUE DANS LES BÂTIMENTS TERTIAIRES EN RÉNOVATION

SEPTEMBRE 2021



AVANT-PROPOS

Avec le programme PROFEEL, la filière Bâtiment s'est rassemblée pour répondre collectivement aux défis de la rénovation énergétique. 16 organisations professionnelles ont été à l'initiative de cette démarche et, continuent aujourd'hui à la porter activement.

PROFEEL se compose concrètement de 9 projets, positionnés sur trois grands enjeux : favoriser le déclenchement des travaux de rénovation, garantir la qualité des travaux réalisés et consolider la relation de confiance entre les professionnels. Ces projets s'appuient sur l'innovation, qu'elle soit technique ou numérique, afin de mieux outiller les professionnels du bâtiment, d'améliorer les pratiques sur le marché de la rénovation énergétique et de garantir la qualité des travaux réalisés. Ces outils permettront d'accompagner les acteurs durant toutes les étapes d'un projet de rénovation : en amont, pendant et après les travaux.

Dans le cadre du projet BONNES PRATIQUES, un des 9 projets PROFEEL, 14 nouveaux outils pratiques sont développés pour accompagner les professionnels dans la conception, la mise en œuvre et la maintenance de solutions techniques, clés ou innovantes de rénovation énergétique. Cette nouvelle collection d'outils s'inscrit dans la continuité des référentiels techniques produits dans le cadre de précédents programmes portés par la filière Bâtiment : PACTE et RAGE.

Le présent document est le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.

Pour plus d'information : <https://programmeprofeel.fr/>

PARTENAIRES PROFEEL :

Pouvoirs Publics



Porteurs



Financeurs



Filière Bâtiments



PROFEEL, un programme financé par le dispositif des certificats d'économie d'énergie (CEE)



SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	4
2	PRINCIPES DU RAFRAICHISSEMENT ADIABATIQUE	13
3	TECHNOLOGIES ADIABATIQUES	16
4	LES RÉGLEMENTATIONS & L'ADIABATIQUE	27
5	EFFICACITÉ DE L'ADIABATIQUE	36
6	LES PRÉCAUTIONS	54
7	ETUDES DE CAS ET TÉMOIGNAGES	60
8	SYNTHÈSE	67
9	ANNEXES	69
10	LEXIQUE	72
11	BIBLIOGRAPHIE	73



VERSION
Initiale

DATE DE LA PUBLICATION
Septembre 2021

MODIFICATIONS

1

INTRODUCTION

Les bâtiments tertiaires représentent en France plus d'un milliard de m² et environ 15% des consommations d'énergie finale. La rénovation de ce parc constitue donc un enjeu majeur. La loi N°2018-1021 du 23 novembre 2018 portant sur l'Evolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique (loi ELAN) fixe des objectifs de réduction de la consommation d'énergie finale des bâtiments tertiaires. Le décret Eco Energie Tertiaire précise les modalités d'application de l'article 175 de la loi ELAN. À ce jour, tous les bâtiments existants à usage tertiaire de plus de 1000 m² sont concernés. En application depuis le 1^{er} octobre 2019, ce texte devrait donc motiver des nombreuses rénovations

énergétiques de bâtiments tertiaire, où la question du confort d'été sera abordée.

Ce guide, à destination des artisans, architectes et maîtres d'œuvre, a pour ambition de présenter les systèmes de rafraîchissements adiabatiques en rénovation tertiaire, leurs avantages, inconvénients et les bonnes pratiques associées.

Le périmètre de ce guide prend en compte uniquement les systèmes où le phénomène évaporatif, à la base des rafraîchisseurs adiabatiques, est mis en œuvre pour le rafraîchissement de l'air neuf introduit dans un bâtiment. Les systèmes de type aérofrigorifères ne sont donc pas traités.

1

1

LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Appelé aussi réchauffement global ou planétaire, le changement climatique est un phénomène d'augmentation des températures moyennes des océans et de l'atmosphère, au niveau planétaire, depuis 70 ans. La Terre, depuis ses origines, a toujours connu des changements cycliques de climat, les périodes glacières alternant avec des périodes plus chaudes sur des cycles d'environ 100 000 ans. Le problème vient du constat suivant : on constate que l'augmentation de la température moyenne ne cesse de s'accroître, à des rythmes non observés jusqu'à maintenant. La multiplication des catastrophes naturelles provoquées par la météo est une autre manifestation du changement climatique. L'élévation du niveau de la mer en conséquence de la fonte des glaces en est une autre.

Ces phénomènes n'ayant jamais été observés dans l'histoire de la Terre, scientifiques et experts du climat se sont alors penchés sur l'activité humaine afin de trouver les

causes de ce phénomène inédit. Bien que résultant d'une combinaison de multiples facteurs, la première cause citée du changement climatique est la pollution due à l'émission toujours plus importante de gaz à effets de serre.

L'effet de serre et son impact climatique depuis longtemps sont connus depuis longtemps, bien avant les 1ers signes de changement climatique. C'est Arrhenius qui le premier au début du XX^{ème} siècle a théorisé l'effet de serre et prévu la hausse de la température moyenne d'ici à la fin du XIX^{ème} siècle du fait de l'utilisation des combustibles fossiles et des émissions de GES associées.

Ces gaz, absorbant le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre, sont assimilables au vitrage d'une serre : le rayonnement solaire peut entrer, mais pas ressortir. Le plus connu des gaz à effet de serre est le dioxyde de carbone CO₂. Les fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes produisant du froid sont aussi problématiques.

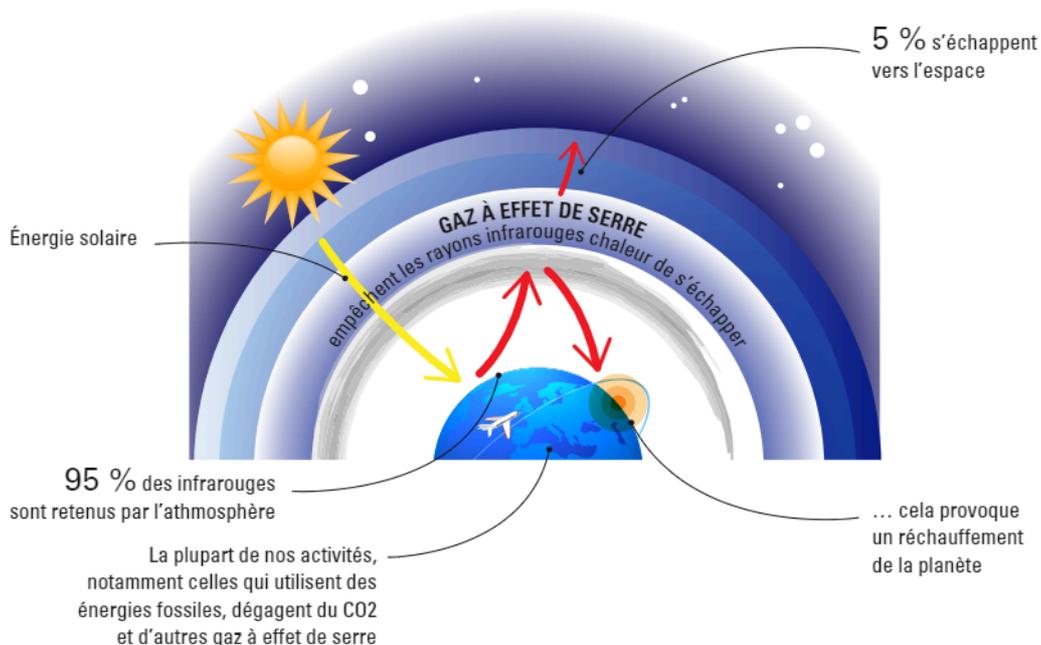


FIGURE 1 Explication du phénomène d'effet de serre

Source : carboneconseil.fr

1

2

LES NOTIONS DE CONFORT THERMIQUE ET ESTIVAL

Le changement climatique apporte avec lui des périodes de chaleur plus intenses et plus longues que précédemment. Cette nouvelle donne climatique nécessite donc d'adapter nos bâtiments à la problématique de la sur-

chauffe à l'intérieur des espaces de la façon la plus passive possible. Afin de comprendre les problématiques liés au confort thermique estival, commençons par définir le confort thermique.

1.2.1 CONFORT THERMIQUE

Le confort thermique est défini comme « un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique ». Il est lié à 6 paramètres :

- Le métabolisme ou la capacité du corps à produire sa chaleur,
- L'habillement,
- La température des parois,
- La température de l'air,

- L'humidité de l'air,
- La vitesse de l'air.

L'ensemble de ces paramètres influencent les échanges de chaleur entre l'individu et son milieu. La majeure des échanges thermiques entre le corps humain et son environnement se fait par convection avec l'air ambiant et évaporation, à hauteur de 60 %.

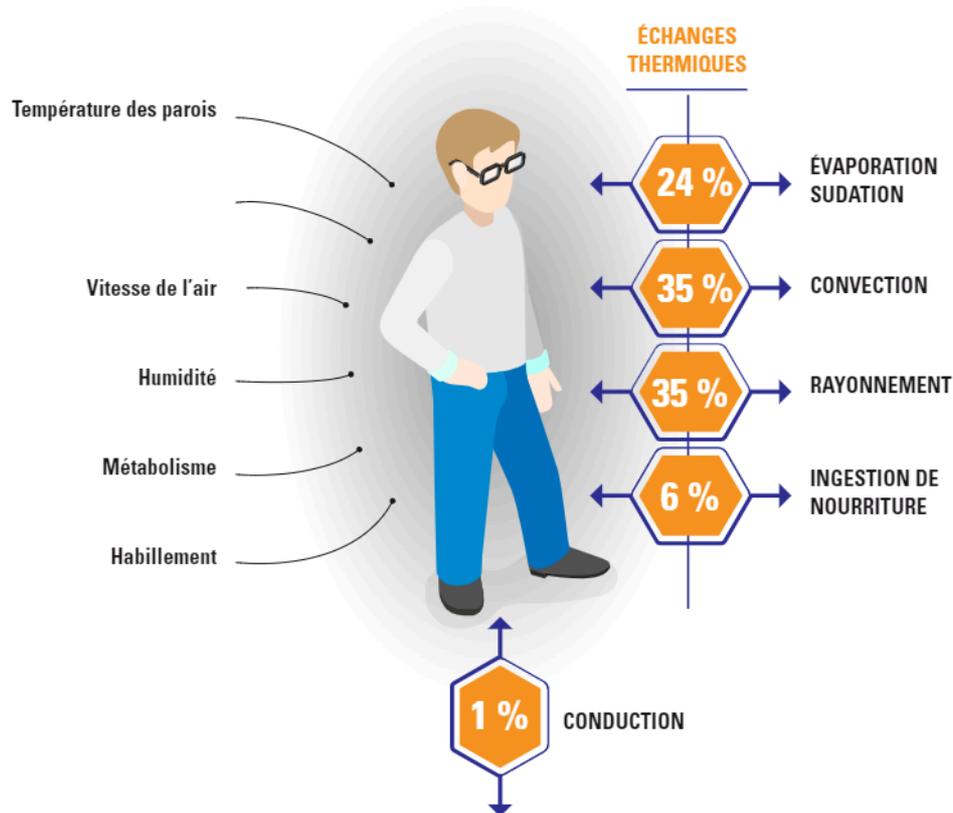


FIGURE 2 Répartition des échanges thermiques du corps avec l'extérieur

Source : energieplus-lesite.be

Ces prédominances de la convection et de l'évaporation expliquent plusieurs sensations :

- La difficulté à réguler notre chaleur dans une atmosphère très humide : l'eau dans l'air diminue la capacité du corps à transpirer et à se rafraîchir
- la sensation de froid ressentie dans un bâtiment dont les parois sont très froides malgré un éventuel chauffage.

HUMIDITÉ RELATIVE DANS UN BÂTIMENT

L'humidité relative a peu d'impact sur la sensation de confort d'un individu. Par exemple, il est difficile de ressentir une différence entre 40% et 60% d'humidité relative dans un local. Cependant, une sensation d'inconfort peut apparaître aux extrêmes :

PLAGE DE CONFORT TEMPÉRATURE / HUMIDITÉ

Il est possible de définir une plage de confort thermique sur le diagramme de l'air humide (cf § 2.2) en positionnant différentes zones :

- Zone 1 : à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse ;

Afin d'améliorer le bien-être des occupants, l'objectif est de maintenir dans un bâtiment une plage de confort en jouant sur l'ensemble des paramètres que sont l'humidité relative (entre 40 et 60 %), la température et la vitesse de l'air, le niveau d'habillement et d'activité.

Les diagrammes suivants illustrent les plages dites de confort en fonction de ces différents paramètres.

- L'humidité relative est inférieure à 30 % : l'électricité statique augmente, il y a plus de poussières dans l'air, etc.
- L'humidité relative est supérieure à 70 % : croissance microbienne importante, condensation sur les surfaces froides, etc.

- Zones 2 et 3 : Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons ;
- Zone 4 : Polygone de confort hygrothermique.

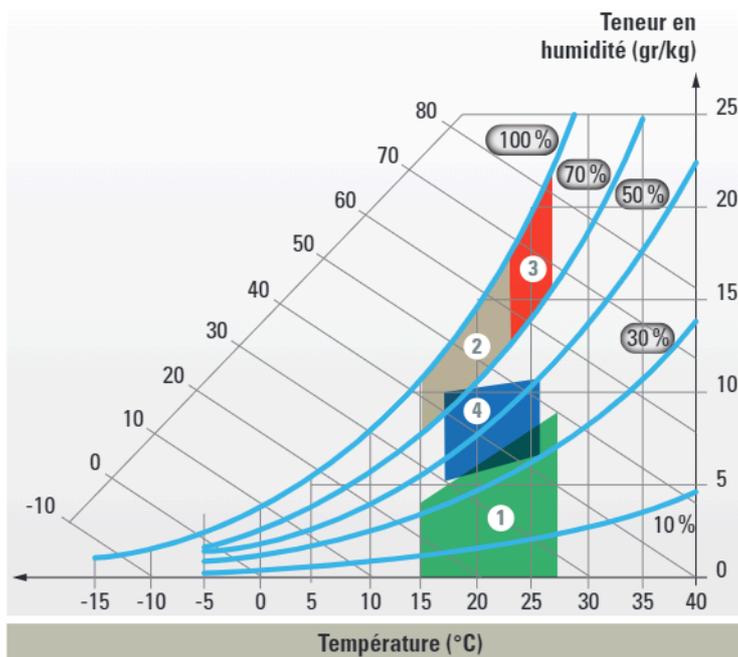


FIGURE 3 Zones de confort thermique

Source : energieplus-lesite.be

VITESSE DE L'AIR

La vitesse de l'air relativement à l'individu va influencer les échanges de chaleur par convection et augmenter l'évaporation à la surface de la peau. L'augmentation de la vitesse va donc abaisser la température à la surface du corps, ce qui est intéressant en été mais peut être problématique en hiver. Du point de vue confort, la vitesse de l'air va être considérée comme impactante à partir de 0,2 m/s.

La plage de confort en termes de vitesse d'air se situe entre 0,13 et 0,25 m/s.

Cette plage de valeur est cependant à nuancer. En effet, la vitesse de l'air acceptable et recommandée doit

varier avec la température. Une vitesse de 1 m/s, soit 3,6 km/h, correspond à la vitesse d'une personne marchant dans la rue. A 26 °C, cette vitesse ne crée pas d'inconfort, mais permet au contraire d'en apporter. La plage de recommandations donnée ci-dessus dans le tertiaire est basse afin d'éviter un inconfort froid lorsque la température intérieure est proche de 20 °C. Cette plage n'est donc pas adaptée à l'usage d'un bâtiment tertiaire en été, d'autant plus lorsqu'il est proposé de maintenir le confort des occupants pour des températures plus élevées que d'ordinaire.

HABILLEMENT

L'habillement est défini par une valeur relative exprimée en « clo » et dont des valeurs caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant.

Tenue vestimentaire	Habillement
Nu	0
Short	0,1
Tenue tropicale type (short, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et sandales)	0,3
Tenue d'été légère (pantalon léger, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et chaussures)	0,5
Tenue de travail légère (chemise de travail en coton à manches longues, pantalon de travail, chaussettes de laine et chaussures)	0,7
Tenue d'intérieur pour l'hiver (chemise à manches longues, pantalon, pull-over à manches longues, chaussettes épaisses et chaussures)	1
Tenue de ville traditionnelle (complet avec pantalon, gilet et veston, chemise, chaussettes de laine et grosses chaussures)	1,5

NIVEAU D'ACTIVITÉ

Le niveau d'activité est défini par le métabolisme, associé à une puissance en W/m^2 .

Activité	W/m^2	met
Repos, couché	45	0,8
Repos, assis	58	1
Activité légère, assis (bureau, école)	70	1,2
Activité légère, debout (laboratoire, industrie légère)	95	1,6
Activité moyenne, debout (travail sur machine)	115	2,0
Activité soutenue (travail lourd sur machine)	175	3,0

1.2.2 CONFORT ESTIVAL

Le confort d'été est fonction de paramètres sur lesquels il est possible d'agir, pour réduire la surchauffe rendant inconfortable un bâtiment ou un logement. Ces paramètres sont liés à la conception et la gestion du bâtiment, et à certains éléments physiologiques. Le confort d'été passe par la maîtrise de ces paramètres sans avoir forcément recours à la climatisation. On peut citer parmi les paramètres contrôlables : la vitesse de l'air et sa température, la température des parois, le rayonnement solaire à l'intérieur, la tenue vestimentaire l'activité exercée, etc.

La principale donnée à considérer pour quantifier le confort estival est la température intérieure. Celle-ci résulte des flux de chaleurs provenant :

- De l'extérieur : en été, la chaleur pénètre depuis l'extérieur par le rayonnement solaire direct, la transmission de chaleur par les parois et les entrées d'air chaud (ventilation ou défauts d'étanchéité)

- Ou de l'intérieur d'un local : les apports internes dus à l'utilisation du local sont simultanément une source de chaleur positive en hiver et un apport à combattre en été.

Afin de limiter la puissance nécessaire en froid en été, différentes mesures peuvent être mises en place :

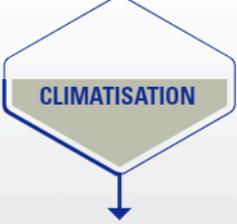
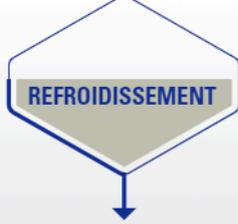
- Les actions sur les phénomènes physiques : la réduction des apports solaires, la réduction des apports internes, l'utilisation de l'air extérieur lorsqu'il est plus frais que l'intérieur, l'humidification de l'air.
- Les actions sur l'aspect comportemental comme la sensibilisation des occupants.

1

3

DES SOLUTIONS ALTERNATIVES AU REFROIDISSEMENT

Rappelons d'abord les définitions du guide AICVF « Conception des installations de climatisation et de conditionnement de l'air » concernant la climatisation, le refroidissement et le rafraîchissement :

 <p>CLIMATISATION</p>	 <p>REFROIDISSEMENT</p>	 <p>RAFRAÎCHISSEMENT</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Consiste en la maîtrise précise des conditions de températures et d'hygrométrie dans un local sans dérive aucune. • Application : Salle d'opération, Laboratoires. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consiste au maintien d'une température intérieure selon une puissance de dimensionnement. Des dérives de +/-1°C sont autorisées. En cas de fortes chaleur extérieures, le système peut être sous-dimensionné • Application : Bureaux actuels 	<ul style="list-style-type: none"> • Consiste en l'action de rendre plus frais, sans garantir de température intérieure. • Application : Grands volumes, Salles de sport, Salles polyvalentes.

De plus en plus de bâtiments sont équipés de système de refroidissement. Cette tendance amène plusieurs constatations :

- Les pics de consommations électriques se multiplient en été. La climatisation et le refroidissement représentent en France environ 6 % de la consommation d'électricité, contre 40 % pour le chauffage. A l'échelle mondiale, ce pourcentage monte à 20 % de la consommation d'électricité. Cette part tend à s'accroître très rapidement pour les années à venir, du fait du réchauffement global du climat.
- Les unités extérieures participent activement à la création de l'effet d'îlot de chaleur en soufflant à l'extérieur de l'air chaud. Ce phénomène est d'autant plus fort pour les installations sur les locaux en pied d'immeuble, où l'air chaud est soufflé directement sur les piétons.
- L'augmentation du nombre de climatiseurs a également d'importants effets sur la pollution de l'environnement. En effet, les fluides frigorigènes sont des gaz à effet de serre 140 à 11700 fois plus puissants que le CO₂, en potentiel de réchauffement : les pertes de fluides frigorigènes des machines de froid sont donc très nuisibles.

LES FLUIDES FRIGORIGÈNES



Pour établir l'impact des fluides frigorigènes sur l'environnement, on définit 2 indices :

- L'ODP ou PAO, respectivement Ozone Depletion Potential et Potentiel d'Appauvrissement de l'Ozone, indique la nocivité d'un composé par rapport à la couche d'ozone. Cet indice ne concerne que les fluides contenant du chlore, comme le R22, et sont aujourd'hui interdits.
- Le PRC ou GWP, respectivement Potentiel de Réchauffement Climatique et Global Warming Potential, est une indication sur la nocivité d'un gaz par rapport à l'effet de serre. Le fluide de référence pour ce calcul est le CO₂ dont le GWP est 1. Plus le GWP est élevé, plus le fluide est nocif.

Aujourd'hui, le fluide frigorigène communément utilisé sur les installations de climatisation ou refroidissement à puissance élevée est le R-410a. Son GWP est à 2088 et il est non-inflammable. Pour les petites installations dont la charge en fluide est inférieure à 3 kg, c'est le R32 qui est favorisé. Son un GWP à 675 et il est légèrement inflammable.

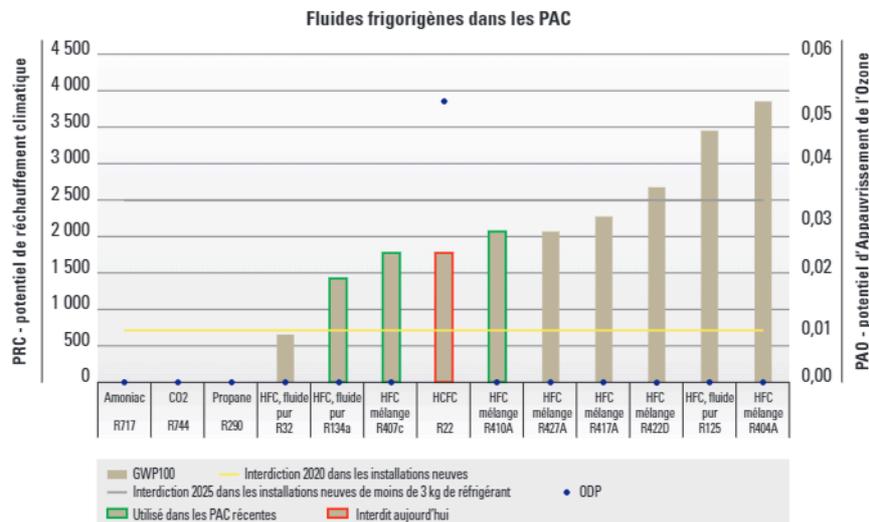


FIGURE 4 Impact PRP et PAO des fluides frigorigènes et réglementation

Source : Tribu Energie

“ L'objectif est donc double : limiter le recours à la climatisation tout en assurant un confort intérieur. ”

Pour atteindre cet objectif, la première démarche à adopter est de réduire autant que possible les besoins en froid, via la minimisation des apports externes, internes

et de ventilation. Ces techniques, décrites dans le tableau ci-dessous, ont cependant leurs limites en rénovation.

Solution	Mise en œuvre	Limite
Réduction des apports externes	Conception bioclimatique du bâtiment Protections solaires performantes	Limite d'intégration de ces mesures sur un projet rénovation
Réduction des apports internes	Bonne ventilation de base Sur-ventilation	La sur-ventilation permet dans certains cas d'éviter l'inconfort d'été mais implique : un investissement de départ important (surdimensionnement de la CTA et du réseau de gaines), une consommation énergétique supplémentaire et une performance globale médiocre. La réalisation d'une nouvelle installation d'éclairage en rénovation permet aussi de limiter les apports internes : moins de puissance d'éclairage et une meilleure gestion permettent de garantir un confort lumineux sans surchauffe. Un choix intelligent des machines à l'intérieur des locaux permet aussi de limiter les apports internes (ordinateurs portables au lieu de fixes par exemple).
Réduction de la température d'air soufflé par rapport à la température extérieure	Installation d'une CTA double flux avec échangeur	La température de l'air soufflé par une CTA double flux en été, même avec un rendement d'échangeur supérieur à 80%, sera supérieure à la température de l'air extrait donc le bâtiment se réchauffe !

“ Une fois que les mesures ci-dessus ont été prises, une solution performante pour assurer un confort d’été est de rafraîchir l’air. La technologie adiabatique est donc une réponse pertinente. ”

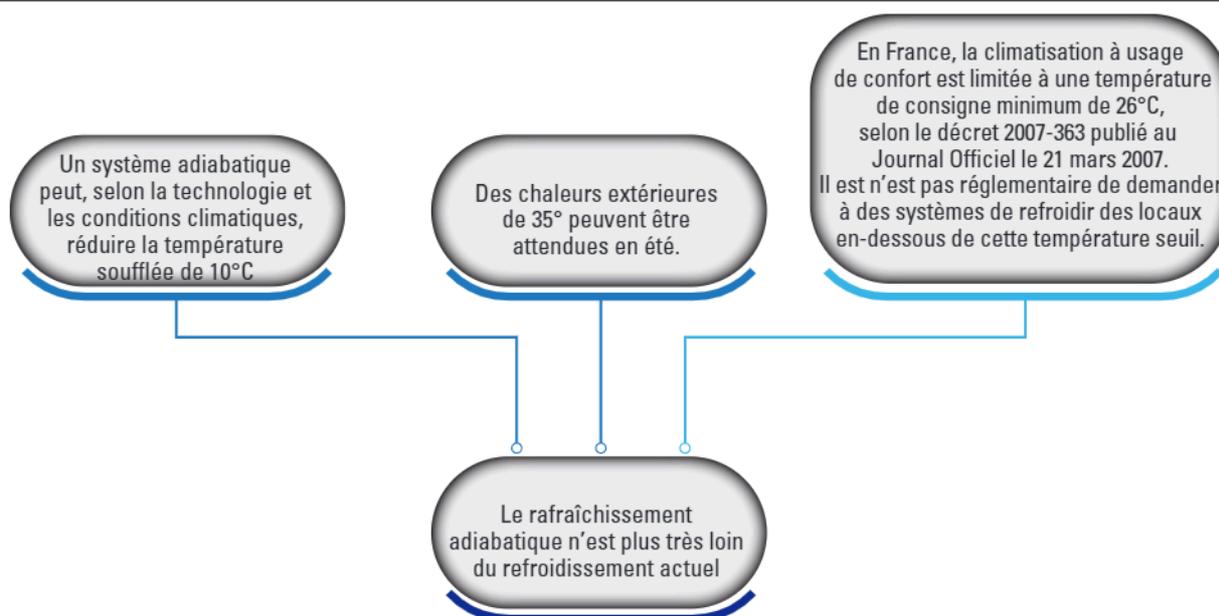
1 4

L'ADIABATIQUE, UNE TECHNIQUE ANCESTRALE

Le principe du rafraîchissement adiabatique est utilisé dans la nature depuis toujours. La sudation humaine, et donc la thermorégulation du corps humain, est basé uniquement sur le principe adiabatique. Il en est de même pour la végétation, via l'évapotranspiration de l'eau par les plantes vertes. Le principe adiabatique, nous l'expérimentons tous, lors d'une canicule par exemple, quand il fait plus frais dans un parc, sous un arbre ou proche d'une étendue d'eau.

La connaissance de ce principe adiabatique par l'homme est ancienne. Sa mise en œuvre de façon industrielle, bien

plus récente, commence dans les années 1970. La technologie adiabatique est maintenant au point et largement industrialisée dans les pays de l'hémisphère Sud, puisque proposant des performances intéressantes à moindre coût. Selon la technologie adiabatique choisie et les conditions climatiques, une réduction de la température intérieure de l'ordre d'une dizaine de degrés peut être obtenue. La situation du rafraîchissement adiabatique dans le contexte réglementaire et climatique français peut être illustré de la façon suivante :



Dans la suite de ce rapport, un panel de technologies adiabatiques sont décrites, ainsi que leur fonctionnement, pour sensibiliser le lecteur à pertinence de ce type d'installation lors d'une opération de rénovation tertiaire.

1

5

QUID DU RAFFRAÎCHISSEMENT ADIABATIQUE À L'INTERNATIONAL ?

Le rafraîchissement adiabatique est une technique largement reconnue et mise en œuvre à travers le monde.

Chez notre voisin allemand, l'installation de systèmes adiabatiques est fréquente quand il y a un besoin en rafraîchissement. Ces technologies sont aussi supportées financièrement par le gouvernement allemand, via une aide pour les systèmes de réfrigération et de climatisation avec réfrigérants non halogénés.

Plus largement dans le monde, l'Australie et les Etats-Unis, notamment les zones Texas et Arizona, sont les grands installateurs historiques de systèmes adiabatiques, en particulier en maisons individuelles. Il s'agit de zone chaude et sèche, tout à fait propice au fonctionnement de l'adiabatique.

Signe que le rafraîchissement adiabatique a de l'avenir, des pays comme l'Arabie Saoudite s'intéressent à cette technologie. En effet, c'est un pays très chaud produisant son électricité à partir de pétrole. Une réduction du besoin en froid signifie donc une réduction du besoin d'électricité, et de la dépendance aux hydrocarbures. C'est ainsi en Arabie Saoudite qu'à été installé le plus grand système de rafraîchissement adiabatique à ce jour : sur 15 ha dans la ville de Médine ont été installés 250 parasols intégrant des unités adiabatiques positionnées à 6m de hauteur. L'installation permet au plus de chaud de la journée une réduction de l'ordre de 10°C de la température sous les parasols et consomme 50 000L d'eau quand toutes les unités sont en service.

2

PRINCIPES DU RAFRAICHISSEMENT ADIABATIQUE

2

1

DESCRIPTION PHYSIQUE

Le principe de base du refroidissement adiabatique est d'utiliser l'énergie de la transformation d'état de l'eau liquide en vapeur. Le phénomène est le suivant :

- De l'air chaud et sec traverse un filet d'eau ;
- L'air chaud provoque l'évaporation d'eau dans le filet ;
- La chaleur nécessaire à la vaporisation d'eau est extraite de l'air ;
- L'air se refroidit.

Ce phénomène physique est représentable sur le diagramme de l'air humide.

2

2

DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE

Le diagramme de l'air humide représente les caractéristiques de l'air humide selon plusieurs variables :

- L'axe horizontal représente la température de l'air en °C.
- L'axe vertical représente la teneur en humidité de l'air en gr d'eau / kg d'air.
- Les courbes bleues représentent le degré hygrométrique, c'est-à-dire le rapport entre le contenu en

vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans les conditions du point.

- Les courbes grises représentent l'enthalpie de l'air.
- L'illustration ci-dessous est une version simplifiée afin d'expliquer les variables entrant en jeu. Un graphique détaillé est disponible en annexe.

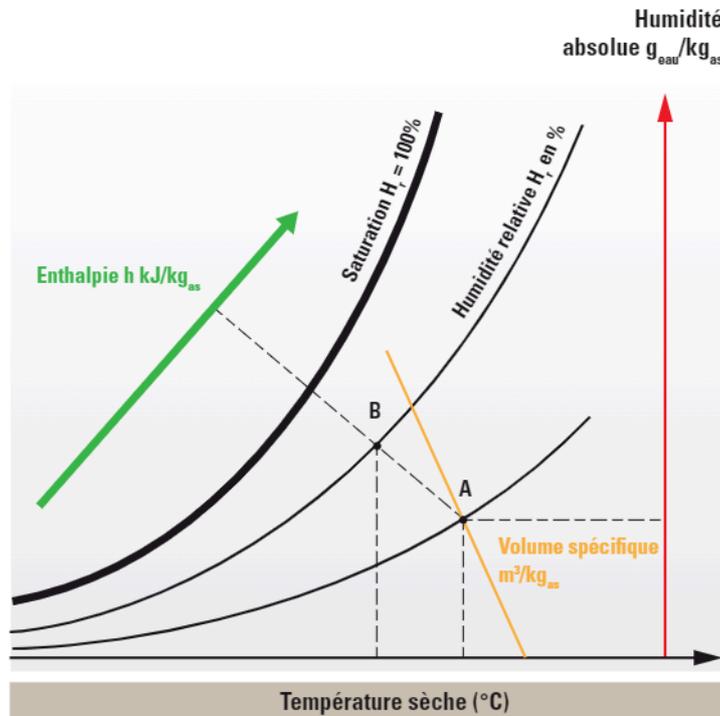


FIGURE 5 Diagramme de l'air humide ©AICVF

Par exemple, sur le graphique ci-dessus, au point A :

- La température de l'air, notée T , est de $34\text{ }^\circ\text{C}$
- La teneur en humidité, notée q , est de $6,8\text{ gr/kg}$,

- Le degré hygrométrique, noté HR, est de 20%
- L'enthalpie, notée h , est de 52 kJ/kg .

L'ENTHALPIE



En physique, l'enthalpie est une quantité d'énergie reliée à un système thermodynamique, ou portion de l'univers que l'on isole par la pensée du reste de l'univers. Cette énergie est composée de :

- L'énergie interne du système, liée à sa température et à sa quantité de matière ;
- L'énergie mécanique à la frontière du système requise pour occuper son volume, lié à la pression.

Lorsqu'un fluide subit des changements d'état (condensation, évaporation) ou des réactions chimiques émettant de la chaleur (combustion) ou absorbant de la chaleur (polymérisation), le lien entre l'énergie interne, la pression et le volume est perdu au cours de la transformation. Il devient ainsi impossible de lier leurs valeurs initiales et finales. De plus, la pression et le volume sont des variables co-dépendantes qu'il est souvent difficile (et pas toujours utile) de séparer.

Il est donc nécessaire de se munir d'une variable d'état conservatrice qui permet de représenter le système à travers ces transformations, mais également de représenter l'effet de ces transformations elles-mêmes sur l'énergie globale du système. C'est l'enthalpie qui remplit ce rôle, en synthétisant dans une variable « boîte noire » l'influence combinée de l'énergie interne, de la pression et du volume. On passe alors par une description du système en termes de variation d'enthalpie qui, sous l'hypothèse de pression constante au cours de la transformation, possède la propriété remarquable de représenter uniquement le transfert de chaleur à travers la frontière du système.

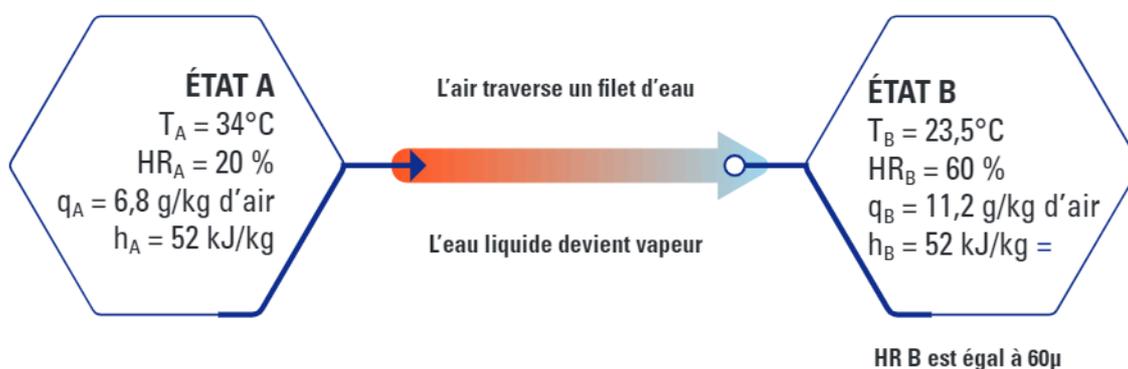
2

3

DESCRIPTION THERMODYNAMIQUE

Sur le graphique de l'air humide, le passage de l'état A à l'état B représente le phénomène de base du rafraîchissement adiabatique. Le système thermodynamique décrit

est le passage de l'air chaud et sec dans un filet d'eau à pression atmosphérique (càd à l'air libre). Il s'agit d'un changement d'état de l'air décrit par le schéma suivant.



La transformation est :

- Isenthalpique : l'énergie h_A du système « air » est la même que h_B .
- Avec une variation de la teneur en humidité et du degré hygrométrique : HR_A et q_A sont inférieurs à HR_B et q_B . L'air se charge en eau.

- Avec une variation de température : T_A est supérieure à T_B . La température de l'air diminue de $10,5^\circ\text{C}$ entre l'état A et l'état B.

// Est obtenu à la sortie de ce système un air plus frais et plus humide : c'est le principe de base du rafraîchissement adiabatique."

Ce principe est adapté de multiples façons dans les systèmes industriels. Le refroidissement adiabatique peut-être :

- Direct : si l'air humidifié est directement pulsé dans l'ambiance ;

- Indirect : si de l'air pulsé ou un réseau d'eau est refroidi par échange avec l'air qui aura été humidifié.
- Un panel de technologies exploitant ces 2 modes de fonctionnement existe, que ce soit de façon autonome ou couplée. Elles sont présentées dans la suite.

3

TECHNOLOGIES ADIABATIQUES

Le principe physique développé ci-dessus s'adapte de multiples manières pour correspondre aux usages des locaux tertiaires : locaux à fortes occupation type bureaux ou école, grands volumes, salles polyvalentes. Ce chapitre propose un focus sur chaque technologie utilisant le principe adiabatique, en les classant selon 4 familles :

- Le rafraîchissement adiabatique indirect ;
- Le rafraîchissement adiabatique direct ;
- Le rafraîchissement adiabatique couplé direct et indirect ;
- Le refroidissement adiabatique.

3

1

LE RAFRAICHISSEMENT ADIABATIQUE INDIRECT

Les technologies utilisant le rafraîchissement adiabatique indirect sont les plus communément installées. Souvent proposées en amont d'un système de ventilation, elles per-

mettent de profiter du phénomène physique adiabatique sans augmenter l'humidité relative au sein des locaux desservis.

3.1.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le rafraîchissement adiabatique indirect se base sur le principe suivant : l'air soufflé dans l'ambiance est refroidi par échange avec de l'air qui aura été humidifié et refroidi

au préalable. L'air soufflé dans l'ambiance n'est donc pas chargé en eau. Ce principe de base peut ensuite être varié.

3.1.2 RAFRAICHISSEMENT ADIABATIQUE SUR AIR EXTRAIT

L'utilisation d'un échangeur pour utiliser le principe de rafraîchissement adiabatique est la mise en œuvre la plus classique. Ce type de technologie peut se présenter sous 2 formes :

- La rénovation inclut le remplacement de la CTA : choix d'une machine couplant CTA et rafraîchissement adiabatique ;
- La rénovation conserve la CTA existante : choix d'un rafraîchisseur adiabatique autonome à installer sur l'air extrait.

POINT DE VIGILANCE



Bien s'assurer du rendement réel de l'échangeur de la CTA, car s'il est moins bon qu'annoncé, le transfert de calories se fait moins bien, et le système adiabatique indirect perd de son intérêt.

3.1.2.1 PRINCIPE

Le processus est le suivant :

1. L'air neuf est pris à l'extérieur, chaud et sec.
2. L'air extrait est pris à l'intérieur, chaud et humide.
3. L'air extrait est refroidi selon le principe de refroidissement adiabatique en passant par un média humide. Il se charge en eau et devient frais.
4. L'air extrait humidifié et refroidi croise l'air neuf chaud et sec dans un échangeur. L'air extrait rafraîchi permet de diminuer la température de l'air neuf sans le charger en eau.
5. L'air neuf rafraîchi est soufflé dans l'ambiance.

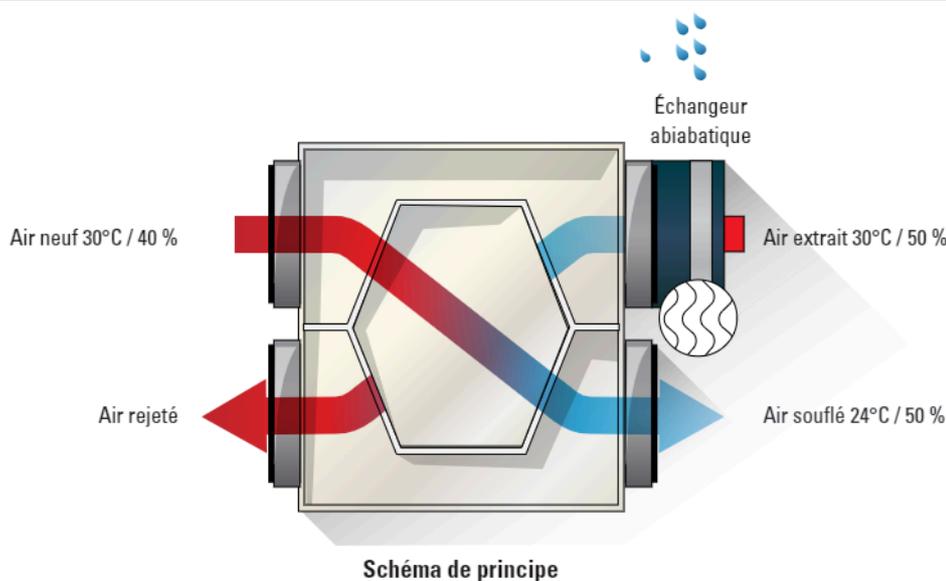


FIGURE 6 Rafraîchissement adiabatique sur air extrait par échangeur classique

Source : industriel

3.1.2.2 RÉGULATION

La régulation se base sur le maintien d'une température de consigne à l'intérieur. Pour cela, on doit agir en fonction des sondes sur l'air extrait. L'hygrométrie en reprise n'a jamais de valeurs suffisamment élevées obligeant l'arrêt du module adiabatique. Une sonde de température avant le module et un ordre de marche par rapport à une consigne intérieure est suffisant.

Un système central gère le démarrage et l'arrêt du système adiabatique lorsqu'un refroidissement de l'air soufflé est nécessaire. Il est aussi possible d'ajouter une sonde

d'hygrométrie extérieure, qui va permettre l'arrêt du refroidissement adiabatique lorsque l'hygrométrie extérieure est élevée.

L'unité de rafraîchissement adiabatique doit aussi sa régulation propre gérant :

- Le niveau d'eau (remplissage, vidange, etc...),
- Le nettoyage du média,
- La déconcentration des minéraux,
- Le risque de gel du module,
- Le fonctionnement de la pompe

3.1.2.3 AVANTAGES & INCONVÉNIENTS

Avantages	Inconvénients
Facilité de maintenance Remplacement aisé si nécessaire. Pas de risque de légionelle	Nécessite un espace disponible dans le local technique Système peu performant dans les climats chauds et humides
Si le rafraîchisseur adiabatique est installé en amont d'une CTA existante :	
Implantation facile par ajout d'un module sur l'existant.	Augmentation des pertes de charge qui doivent être supportées et configurées dans l'installation de ventilation en place.
En cas d'installation ou de remplacement de la CTA et l'installation d'une machine couplant CTA et rafraîchissement adiabatique :	
Surcoût du rafraîchissement adiabatique est limité car inclus dans le prix de la CTA. Adaptation de la CTA aux nouvelles pertes de charges dues au module adiabatique.	

3.1.3 RA Fraîchissement adiabatique indirect simultané

Cette technologie permet de réaliser simultanément l'échange de chaleur air neuf / air extrait et le rafraîchissement adiabatique.

3.1.3.1 PRINCIPE

Le processus est le suivant :

1. L'air neuf est pris à l'extérieur, chaud et sec.
2. L'air extrait est pris à l'intérieur, chaud et humide.
3. Les deux flux entrent dans un échangeur où les tubes contenant les deux fluides sont arrosés d'eau. L'échange
4. L'air neuf rafraîchi est soufflé dans l'ambiance.

de chaleur entre les deux flux et le rafraîchissement adiabatique indirect de l'air neuf et de l'air extrait se produisent en même temps.

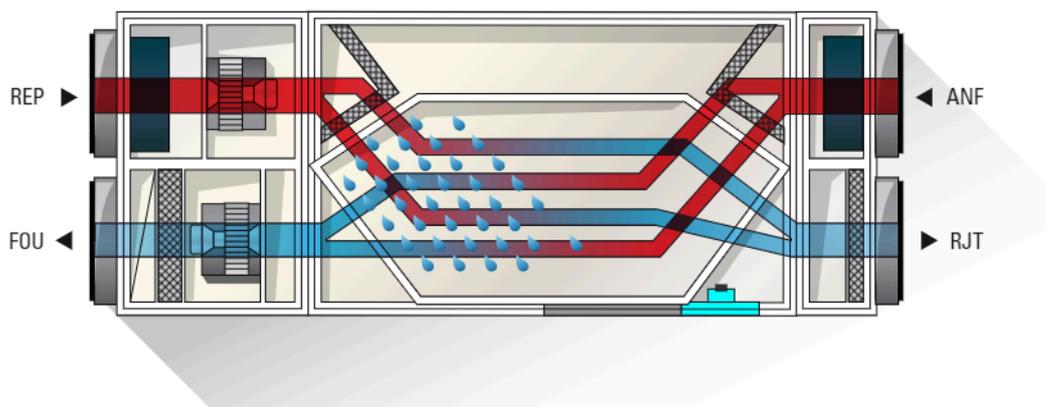


FIGURE 7 Raîchissement adiabatique simultané

Source : industriel

3.1.3.2 RÉGULATION

Dans cette configuration, un régulateur central gère l'ensemble de la machine, aussi bien le démarrage du rafraî-

chissement adiabatique si nécessaire que la régulation de celui-ci.

3.1.3.3 AVANTAGES & INCONVÉNIENTS

Avantages	Inconvénients
<p>Meilleur rendement que le rafraîchisseur sur air extrait</p> <p>Encombrement limité</p> <p>Surcoût sur rafraîchisseur limité car inclus dans le remplacement de la CTA</p> <p>Pertes de charges prises en compte dans la nouvelle installation</p> <p>Pas de risque de légionelle</p>	<p>Remplacement de la CTA</p> <p>Expertise de maintenance</p> <p>Système peu performant dans les climats chauds et humides</p> <p>En cas de non régulation de la charge en minéraux, utilisation d'eau osmosée car les minéraux se déposent sur les parois et encrassent les échangeurs : surtout à l'achat (osmoseur) et à l'exploitation (entretien du système)</p>

3

2

LE RAFRAICHISSEMENT ADIABATIQUE DIRECT

Avec une technologie de rafraîchissement adiabatique direct, c'est l'air soufflé qui va subir la transformation adiabatique.

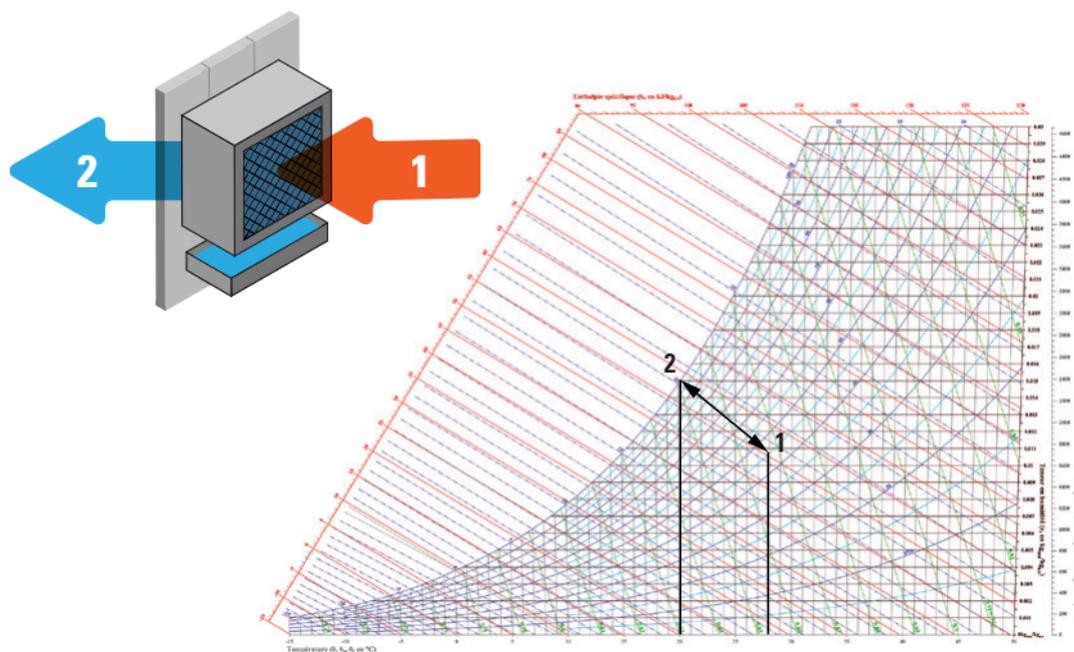


FIGURE 8 Rafraîchissement adiabatique direct et diagramme de l'air humide

3.2.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le rafraîchissement adiabatique direct va appliquer de façon immédiate le principe physique décrit ci-dessus : de l'air humidifié et rafraîchi est directement introduit dans l'ambiance. Etant donné qu'il n'y a pas d'échangeur, la performance en rafraîchissement de ce type de système est accrue : l'ambiance profite directement d'un air rafraîchi. Ce type de système va s'installer en toiture et souffler directement de l'air refroidi dans l'ambiance. C'est un produit

idéal pour assurer un confort dans des grands volumes, des espaces non ventilés ou de façon localisée dans des ateliers par exemple.

Ce type de technologie peut se présenter sous 2 formes :

- **En unité autonome**, produisant uniquement de l'air rafraîchi :

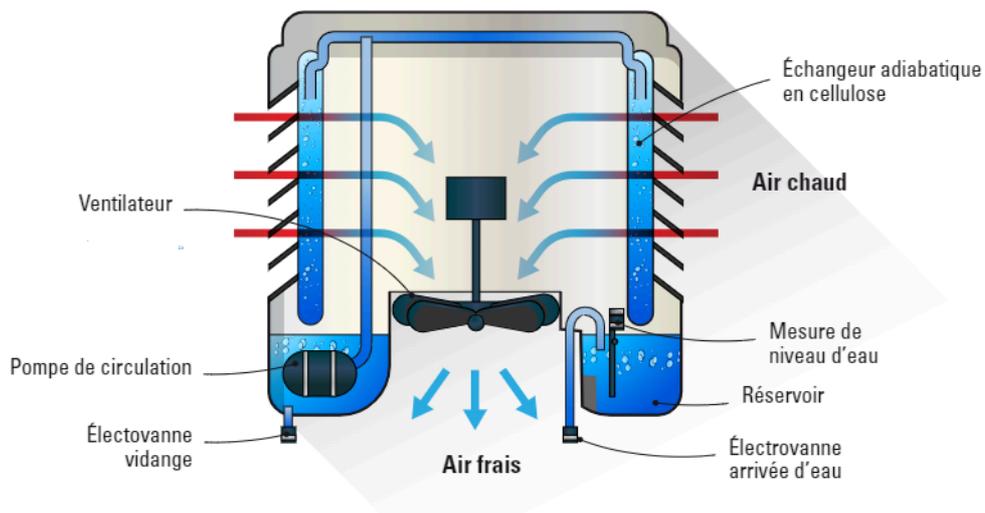


FIGURE 9 Rafraîchissement adiabatique direct en unité autonome

Source : industriel

- **En rooftop adiabatique**, proposant simultanément le chauffage, la ventilation et le rafraîchissement :

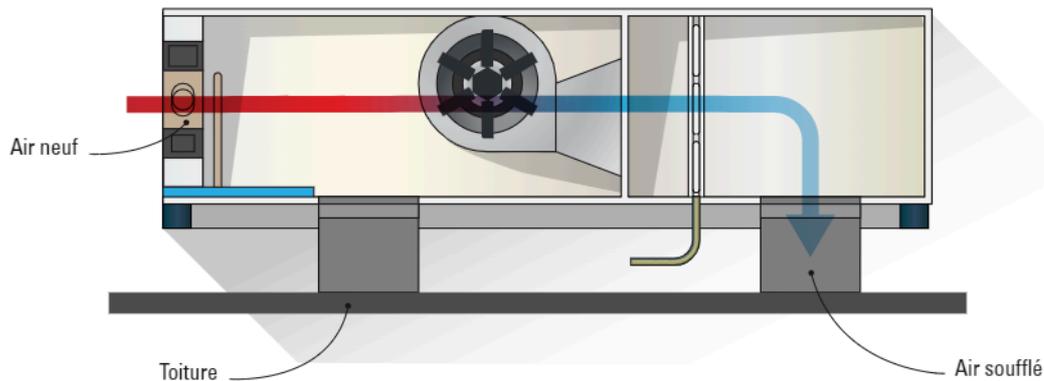


FIGURE 10 Rafraîchissement adiabatique direct en rooftop

Source : industriel

Intégré à une CTA, positionné après l'échangeur de chaleur. Cette configuration met en œuvre l'adiabatique uniquement au soufflage. L'air neuf est donc d'abord refroidi par

l'échangeur puis par le module adiabatique au soufflage. Cette solution permet d'avoir un poids d'eau moins important qu'avec le module sur l'air neuf.

3.2.2 RÉGULATION

La régulation se fait par une sonde de température extérieure. Celle-ci permet pour les formats d'adiabatique direct d'alterner entre le free-cooling et le rafraîchissement

adiabatique. Un système de temporisation ou de flotteur permet la gestion de la concentration en minéraux et de lancer, selon la dureté de l'eau, le cycle de vidange.

3.2.3 AVANTAGES & INCONVÉNIENTS

Avantages	Inconvénients
Solution simple	Humidité relative importante qui peut entraîner un inconfort si mal régulé
Maintenance facile	Régulation dépendant des conditions extérieures
Possibilité d'unités autonomes avec conservation de la ventilation existante ou de couplé avec la ventilation	Système peu performant dans les climats chauds et humides

3.2.4 RISQUES DE LÉGIONELLE

Les technologies de rafraîchissement adiabatique direct fonctionnent par l'humidification de l'air soufflé dans le bâtiment. La présence d'eau dans le processus soulève la question du risque éventuel de légionellose.

Le risque de prolifération suite à l'introduction du germe dans l'eau n'existe que si et seulement si les 3 conditions suivantes sont réunies simultanément :

- L'eau a stagné assez longtemps ;
- La température de l'eau est supérieure à 25°C ;
- L'eau est diffusée par aérosol.

Dans une majorité des systèmes à adiabatiques directs, il faut bien comprendre que l'eau n'est pas dispersée dans le flux d'air par des injecteurs, et ne produit donc pas de gouttelettes. L'utilisation de média humide et les vitesses d'air utilisées garantissent l'absence d'aérosols. En 2013, le Conseil Supérieur de Prévention des Risques Technologiques est arrivé à ces conclusions et a décidé d'exclure de la rubrique 2921 des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement les systèmes de rafraîchissement adiabatiques utilisant un média. Le risque légionelle ne peut donc pas être le seul critère de choix pour un système de rafraîchissement.

/// Attention : Il est possible de faire de l'adiabatique direct en brumisation. Dans ce cas-là, il y a risque de légionellose car l'eau est sous forme d'aérosol. Il est primordial de faire la distinction entre :

- Évaporation par ruissèlement sur média : pas de risque de légionellose
- Et brumisation : risque de légionellose. "

Il faut noter que, lorsque l'adiabatique est en fonctionnement, la température de l'eau est proche du point de rosée de l'air lui-même très rarement en dessus de 25°C. Le renouvellement permanent de l'eau empêche également toute prolifération.

Plusieurs précautions sont par ailleurs à prendre au moment du choix du système et de sa mise en œuvre pour s'assurer que l'installation ne présente aucun risque :

- Une vidange programmable doit être mise en place pour éviter la présence d'eau stagnante ;
- La température d'eau dans le bac peut être relevée afin de s'assurer qu'elle ne dépasse pas 25 °C ;
- Une formation pratique de l'exploitant ;
- Un plan d'entretien et de suivi adapté aux contraintes de l'installation.

3

3

LE RAFFRAÎCHISSEMENT DIRECT COUPLÉ

Pour l'ensemble des systèmes à rafraîchissement adiabatique indirect, il est possible d'ajouter en sortie de l'unité de rafraîchissement indirect une unité de rafraîchissement direct. L'air neuf est ainsi encore être chargé en eau au

travers d'un humidificateur. L'air neuf est donc soufflé à une température plus fraîche.

- Cas initial : Système adiabatique direct sur air extrait

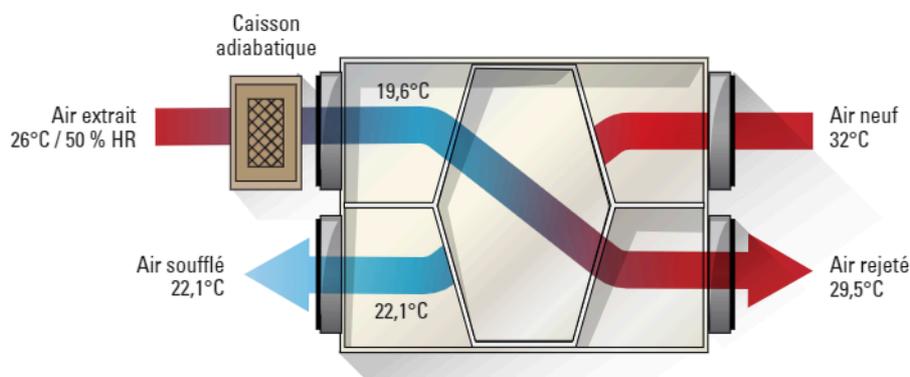


FIGURE 11 Rafraîchissement adiabatique indirect sur air extrait

Source : industriel

- Cas couplé : Ajout d'une unité adiabatique direct sur le soufflage après système adiabatique indirect sur air extrait

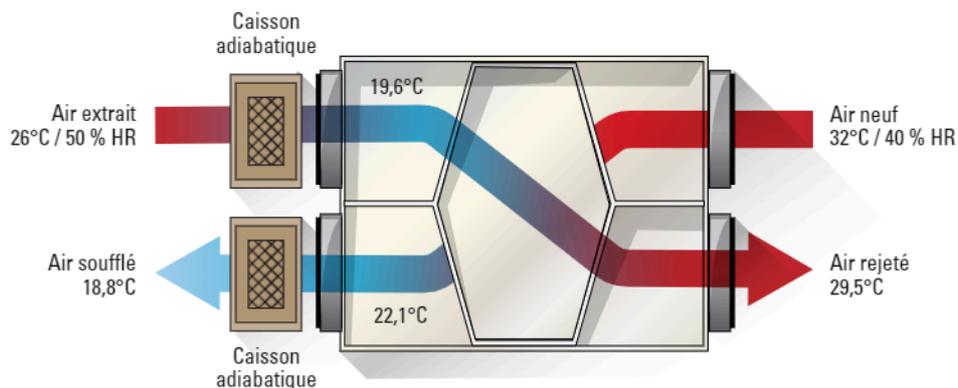


FIGURE 12 Rafraîchissement adiabatique indirect et direct

Source : industriel

Le bénéfice de l'adiabatique est donc double, du fait du couplage direct/indirect. Selon le dimensionnement du système et les conditions extérieures, il est possible de

souffler de l'air à une température inférieure à 20 °C dans l'ambiance.

3

4

LE REFROIDISSEMENT ADIABATIQUE

On parle bien ici de refroidissement, et non de rafraîchissement : les systèmes présentés dans ce chapitre permettent de suivre des consignes de températures sans

influence des conditions climatiques extérieures et intérieures.

3.4.1 LE REFROIDISSEMENT ADIABATIQUE PAR ROUE DESSICCANTE

Cette technologie est la plus complète : elle intègre le chauffage, le refroidissement et la ventilation.

3.4.1.1 PRINCIPE

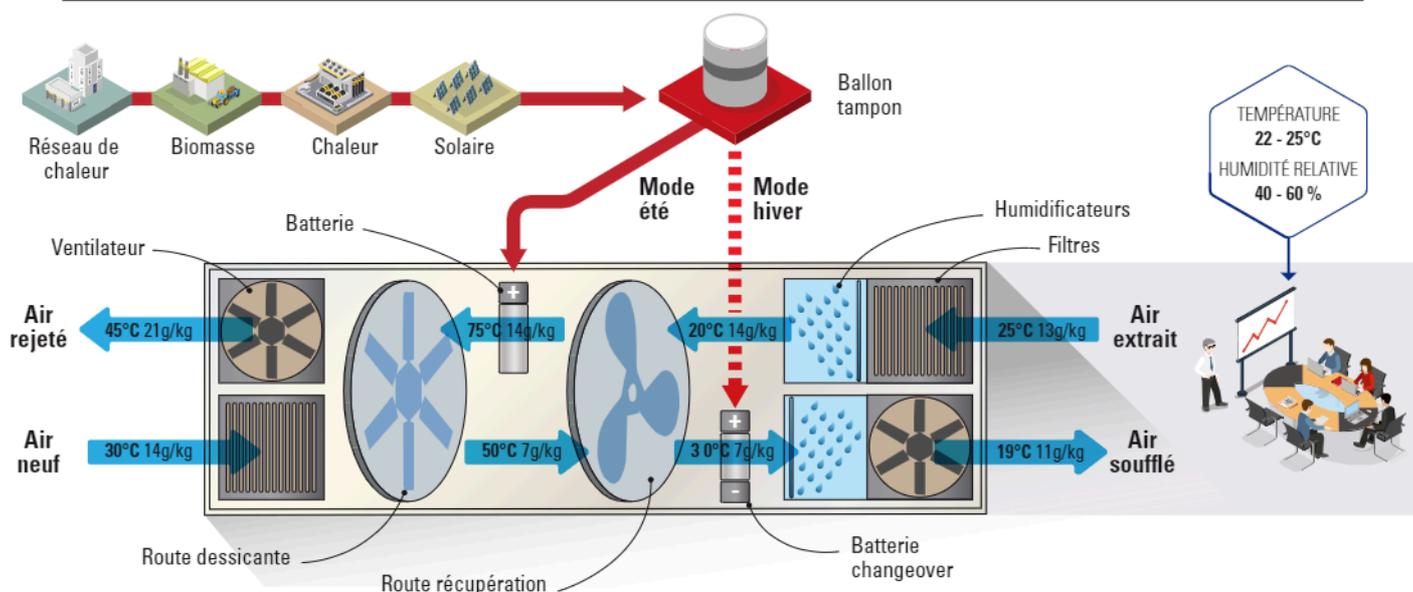


FIGURE 13 Refroidissement adiabatique par roue dessiccante avec systèmes de chauffe

Source : industriel

1. L'air extérieur est aspiré au travers d'un filtre, puis traverse la "roue dessiccante" ou "roue à dessiccation". Cet échangeur rotatif contient un produit de sorption solide. Ce dernier absorbe la vapeur d'eau de l'air extérieur par adsorption. L'air extérieur est ainsi déshumidifié et en contrepartie, voit sa température augmenter ;
2. L'air extérieur est alors refroidi par échange de chaleur avec l'air extrait. Cet échange se fait au travers d'un échangeur de chaleur rotatif ;
3. Pour augmenter l'échange de chaleur et donc le refroidissement de l'air pulsé, on rafraîchit au préalable l'air extrait en l'humidifiant jusqu'à saturation. On abaisse ainsi le plus possible sa température, et on bénéficie au maximum du potentiel de refroidissement dans l'échangeur ;
4. En passant au travers de l'échangeur de chaleur, l'air extrait se voit donc réchauffé ;
5. Pour pouvoir fonctionner en continu, la roue dessiccante doit être régénérée c'est-à-dire que l'humidité doit être évacuée du matériau adsorbant. Pour cela la portion de roue contenant l'humidité doit croiser le flux d'air extrait qui aura été préalablement réchauffé pour atteindre une température suffisante pour vaporiser les molécules d'eau retenues dans les pores de la roue ;
6. Enfin l'air extrait chaud traverse et régénère la roue dessiccante pour lui permettre de poursuivre le processus continu de déshumidification. Finalement, l'air rejeté, à l'aide d'un ventilateur, sort plus haut en température et plus chargé en humidité que l'air extérieur ;

3.4.1.2 RÉGULATION

Pour cette technologie, la régulation devient plus complexe car le nombre de « briques » technologiques différentes augmente. Un ensemble de sondes de température et

d'humidité viennent piloter le système, l'arrêter, augmenter les débits si l'ambiance devient trop humide en soufflage et faire la régulation de l'eau.

3.4.1.3 AVANTAGES & INCONVÉNIENTS

Avantages	Inconvénients
<p>Réversible : produit du chaud et du froid</p> <p>Intérêt environnemental fort si la source de chaleur utilisée est renouvelable : solaire thermique, réseau de chaleur</p> <p>Intérêt solaire thermique : amène le plus de froid lorsqu'il fait le plus chaud.</p> <p>Effet bactéricide des matériaux adsorbants</p> <p>Pas de risque de légionelle</p>	<p>Présence d'une source de chaleur renouvelable à proximité, utilisable en hiver et en été</p> <p>Complexité de l'installation = complexité de maintenance</p> <p>Coût d'investissement élevé</p>

SÉCURITÉ SANITAIRE



Dans le cadre du Covid-19, le syndicat Uniclîma recommande de vérifier l'étanchéité au niveau des échangeurs de chaleur rotatifs afin de fonctionner en tout air neuf et de s'assurer de l'absence de recirculation d'air. Si l'étanchéité ne peut pas être garantie, Uniclîma recommande d'arrêter le dispositif d'échange calorifique.

3.4.2 REFROIDISSEMENT ADIABATIQUE M-CYCLE

Cette technologie récente est particulièrement efficace. Elle est notamment utilisée pour le refroidissement de data-centers.

3.4.2.1 PRINCIPE

Cette technologie utilise aussi un échangeur, mais sans pour autant utiliser l'air extrait. Le processus est le suivant :

1. L'air extérieur chaud pénètre dans le système et rencontre d'abord des canalisations sèches ;
2. En fin de canalisations sèches, une partie de l'air extérieur est dérivée vers des canalisations humides. Dans celles-ci, l'air va devenir humide et se refroidir. Le pourcentage de l'air détourné dépend des appareils :
 - au minimum 20 % et jusqu'à 50 % pour les systèmes les moins efficaces ;
3. Les canalisations humides sont à contre-courant des canalisations sèches : un échange de chaleur se fait entre l'air extérieur chaud dans les canalisations sèches et l'air humidifié à contre-courant dans les canalisations humides ;
4. L'air humidifié et réchauffé est évacué vers l'extérieur ;
5. L'air extérieur rafraîchi est soufflé dans l'ambiance ;

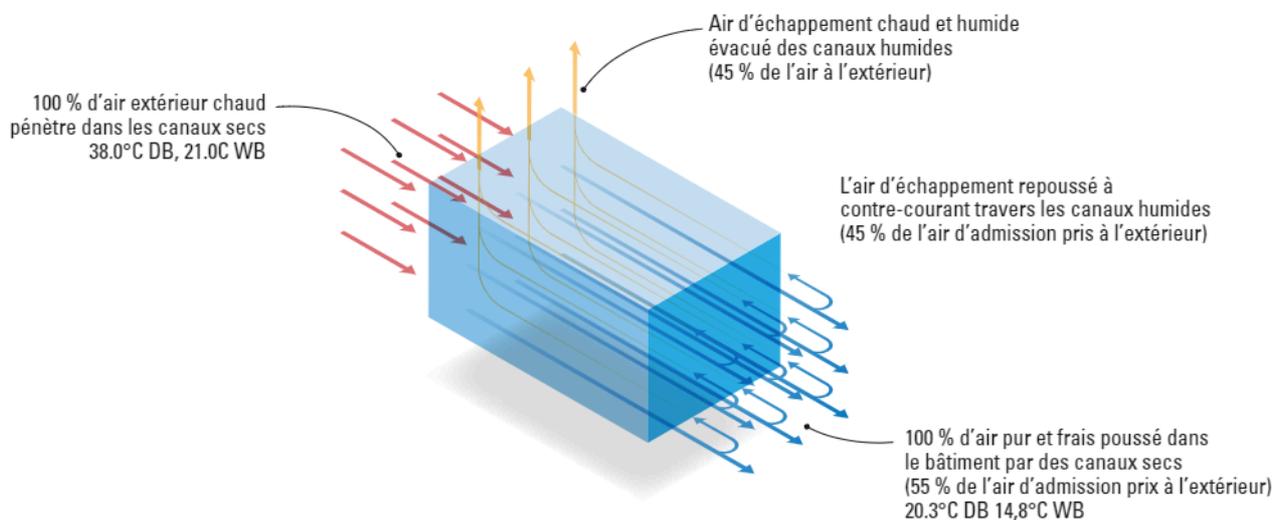


FIGURE 14 Rafraîchissement adiabatique par échangeur à contre-courant

Source : industriel

3.4.2.1 RÉGULATION

Le refroidissement peut être autonome, en pré-refroidissement en amont d'une unité de climatisation ou en amont d'une CTA. La gestion de l'eau est incluse dans la machine :

surveillance de la salinité de l'eau, vidange pendant périodes d'inactivités, etc.

3.4.2.2 AVANTAGES & INCONVÉNIENTS

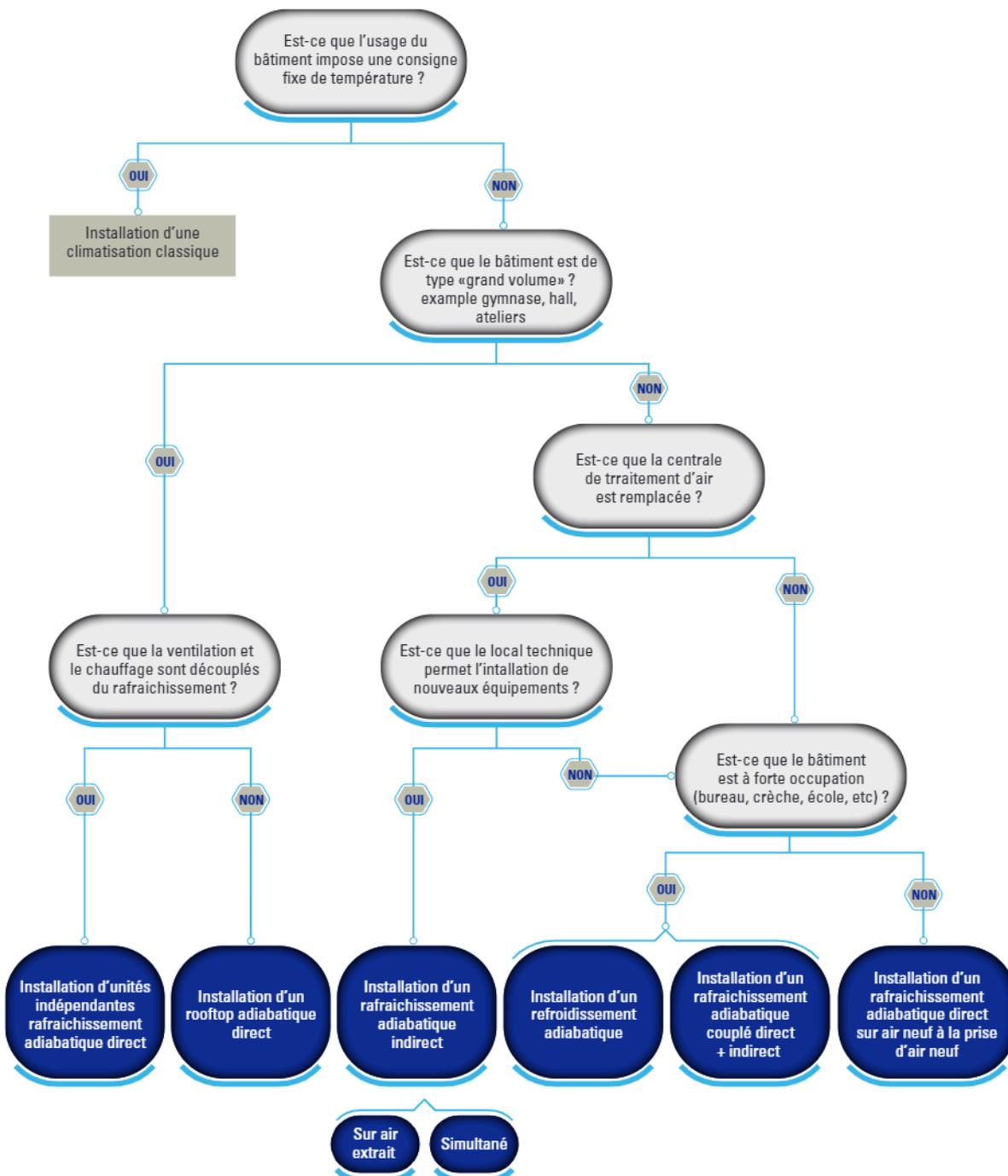
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Multiples possibilités de raccordements : autonome, sur le système de ventilation, en amont de la CTA. Attention aux pertes de charges supplémentaires selon les cas. Pas d'apports d'humidité Tout air neuf Pas de risque de légionelle 	<ul style="list-style-type: none"> Surcoût par rapport à des technologies plus classiques Système peu connu : difficulté de maintenance Pas de traitement d'air

3

5

SYNTHÈSE DES SYSTÈMES ADAPTÉS SELON LES USAGES

Selon le bâtiment et le type de rénovation prévue, il existe de multiples technologies adiabatiques. L'arbre de décision ci-dessous permet de guider le choix vers la solution la plus adaptée.



4

LES RÉGLEMENTATIONS & L'ADIABATIQUE

4

1

TEXTES APPLICABLES

Au regard de son implantation, ses fonctions et son fonctionnement, les systèmes de rafraîchissement adiabatique sont concernés par les textes suivants :

- Code de la Construction et de l'Habitat
- Code de l'Environnement (implantation, émissions sonores)
- Code de la Santé Publique (qualité d'air intérieur et qualité d'eau d'appoint)
- Code du Travail (ambiance thermique et acoustique)
- Code Général des Collectivités Territoriales
- RSDT (règles nationales et municipales d'hygiène)

Au sens de l'**arrêté ministériel du 14 décembre 2013 modifié**, les systèmes de rafraîchissement adiabatiques fonctionnant par dispersion d'eau dans un flux d'air sont considérés comme des **Installations Classées pour la Protection de l'Environnement « ICPE » au titre de la rubrique 2921**.

La rubrique 2921 intègre tous les systèmes de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air quelle

que soit la puissance à évacuer. Soumise à déclaration si inférieure 3 000 kW et à enregistrement si supérieure. Cette contrainte est considérée au regard des risques et diffusion des légionnelles dans l'air.

Cependant, le guide méthodologique intitulé « Pour la réalisation d'une analyse de risque de prolifération de légionnelles dans les installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air » réalisé par le Laboratoire Hydrologie Environnement précise que, « la contamination humaine est alors possible par inhalation de fines gouttelettes d'eau (<5 µm) contenant la bactérie. »

La **présence d'un média évite alors le risque de contamination** par inhalation. De plus, la note 04 avril 2007, décline un système appelé « TRILLIUM » de rafraîchissement adiabatique des rubriques 2921 sous certaines conditions de fonctionnement, si le risque d'aérosol est éliminé. Source : https://aida.ineris.fr/consultation_document/9533

Les systèmes de rafraîchissement adiabatique conçus pour éliminer le risque d'aérosol, par exemple, par la mise en place d'un média entre l'air et l'eau, ne sont pas considérés comme une installation classée. Sont donc concernés, les systèmes de rafraîchissement adiabatique directs et indirects **DISPOSANT D'UN MEDIA** entre l'air et l'eau.

Les systèmes de rafraîchissement adiabatique fonctionnant par dispersion d'eau dans un flux d'air sont considérés comme des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement au titre de la rubrique 2921. Sont donc concernés, les systèmes de rafraîchissement adiabatique directs et indirects **NE DISPOSANT PAS D'UN MEDIA** entre l'air et l'eau.

Réglementation encadrant les systèmes de rafraîchissement adiabatique – Les mots clés

RSDT Règles d'hygiène Moyens de filtration	Code de la construction et de l'habitat RT-Ex globale RT-Ex élément par élément
Code Général des Collectivités Territoriales Forage soumis à déclaration	Code de l'environnement Installations classées Nuisances sonores extérieures Qualité d'air extérieur Evacuations
Code de la santé publique Qualité d'air Qualité d'eau Nuisances sonores extérieures Confort acoustique Qualité d'air intérieur	Code du travail Confort thermique Confort acoustique Qualité d'air intérieur

4

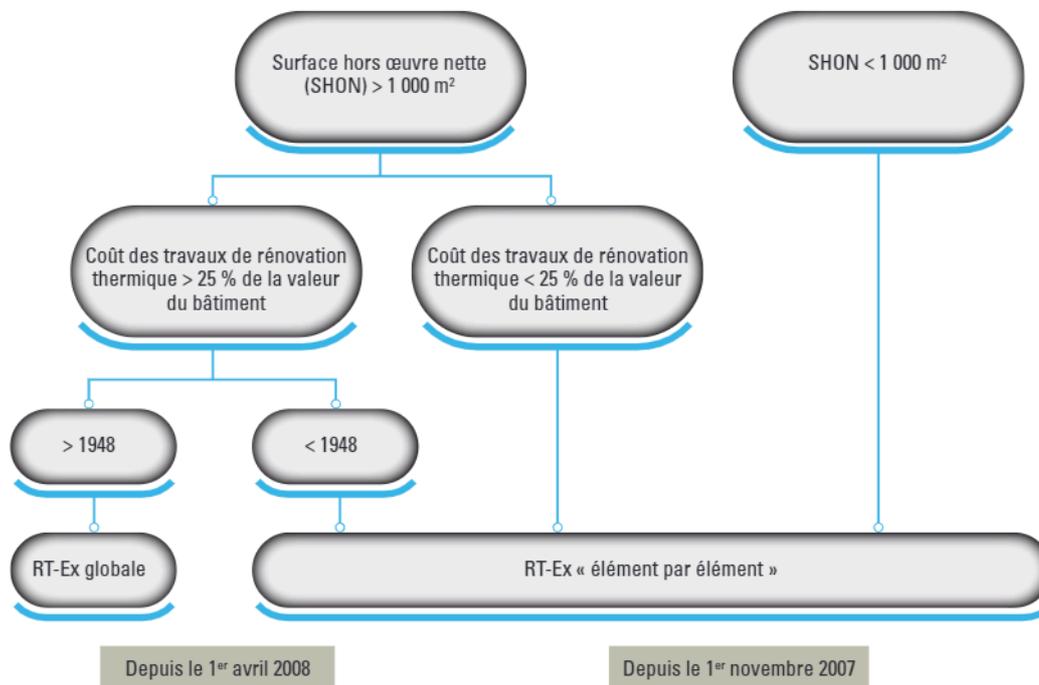
2

REGLEMENTATION THERMIQUE DANS L'EXISTANT

La réglementation thermique des bâtiments existants s'applique aux bâtiments résidentiels et tertiaires existants, à l'occasion de travaux de rénovation prévus par le maître d'ouvrage.

Elle repose sur **les articles L. 111-10 et R.131-25 à R.131-28-11 du Code de la construction et de l'habitation** ainsi que sur leurs arrêtés d'application.

L'objectif général de cette réglementation est d'assurer une amélioration significative de la performance énergétique d'un bâtiment existant lorsqu'un maître d'ouvrage entreprend des travaux susceptibles d'apporter une telle amélioration.



4.2.1 RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE « ÉLÉMENT / ÉLÉMENT »

1. Dans la majorité des cas, la réglementation thermique en vigueur pour la rénovation énergétique est celle dite « élément par élément ». Aucune exigence de résultats n'est demandée. Seule une exigence de moyens est nécessaire pour être conforme. Les valeurs à respecter sont précisées dans **l'arrêté du 3 mai 2007 modifié par l'arrêté du 22 mars 2017**.
2. L'article 30 de ce même arrêté précise que, lors de l'installation ou du remplacement d'un système de refroidissement dans un local, les baies non orientées au nord du local refroidi doivent être équipées de protections solaires s'il n'en existait pas préalablement. La protection doit conduire à un facteur solaire de la baie inférieur ou égale à 0,35 ou bien être de classe 2, 3 ou 4 au sens de la NF EN 14501. Les protections solaires extérieures mobiles sont réputées satisfaire à l'ensemble de ces exigences.
3. L'article 33 précise que, toute nouvelle installation de refroidissement comporte, par local desservi, un ou plusieurs dispositifs d'arrêt manuel et de régulation automatique de la fourniture de froid en fonction de la température intérieure. Toutefois, lorsque le froid est fourni par un système à débit d'air variable, ce dispositif peut être commun à des locaux d'une surface maximale de 100 m² sous réserve que la fourniture de froid est, d'une part, régulée au moins en fonction de la température de reprise d'air et la température extérieure et, d'autre part, est interdite en période de chauffage.
4. L'article 35 précise que, dans le cas de bâtiments ou de parties de bâtiments à usage autre que d'habitation et faisant l'objet d'une installation ou d'un remplacement d'un système de refroidissement pour une surface refroidie supérieure à 400 m², un ou des dispositifs doivent permettre de suivre les consommations de refroidissement et de mesurer la température intérieure d'au moins un local par partie de réseau de distribution de froid.
5. Concernant les équipements de rafraîchissement adiabatique, seuls les ventilateurs sont concernés par cette réglementation et doivent justifier d'une efficacité minimale selon la puissance absorbée. L'article 37 de ce même arrêté précise que, les auxiliaires de ventilation, d'une puissance électrique absorbée inférieure à 30 W, installés ou remplacés dans les locaux à usage autre que d'habitation devront présenter une consommation maximale par ventilateur de 0,3 Wh/m³, qui peut être portée à 0,45 Wh/m³ en présence de filtres F5 à F9. **La directive 2009/125/CE du Parlement européen et du Conseil précise que les unités de ventilation supérieure à 30 W sont tenues de respecter des exigences minimales de performance énergétique spécifiques aux UVR (résidentiel) et UNVR (non résidentiel).**
6. L'article 38 précise que, lors de l'installation ou du remplacement du dispositif de ventilation, la ventilation des locaux concernés ayant des occupations ou des usages nettement différents doit être assurée par des systèmes indépendants.
7. L'article 39 précise que, tout nouveau système de ventilation dispose d'une régulation en fonction des besoins, mesurés en fonction de paramètres d'occupation, ou d'une régulation sur horloge le cas échéant.
8. L'article 40 précise que, dans les bâtiments ou parties de bâtiments à usage autre que d'habitation, le dispositif de modification manuelle des débits d'air d'un local pour un nouveau système de ventilation est temporisé.

En bref, l'installation de rafraîchissement adiabatique doit être régulée, ne pas être commune à des locaux ayant des usages différents et chaque ventilateur devra respecter une efficacité minimale déterminée en fonction de la puissance absorbée et du niveau de filtration.

Lors de l'installation ou du remplacement d'un système de refroidissement dans un local, les baies non orientées au nord du local refroidi doivent être équipées de protections solaires.

En cas d'installation d'un système de refroidissement pour une surface refroidie supérieure à 400 m², un ou des dispositifs doivent permettre de suivre les consommations de refroidissement.

4.2.2 RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE « GLOBALE »

1. Lorsque la rénovation énergétique est dite « globale », elle est soumise au respect de **l'arrêté du 13 juin 2008**.
2. L'article 48 précise que, « Les travaux de rénovation doivent conserver un système de ventilation générale et permanente s'il en existait déjà préalablement aux travaux de rénovation. Dans le cas contraire, les travaux de rénovation doivent s'accompagner du maintien ou de la mise en place d'un système permettant d'assurer un renouvellement d'air minimum.
3. L'article 52 précise que, « dans le cas d'une zone à usage autre que d'habitation, les systèmes mécanisés spécifiques de ventilation doivent être munis de dispositifs permettant, en période de chauffage et de refroidissement, de limiter les débits aux valeurs minimales résultant des règlements d'hygiène pour les périodes où la zone est inoccupée. »

En bref, l'installation de rafraîchissement adiabatique doit être munis de dispositifs permettant de limiter les débits aux valeurs minimales en inoccupation. Seules les consommations énergétiques des ventilateurs sont comptabilisées dans le Cep projet. Les bénéfices de l'adiabatique sur le Cep si le bâtiment est climatisé ou sur la Tic ne sont pas valorisables, si ce n'est à travers une démarche de Titre V opération.

4

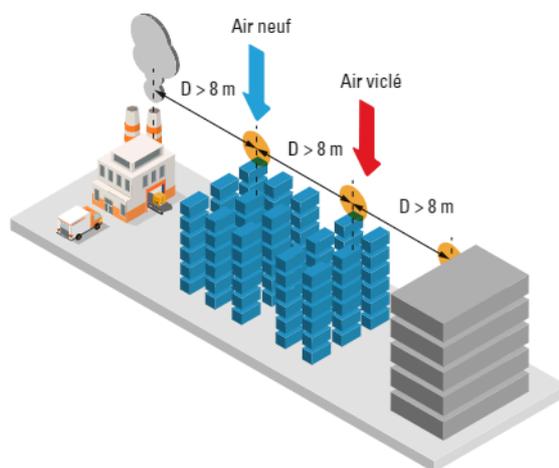
3

QUALITÉ DE L'AIR

4.3.1 PRISES D'AIR NEUF ET REJET

L'article 63 du RSDT précise que, la prise d'air neuf doit être placée à au moins 8 mètres de toute source éventuelle de pollution.

Ce même article précise que, l'air extrait d'air doit être rejeté à au moins 8 mètres de toute fenêtre ou toute prise d'air neuf sauf aménagement tel qu'une reprise d'air pollué ne soit pas possible.



4.3.2 FILTRATION ET TAILLES DE PARTICULES

La circulaire du 9 mai 1985, par application de l'article R. 4222-9 du code du travail précise que, la filtration de l'air recyclé provenant d'un local à pollution non spécifique sera considérée, comme satisfaisante si le système de filtration a une efficacité de plus de 50 % au test opacimétrique (équivalence F5).

L'article 65 du RSDT, précise que l'air neuf (éventuellement équipé d'un filtre grossier) doit être équipé d'un filtre dont le rendement au test gravimétrique défini par la norme NFX 44012 est d'au moins 90% (équivalence G4).

4.3.3 SEUIL LIMITE DE CO₂ ET COV

La circulaire du 9 mai 1985, par application de l'Article R. 4222-6 du code du travail précise que, la concentration maximale admissible de dioxyde de carbone est 1000 ppm.

Les articles R221 du code de l'environnement, précisent que les crèches, centres de loisirs et les écoles sont concernés par une surveillance obligatoire à renouveler tous les 7 ans. Les points de contrôle sont multiples dont l'indice de confinement du dioxyde de carbone « CO₂ », et la concentration de certains COV tels que le benzène, le

formaldéhyde et le tétrachloroéthylène. Les concentrations moyennes sont mesurées sur deux périodes distancées de 5 à 7 mois afin de caractériser la qualité de l'air avec et sans ouverture de fenêtres (été/hiver).

L'appareil utilisé doit fonctionner selon le principe de la spectrométrie d'absorption infrarouge non dispersif et mesurer sur une période minimale de 4,5 jours, correspondant aux jours ouvrés d'une semaine d'occupation.

Les valeurs à respecter sont précisées ci-après :

Substance	Valeur pour laquelle des investigations doivent être menées (+ information auprès du préfet du département du lieu d'implantation du bâtiment)
Formaldéhyde	Concentration > 100 µg/m ³
Benzène	Concentration > 10 µg/m ³
Dioxyde de carbone	Indice de confinement = 5
Tétrachloroéthylène	Concentration > 1250 µg/m ³

Il est précisé dans l'article 8 du décret du 5 janvier 2012, la méthode de calcul de l'indice de confinement. Si ces indicateurs sont supérieurs à ces valeurs, une expertise pour identifier la cause de pollution est engagée dans un délai de 2 mois.

En bref, lorsque les installations de rafraîchissement adiabatique assurent également le traitement de l'air, alors l'installation doit :

- Respecter les seuils limites de CO₂ dans les locaux concernés par le code du travail.

- Les établissements tels que les crèches, écoles et centres de loisirs doivent réaliser périodiquement une surveillance de la qualité d'air incluant également les substances COV.
- La filtration de l'air recyclé à un rendement supérieur à 50 % au test opacimétrique.
- La filtration de l'air neuf à un rendement supérieur à 90 % au test gravimétrique.

4.3.4 RISQUE DE DÉVELOPPEMENT BACTÉRIEN (NOTAMMENT LES LÉGIONELLES)

4.3.4.1 DOMAINE D'APPLICATION

Si la conception du système de rafraîchissement adiabatique ne génère pas d'aérosol ni d'entraînement de gouttelettes dans l'atmosphère, les risques liés à la diffusion de la bactérie sont considérés nuls.

Si l'installation ne permet pas d'éviter la dispersion de l'eau dans le flux d'air, elle est alors soumise à déclaration au

titre de la rubrique 2921 et devra respecter les exigences de l'arrêté ministériel du 14 décembre 2013 modifié. L'analyse suivante concerne uniquement les installations dont le risque de contamination par la bactérie est présent, soit les systèmes soumis à déclaration au titre de la rubrique 2921.

4.3.4.2 SEUIL LIMITE DE CONCENTRATION DES LEGIONELLA PNEUMOPHILA

L'arrêté ministériel du 14 décembre 2013 modifié précise que, la concentration des Legionella pneumophila dans

l'eau du circuit doit être maintenue à un niveau inférieur à 1 000 Unités Formant Colonies « UFC » par litre d'eau.

4.3.4.3 EXPLOITATION ET ENTRETIEN

L'annexe I, paragraphe 3.7 de l'arrêté du 14 décembre 2013 modifié précise qu'une Analyse Méthodique des Risques de prolifération et de dispersion des légionelles « AMR » est menée sur l'installation. Cette analyse consiste à identifier tous les facteurs de risques présents sur l'installation et les moyens à mettre en œuvre afin de limiter ces risques tant sur l'aspect conception qu'exploitation. Un plan d'entretien et de surveillance sont alors mis en place.

Les cas d'utilisation saisonnière et de fonctionnement intermittent, comme c'est le cas pour les systèmes à rafraîchissement adiabatiques, sont analysés dans l'AMR et font l'objet de procédures adaptées dans le plan d'entretien et de surveillance. Les modalités de gestion de la remise en service de l'installation pendant ces périodes doivent être établies par l'exploitant de manière à gérer

ce risque, qui dépend notamment de la durée de l'arrêt et du caractère immédiat ou prévisible, et de l'état de propreté de l'installation.

Une procédure d'arrêt immédiat de la dispersion par la ou les tours de l'installation dans son ensemble dans des conditions compatibles avec la sécurité du site et de l'outil de production sera également intégrée au plan de surveillance.

Il est précisé dans l'annexe II de ce même arrêté que, l'exploitant doit s'assurer que toute personne impliquée directement ou indirectement dans l'exploitation de l'installation, y compris le personnel d'une entreprise tierce susceptible d'intervenir sur l'installation, sont formées en vue d'appréhender selon leur fonction le risque de dispersion et de prolifération des légionelles, associé à l'installation.

En bref, les installations de rafraîchissement adiabatique qu'elles soient DIRECTES ou INDIRECTES sans dispersion d'eau dans un flux d'air ne présente pas de risque de diffusion des légionelles, car pas d'aérosol ni d'entraînement de gouttelettes.

Les installations de rafraîchissement adiabatique INDIRECT avec dispersion d'eau dans un flux d'air sont concernées par les risques d'infections bactériologiques selon la configuration de l'installation :

- Si l'installation est en tout air neuf, le risque est présent sur l'air rejeté vers l'extérieur.
- Si l'installation est équipée d'un caisson de mélange utilisant une partie l'air vicié pour le recyclage, le risque est présente sur l'air soufflé

Les installations de rafraîchissement adiabatique qu'elles soient DIRECTES ou INDIRECTES à dispersion d'eau dans un flux d'air sont concernées par les exigences spécifiées par l'arrêté du 14 décembre 2013 sur la prévention du risque légionellose, cependant la mise en place de précautions permet d'éviter le risque de contamination.

4

4

UTILISATION DE L'EAU D'APPOINT

L'eau d'appoint utilisée est par défaut l'eau provenant du réseau d'eau public. Cette consommation est un des inconvénients majeurs des systèmes adiabatiques. Ce

chapitre étudie alors la réglementation en ce qui concerne une source d'eau de substitution à l'eau de ville, telle l'eau de pluie et les eaux souterraines.

4.4.1 UTILISATION DE L'EAU DE PLUIE

La réglementation applicable concernant l'utilisation des eaux pluviales émane du code de la santé publique, finalisée par l'**arrêté du 21 août 2008**.

L'article 2, paragraphe V. précise que **les usages professionnels et industriels de l'eau de pluie sont autorisés**, à l'exception de ceux qui requièrent l'emploi d'eau destinée à la consommation humaine telle que définie à l'article R. 1321-1 du code de la santé publique.

Ce même article précise que, pour un usage à l'intérieur du bâtiment, l'eau de pluie ne peut provenir d'une toiture en amiante-ciment ou en plomb. La récupération de l'eau doit se faire en aval de toiture inaccessible.

L'article 3 de ce même arrêté précise que, les équipements de récupération de l'eau de pluie doivent être conçus et réalisés, conformément aux règles de l'art, de manière à **ne pas présenter de risques de contamination vis-à-vis des réseaux de distribution d'eau potable**.

Tout raccordement, qu'il soit temporaire ou permanent, du réseau d'eau de pluie **avec le réseau de distribution d'eau destinée à la consommation humaine est interdit**.

4.4.2 UTILISATION DE L'EAU DE FORAGE

4.4.2.1 DÉMARCHES ADMINISTRATIVES

Les **prélèvements en eau** sont soumis soit à déclaration, soit à **autorisation en fonction des volumes prélevés sur la ressource**.

L'**article R 214-5 du code de l'environnement** précise que, lorsque le volume d'eau souterrain prélevé est inférieur à 1000 m³/an, les prélèvements sont destinés à un usage domestique pour assurer les besoins d'une personne physique ou morale.

L'**article R 2224-22 du code général des collectivités territoriales** précise alors que, les prélèvements destinés à un usage domestique sont soumis à déclaration auprès de la mairie de la commune concernée et doit respecter les exigences locales

Ce même paragraphe précise également les spécificités que doivent respecter les **réservoirs de stockage**.

L'article 3, paragraphe III, précise les **dispositifs de filtration** à mettre en place en amont de la cuve afin de limiter la formation de dépôts à l'intérieur. La **nature des matériaux** qui constituent les canalisations d'eau de pluie ainsi que l'emplacement du **pictogramme** d'avertissement d'une eau « non potable » sur les canalisations y sont précisés.

L'article 4 précise que, le propriétaire, personne physique ou morale, d'une installation distribuant de l'eau de pluie à l'intérieur de bâtiments est **soumis aux obligations d'entretien régulier**.

L'**avis du 5 septembre 2006 du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France** précise que le niveau de pollution des eaux de pluie collectées à partir de voiries ou d'autres surfaces non spécifiquement protégées n'est pas compatible et que son avis ne porte que sur **l'utilisation des eaux de pluie collectées en aval de toitures**.

L'**article R 214-5 du code de l'environnement** précise que, si le volume total prélevé est compris entre 10 000 et 200 000 m³/an, l'installation est soumise à déclaration sous la rubrique 1.1.2.0. Si le volume est supérieur à 200 000 m³/an, l'installation est soumise à autorisation sous cette même rubrique.

Ce même article précise que, lorsque le débit de prélèvement est inférieur à 8 m³/h, l'installation est soumise à déclaration sous la rubrique 1.3.1.0.

4.4.2 SUIVI DE LA QUALITÉ DE L'EAU

Dans le cas où, l'installation de rafraîchissement adiabatique n'est pas concernée par les « ICPE », un laboratoire agréé peut réaliser une analyse de l'eau prélevée. Une demande de dérogation aux ARS est réalisée pour l'utilisation de l'eau de forage en vue d'une utilisation pour le rafraîchissement adiabatique.

Dans le cas où, l'installation de rafraîchissement adiabatique est concernée par les « ICPE », la qualité d'eau appoint utilisée doit répondre aux exigences de **l'arrêté du 14 décembre 2013 modifié**. Il y est précisé les critères microbiologiques et matières en suspension que doit avoir l'eau d'appoint puisée dans une nappe, avec :

- Legionella pneumophila < seuil de quantification de la technique normalisée utilisée
- Matières en suspension < 10 mg/l

La qualité de l'eau d'appoint fait l'objet d'une surveillance au minimum annuelle.

4.4.3 QUALITÉ DE L'EAU D'APPOINT

L'article 2 de l'arrêté du 11 janvier 2007 précise que, la température de l'Eau Destinée à la Consommation Humaine (EDCH) doit être en permanence inférieure à 25°C (hors départements d'outre-mer).

L'arrêté du 25 juin 2020 précise la nature des matériaux pouvant être en contact avec l'eau d'eau destinée à la consommation humaine afin de ne pas altérer la qualité de l'eau.

Une attention particulière doit être apportée si une dégradation de la qualité d'eau est constatée due à la présence de canalisations en plomb (matériaux utilisés avant-guerre pour l'eau froide).

En bref, l'installation de rafraîchissement adiabatique est alimentée par une eau destinée à la consommation hu-

main, respectant les exigences de l'arrêté du 11 janvier 2007. Il est également possible sous certaines conditions d'utiliser une eau de substitution, telle que :

1. L'eau pluviale en respectant l'interconnexion avec le réseau d'eau potable, les spécificités des réservoirs tampon, les moyens de filtration, les matériaux à utiliser ainsi que les signalements.

2. L'eau issue de nappes phréatiques en respectant :
- Soit le contrôle périodique de la qualité de l'eau, les dispositifs de comptage ainsi que les interconnexions avec le réseau d'eau potable lorsque le système de rafraîchissement adiabatique est classé « ICPE ».
- Soit après dérogation des ARS au regard de la qualité d'eau pour les installations non classées ICPE.

En cas de dérives d'au moins l'un de ces indicateurs, des actions correctives sont mises en place, et une nouvelle analyse en confirme l'efficacité, dans un délai d'un mois. Au cours de l'année qui suit, la mesure de ces deux paramètres est réalisée deux fois, dont une en période estivale. Les installations de prélèvement d'eau sont munies d'un dispositif de mesure totalisateur. Ce dispositif est relevé de manière hebdomadaire si le débit prélevé est susceptible de dépasser 100 m³/j et mensuellement si ce débit est inférieur.

Ces résultats sont portés sur le carnet de suivi de l'installation.

En cas de raccordement sur un réseau public ou sur un forage en nappe, l'ouvrage est équipé d'un dispositif évitant en toute circonstance le retour d'eau sur le réseau d'eau potable.

4

5

IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

4.5.1 INTÉGRATION DANS LE PAYSAGE

L'article 7 de l'arrêté du 14 décembre 2013 modifié précise que, l'exploitant doit prendre les dispositions appropriées qui permettent d'intégrer l'installation dans le paysage. Avec des abords de l'installation aménagés et maintenus

en bon état de propreté ainsi qu'une attention particulière sur les équipements de rejet et leur périphérie. Une demande auprès du service de l'urbanisme doit être réalisée si l'installation peut entraver les règles définies localement.

4.5.2 EVACUATION DES CONDENSATS ET DES EAUX DE VIDANGE

L'article 31 de l'arrêté du 14 décembre 2013 modifié précise que, les eaux issues des opérations de vidange, de purge ou toute autre opération liée au fonctionnement du système de refroidissement sont rejetées via le réseau d'eaux usées du site. Il est donc interdit de rejeter les eaux résiduaires de l'installation dans le réseau d'eaux pluviales.

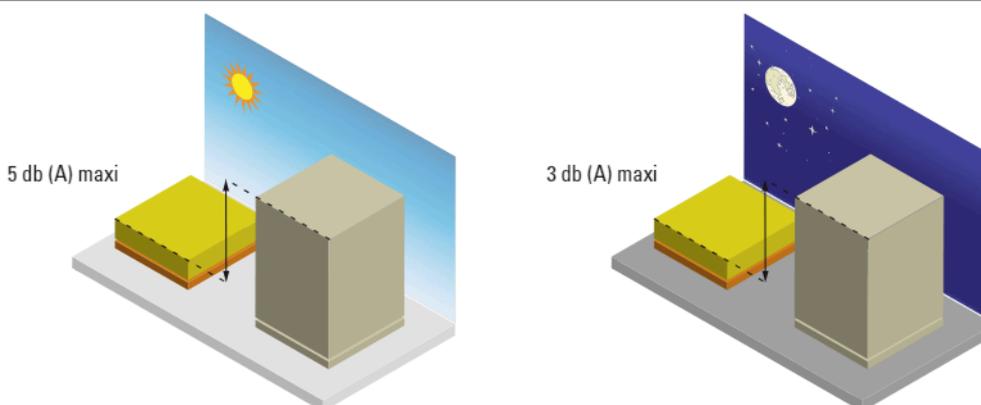
L'eau chargée en minéraux issue des vidanges des systèmes peuvent être revalorisées pour un usage nécessitant une eau non destinée à la consommation humaine, excluant donc les WC. Une dérogation des ARS pourrait permettre la valorisation de cette eau pour cet usage.

4.5.3 VALEURS LIMITES DE BRUIT SUR L'ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR

L'article R 1336-7 du code de la santé publique précise que, les valeurs limites de l'émergence globale dans un lieu donné est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant comportant le bruit particulier en cause, et le niveau du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant

à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement habituel des équipements.

Les émergences tolérées sont de 5 décibels pondérés A en période diurne et de 3 décibels pondérés A en période nocturne, valeurs auxquelles s'ajoute un terme correctif en décibels pondérés A, fonction de la durée cumulée d'apparition du bruit particulier.



Les corrections en décibels pondérés A à apporter en fonction de la durée d'apparition sont représentée ci-après :

Durée cumulée d'apparition du bruit généré par l'équipement : T	Terme correctif [dB(A)]
T ≤ 1 minute	6
1 minute < T ≤ 5 minutes	5
5 minutes < T ≤ 20 minutes	4
20 minutes < T ≤ 2 heures	3
2 heures < T ≤ 4 heures	2
4 heures < T ≤ 8 heures	1
T > 8 heures	0

Toutefois, l'émergence globale et, le cas échéant, l'émergence spectrale ne sont recherchées que lorsque le niveau de bruit ambiant mesuré, comportant le bruit par-

ticulier, est supérieur à 30 dB (A) dans les cas autres que locaux d'habitation.

En bref, l'installation de rafraîchissement adiabatique peut s'installer à l'extérieur mais doit respecter les règles par le plan local d'urbanisme.

Les vidanges sont collectées et évacuées par le réseau d'eaux usées.

La revalorisation des vidanges par les sanitaires « WC » sur dérogations des ARS.

Une émergence globale liée à l'équipement est tolérée en période diurne de 5 dB(A) par rapport au bruit ambiant hors fonctionnement du système.

4

6

CONFORT DES UTILISATEURS & HYGROMÉTRIE

4.6.1 VALEURS LIMITES DE BRUIT SUR L'ENVIRONNEMENT INTÉRIEUR

La circulaire du 9 mai 1985 par application à l'article R. 4222-6 du code du travail précise que, les niveaux sonores acceptables des installations de ventilation dépendent des activités exercées. En règle générale, le fon-

ctionnement des installations de ventilation ne devrait pas majorer les niveaux moyens d'ambiance de plus de 2 dBA, à moins que le niveau sonore engendré par ces installations ne dépasse 50 dBA.

4.6.2 TEMPÉRATURE ET HYGROMÉTRIE

L'article R. 241-30 du Code de l'Energie précise qu'un système de refroidissement ne doit être mis en fonctionnement que lorsque la température des locaux dépasse 26 °C.

L'article R. 241-31 précise que, l'exigence décrite ci-avant ne s'appliquent pas aux bâtiments qui, en raison de contraintes liées à leur usage, doivent garantir des conditions particulières de température, d'hygrométrie ou de qualité de l'air.

L'article R. 4212-2 du Code du travail précise que, les installations de ventilation ne doivent pas provoquer, dans les zones de travail, de gêne résultant notamment de la vitesse, de la température et de l'humidité de l'air, des bruits et des vibrations. Il y est précisé dans la norme NF EN 15 251 d'août 2007 « Critère d'ambiance intérieure

pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments », les valeurs acceptables.

L'humidité n'a que peu d'effet sur la sensation thermique et sur la perception de la qualité de l'air dans les locaux à occupation sédentaire, toutefois des humidités intérieures durablement élevées peuvent être la cause de proliférations microbiennes, et une humidité très basse, < 20 % peut entraîner le dessèchement et l'irritation des yeux et des voies respiratoires.

Pour certains types particuliers de bâtiments (musées, monuments historiques, églises) des exigences complémentaires à l'humidité doivent être satisfaites.

Le paragraphe B.3 de cette norme précise qu'il est recommandé de limiter l'humidité absolue à 12 g/kg_{as}. Cette valeur borne l'humidité relative maximale à 58 % pour une ambiance à 26 °C.

EN BREF,



l'installation de rafraîchissement adiabatique lorsque le refroidissement est assuré par une centrale d'air, ne doivent pas majorer la nuisance sonore à l'intérieur des locaux de 2 dBA.

Le refroidissement est autorisé lorsque la température ambiante dépasse les 26 °C.

Il est recommandé, de maintenir une humidité relative comprise entre 40 et 58 %.

5

EFFICACITÉ DE L'ADIABATIQUE

Afin de consolider le positionnement de la solution adiabatique, ce chapitre cherche à démontrer l'efficacité des rafraîchisseurs adiabatiques selon deux méthodes :

- Par des résultats d'instrumentation ;
- Par la simulation.

La réalisation de simulations permet par ailleurs d'envisager sur un même bâtiment tertiaire en rénovation des systèmes plus classiques, de type groupe froid. Grâce à

ces simulations complémentaires, il est possible de mieux envisager les deux systèmes adiabatiques et groupes froid avec leurs avantages et inconvénients respectifs. Il est cependant nécessaire d'établir un critère standard de comparaison entre systèmes de refroidissement classiques et systèmes adiabatiques. Il est donc proposé par la suite un indicateur se basant sur le contenu Carbone de chaque solution envisagée.

5

1

RÉSULTATS D'INSTRUMENTATION

5.1.1 RAFRAICHISSEMENT INDIRECT (RAI)

Les systèmes adiabatiques indirects associés à une CTA sont les plus communément installés. L'instrumentation présentée ici met en œuvre ce type de technologie. Elle est réalisée sur un bâtiment à usage de crèche en zone H1c.

L'instrumentation est faite sur une centrale de traitement d'air intégrant un module adiabatique indirect ainsi que 2 pompes à chaleur au soufflage et au rejet, selon le schéma ci-dessous.

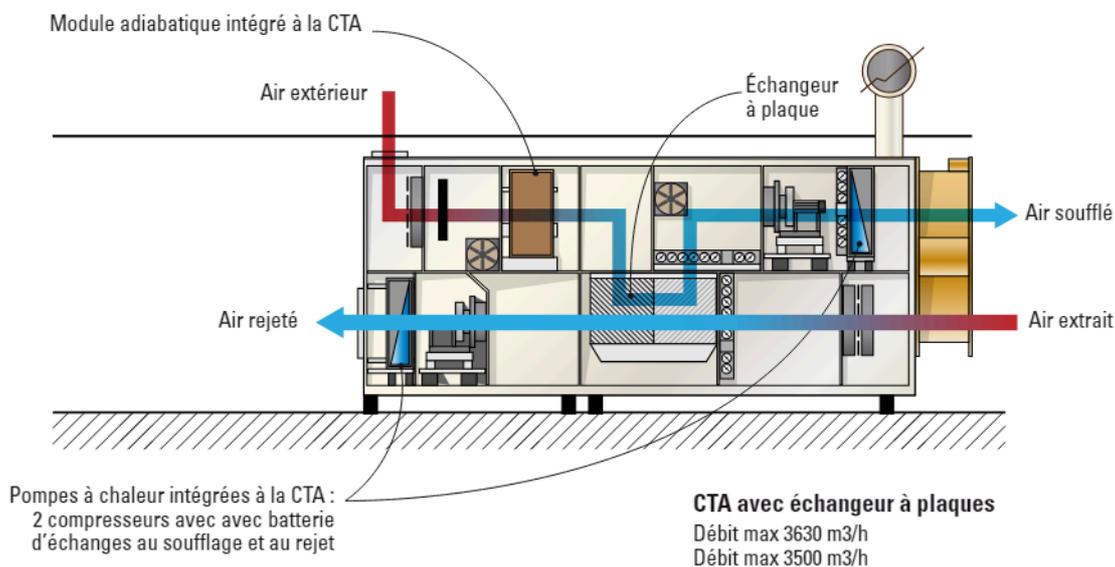
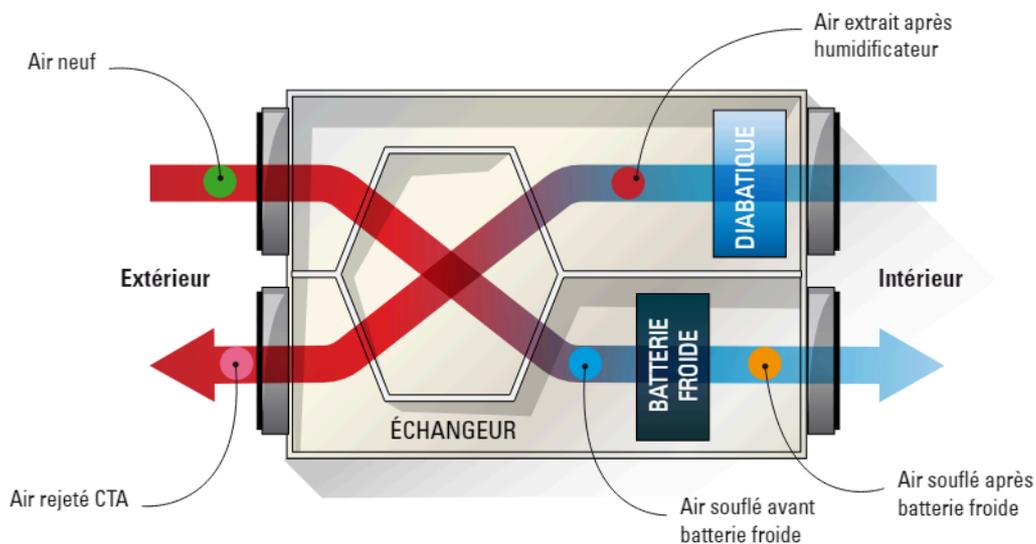


FIGURE 15 Schéma du système mis en place dans la crèche

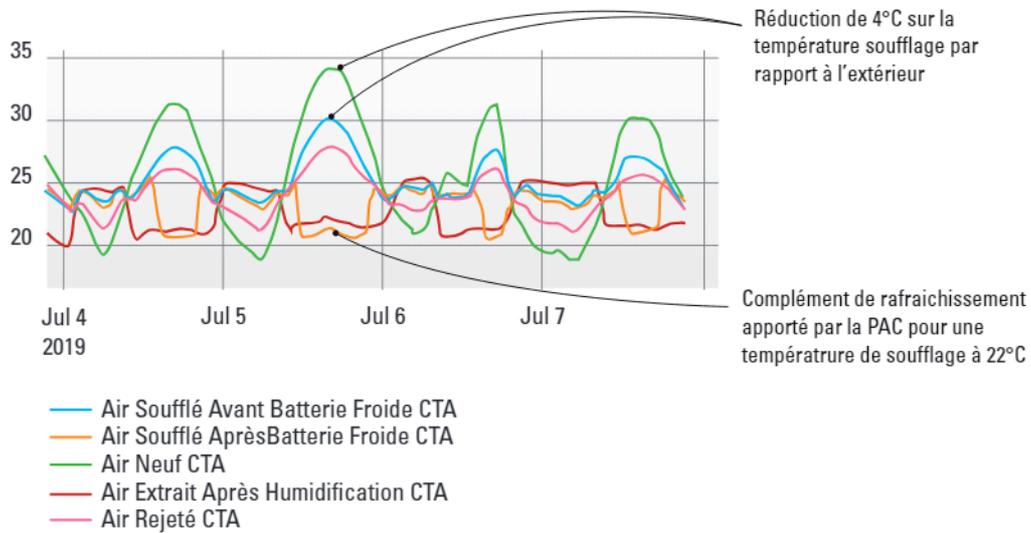
Source : GRDF

L'instrumentation faite sur la CTA est réalisée sur un certain nombre de points : les températures d'air dans chaque local de la crèche ainsi que les 5 points dans la CTA décrits sur le schéma ci-dessous.

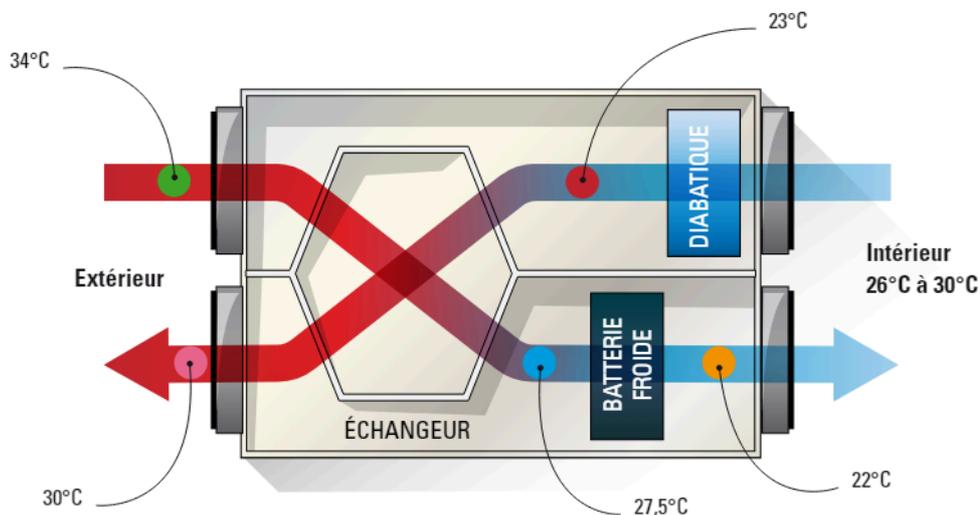


Sur une période estivale standard de début juillet, l'instrumentation donne le graphique suivant sur la CTA. Le code couleur utilisé dans le graphique est le même que sur le schéma au-dessus.

Performance échangeur (températures)



Au pic de la journée, vers 16 h, les températures intérieures et extérieures sont à leur maximum respectif quotidien. Les températures suivantes sont mesurées sur la CTA. Le couplage Unité adiabatique + Échangeur permet de réduire la température 4 °C, soit un tiers de la consigne de 22 °C demandé en rafraîchissement lors de fortes chaleurs.



Un bilan de consommation est fait sur l'ensemble du mois de juillet et est présenté dans le tableau ci-dessous. Sur ce mois-là, les 2/3 du rafraîchissement ont été réalisés par le couplage adiabatique + échangeur.

	Module adiabatique	PAC
Energie froid	2 644 kWh	1 377 kWh
Energie élec	15 kWh	645 kWh

Le retour d'expérience sur cette opération est disponible en fiche Etude de cas.

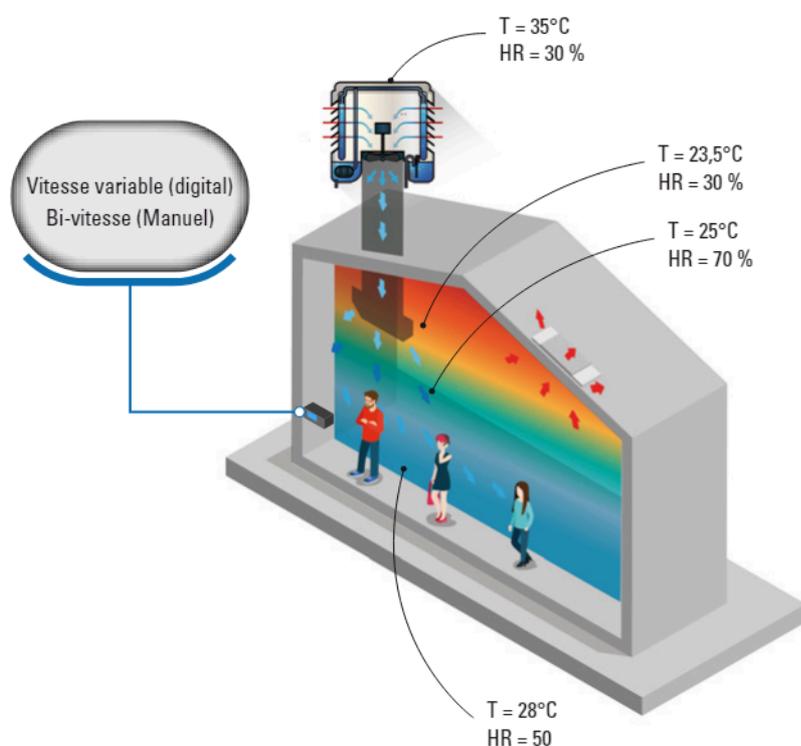
5.1.2 RAFRAICHISSEMENT DIRECT (RAD)

En période estivale, les locaux de grands volumes sont compliqués à rafraîchir. Les apports solaires qui viennent de la toiture ou des façades, combinés aux apports calorifiques qui viennent du public et de l'activité, sont difficiles à combattre avec efficacité. En raison de l'important besoin en air neuf, la climatisation traditionnelle est coûteuse et mal adaptée. Le rafraîchissement adiabatique direct est donc une réponse adaptée à ce type de bâtiment.

L'opération présentée ici est réalisée sur un grand volume à usage sportif, où le confort intérieur est un point bloquant de l'utilisation du local sur la période estivale. Le bâtiment est situé en zone H2b. Le système est composé de plu-

sieurs rafraîchisseurs adiabatiques directs positionnés en toiture ainsi qu'un système de diffusion en gaine textile longue portée.

Grâce au système adiabatique direct, l'introduction de cet air frais dans l'espace du bâtiment permet, par une légère surpression et l'ouverture (en partie haute de préférence) d'ouvrants de façade ou de toiture, de chasser les calories qui sont à l'origine de l'inconfort. Globalement, la température intérieure est de l'ordre de 28 °C quand elle culmine à 35 °C à l'extérieur, dans un bâtiment à structure métallique à très faible inertie.



Le détail de ce retour d'expérience est disponible en fiche Etude de cas.

5

2

SIMULATIONS ET CONSOMMATIONS

5.2.1 MÉTHODE DE COMPARAISON

Afin de comparer le rafraîchissement adiabatique indirect aux pompes à chaleur, autre technologie de refroidissement et de rafraîchissement, il n'est pas possible de raisonner uniquement sur la consommation d'électricité. En effet, pour les deux types de rafraîchissement, des composants annexes sont à prendre en compte pour considérer

le poids énergétique global des systèmes, comme la quantité de fluide frigorigène et la consommation en eau.

Pour prendre en compte ces éléments, une méthode proposée est de rapporter l'ensemble des données disponibles en kg de CO₂ équivalent. Le tableau ci-dessous donne la correspondance entre les composants et leur poids Carbone.

Technologie	Composant	Equivalent Carbone	
Adiabatique	Electricité	Poids Carbone de l'électricité pour le refroidissement dans la base Inies	0,066 kgCO2eq/kWh
	Eau	Poids Carbone d'1m ³ d'eau potable du robinet dans la base Inies	0,235 kgCO2eq/m ³
Autre technologie de refroidissement	Electricité	Poids Carbone de l'électricité pour le refroidissement dans la base Inies	0,066 kgCO2eq/kWh
	Fluide frigorigène	Poids Carbone de du fluide frigorigène utilisé dans la base Inies	2130 kgCO2eq/kg pour le R410a

5.2.2 MODÈLES DE SIMULATIONS EXISTANTS

5.2.2.1 MÉTHODE TH-BCDE

Le rafraîchissement adiabatique a été intégré dans la RT2012 et la RE2020 dans le cadre de l'indicateur Dies (Durée d'Inconfort Estival Statistique). Cette intégration concerne uniquement le calcul de la Dies : il n'y a pas de consommation

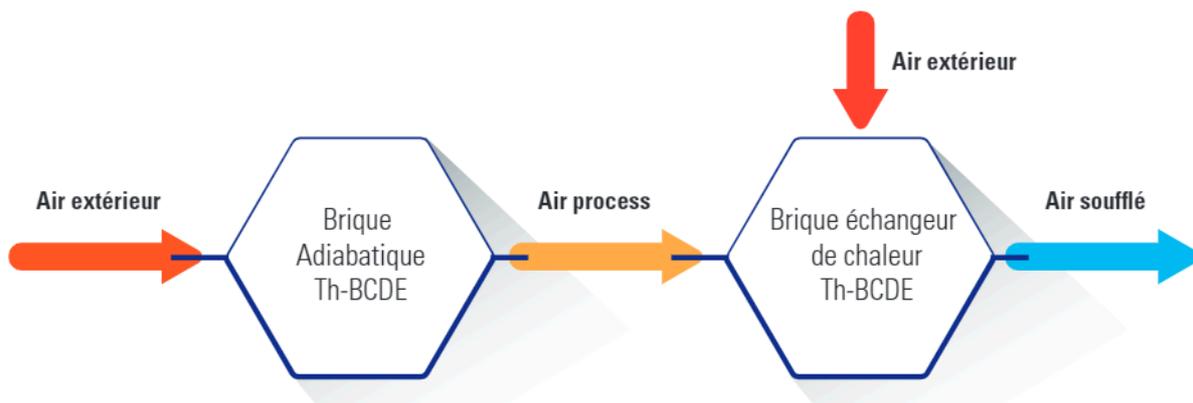
électrique supplémentaire, ni de calcul de la consommation d'eau.

La brique « Adiabatique » est commune au rafraîchissement direct et indirect, et s'intègre selon 2 façons :

- En adiabatique direct :



- En adiabatique indirect :



La brique « Adiabatique » est décrite par le logigramme en Annexe 1. La méthode Th-BCDE n'inclut pas de calcul de la consommation d'eau.

5.2.2.2 MÉTHODE ENERGY+

La méthode proposée par Energy+ est plus complète que la méthode Th-BCDE, mais son implémentation est cependant plus compliquée à maîtriser.

Elle prend en compte la consommation d'eau du système ainsi que le rendement de saturation de l'air en eau selon

la surface et l'épaisseur du média. La méthode propose aussi une gestion précise du planning de disponibilité. Plusieurs modèles sont proposés :

Dénomination	Description	Schéma
Direct DelDekPad	<p>Rafraîchissement adiabatique direct classique</p> <p>L'eau est pompée du réservoir vers le haut du média. Selon la surface et l'épaisseur du média, l'air est saturé en eau. Il est possible de réguler le système via un planning de disponibilité.</p>	
Direct Research Special	<p>Rafraîchissement adiabatique direct classique, avec options supplémentaires</p> <p>Même principe qu'au-dessus, avec plus de possibilités : Fraction des pertes d'eau dans l'air Gestion de la déconcentration en minéraux</p>	
Indirect CelDekPad	<p>Rafraîchissement adiabatique indirect sur échangeur</p> <p>L'air secondaire, représenté par la flèche verte, traverse un média humide puis l'échangeur de chaleur. L'air primaire, représenté par la flèche jaune, est refroidi par l'air secondaire dans l'échangeur.</p> <p>Le modèle intègre le pompage de l'eau vers le média et la consommation du ventilateur pour l'air secondaire. Selon la surface et l'épaisseur du média, l'air secondaire est saturé en eau.</p>	
Batterie humide indirecte	<p>Rafraîchissement adiabatique indirect simultané</p> <p>Modélise simultanément l'échange de chaleur air neuf / air extrait et le rafraîchissement adiabatique.</p> <p>L'air secondaire, représenté par la flèche verte, entre dans l'échangeur de chaleur et est rafraîchi par vaporisation. L'air primaire, représenté par la flèche jaune, est refroidi par l'air secondaire dans l'échangeur et par l'eau sur les tuyaux.</p> <p>Le modèle calcule le processus par étage, avec un rendement associé, à partir de l'efficacité de l'échangeur de chaleur. Le modèle prend en compte la consommation d'eau et d'électricité pour le pompage et le ventilateur secondaire. La déconcentration des minéraux est aussi intégrée.</p>	
Indirect spécial recherche	<p>Rafraîchissement adiabatique indirect avec options supplémentaires</p> <p>Similaires aux 2 modèles précédents, ce modèle donne davantage de flexibilité de modélisation.</p>	

5.2.3 CADRES DES SIMULATIONS

Des simulations thermiques dynamiques sont réalisées sur le logiciel Pléiades-Comfie en utilisant la méthode Th-BCDE, afin de valider théoriquement l'efficacité de l'adiabatique direct et indirect. Les simulations sont faites sur des bâtiments rénovés de type :

- Bureaux, climatisés en base adiabatique indirect ;

- Gymnase, en adiabatique direct ;

- Enseignement primaire, en adiabatique direct.

Sur chaque cas, 3 zones climatiques sont simulées : H1c, H2c et H3. Une augmentation des débits de 10 % et de 20 % sont aussi simulés par zone climatique.

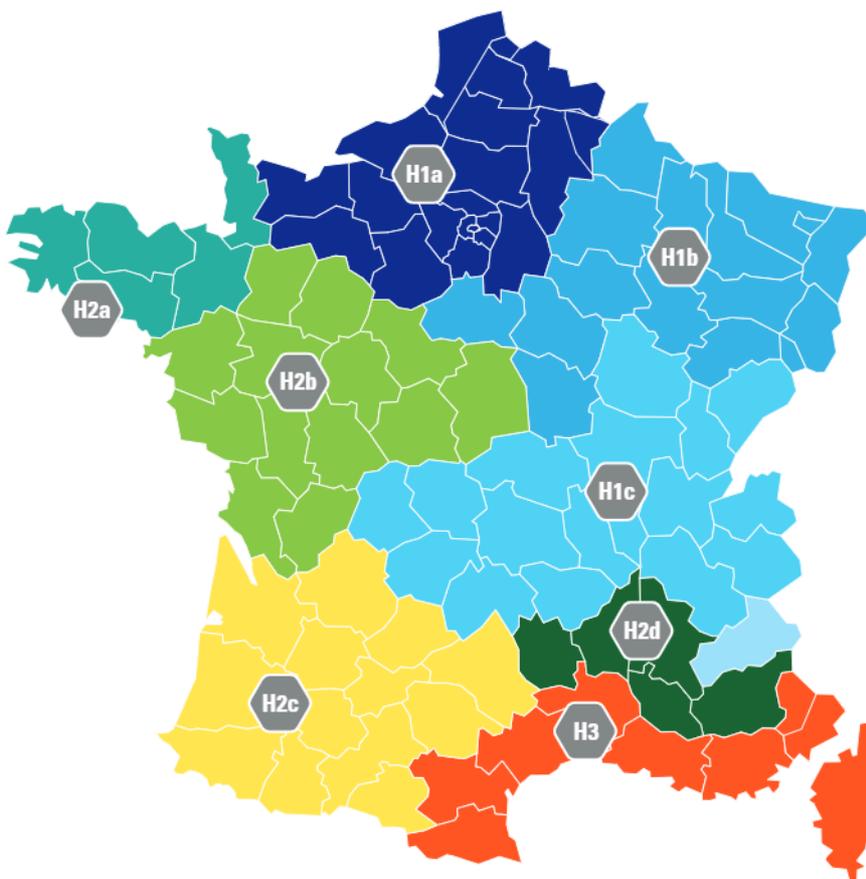


FIGURE 16 Zones climatiques au ses des réglementations énergétiques

Source : rt-bâtiment.fr

5.2.4 USAGE BUREAUX

Le bâtiment simulé a les caractéristiques suivantes.

Visuel du projet	
SDP (m ²)	4 896 m ²
Surface utile (m ²)	4 168 m ²

Il est orienté Nord-Sud, sans masques lointains.

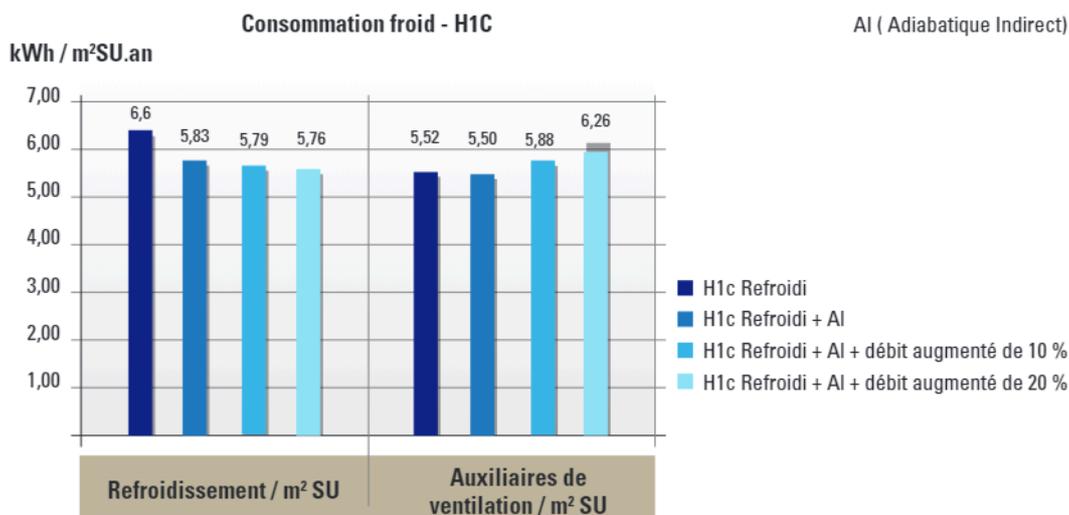
Le choix de simuler uniquement un système adiabatique indirect (AI) est guidé par la concordance avec la réalité du système. Dans un bâtiment climatisé, il est très rare d'installer un système adiabatique direct, car l'hygrométrie va alors augmenter, faisant ainsi augmenter la puissance en froid latent du local, et ainsi les besoins en froid.

Etant donné que le bâtiment est climatisé, l'indicateur utilisé afin de déterminer l'intérêt d'un système adiabatique est les consommations de froid du bâtiment.

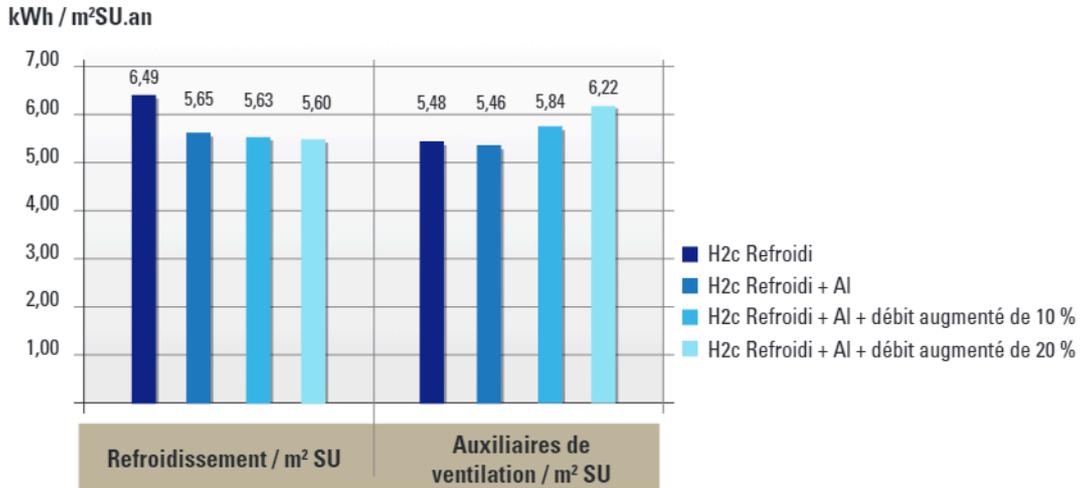
L'unité adiabatique indirecte est saisie dans la CTA, selon les paramètres suivants :

- Efficacité : 0,8
- Température de base : 23 °C – le système se lance selon une rampe de 1 °C quand la température intérieure dépasse 23 °C.

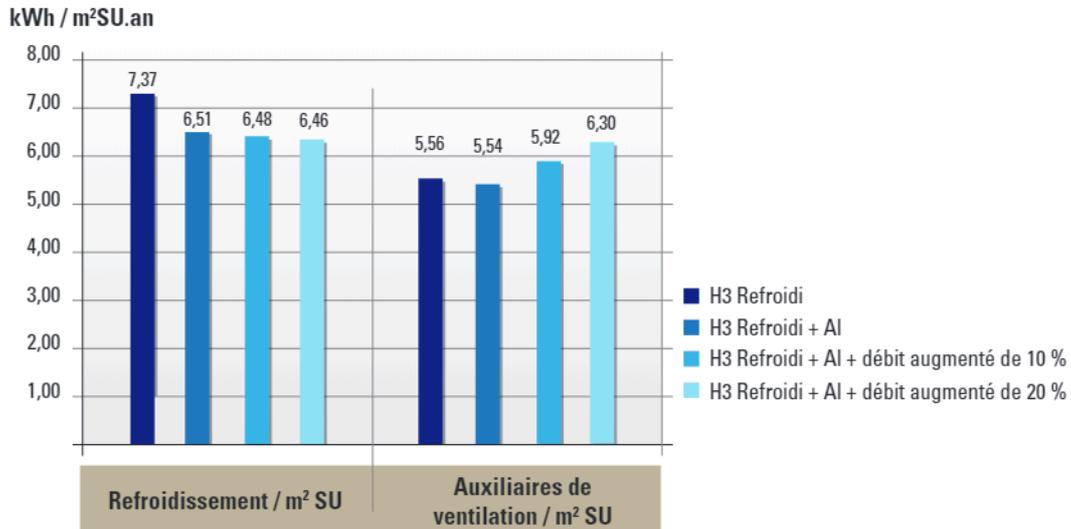
Les graphiques suivants illustrent les résultats obtenus. Sur l'ensemble des zones climatiques simulées, l'ajout d'adiabatique indirect puis l'augmentation progressive des débits permet **une réduction des consommations de froid de l'ordre de 12 % à 13 %**.



Consommation froid - H2C



Consommation froid - H3



La consommation totale du bâtiment est donc impactée par les différentes évolutions des systèmes. La consommation totale prend en compte le chauffage, le refroidissement, l'eau chaude sanitaire, l'éclairage, les auxiliaires de ventilation et de distribution ainsi que les consommations liées à l'usage spécifique du bâtiment (matériel informatique notamment).

L'ajout d'une unité adiabatique indirect permet une **réduction de la consommation totale du bâtiment sur l'ensemble des zones de l'ordre de 1,6 %**. L'ajout progressif de

ventilation supplémentaire par la suite permet de réduire encore les consommations de froid, mais pas suffisamment pour compenser l'augmentation des consommations de ventilations. Ce phénomène mène donc à une réduction plus faible des consommations totales du bâtiment et essouffle à terme l'intérêt de gain énergétique d'une solution adiabatique indirecte. **L'augmentation des débits de ventilation associés à une unité adiabatique indirecte n'est donc pas source d'économie d'énergie.**

UNE AUTRE APPROCHE DE L'ADIABATIQUE



Une nuance peut être apportée à cette conclusion. Comme montré par les simulations, la réduction des coûts d'exploitation n'est pas significative. Néanmoins, sans système adiabatique, l'air neuf introduit dans le bâtiment sera à une température supérieure à la température intérieure, cela même avec une CTA avec un bon rendement. De plus, si le système fonctionne en période d'inoccupation, il sera possible de profiter de l'inertie du bâtiment. De façon générale, l'adiabatique est à appréhender comme un moyen de réduire les apports externes par la ventilation. En effet, l'air neuf qui ne sera pas rafraîchi par l'adiabatique devra l'être par les unités de refroidissement standards.

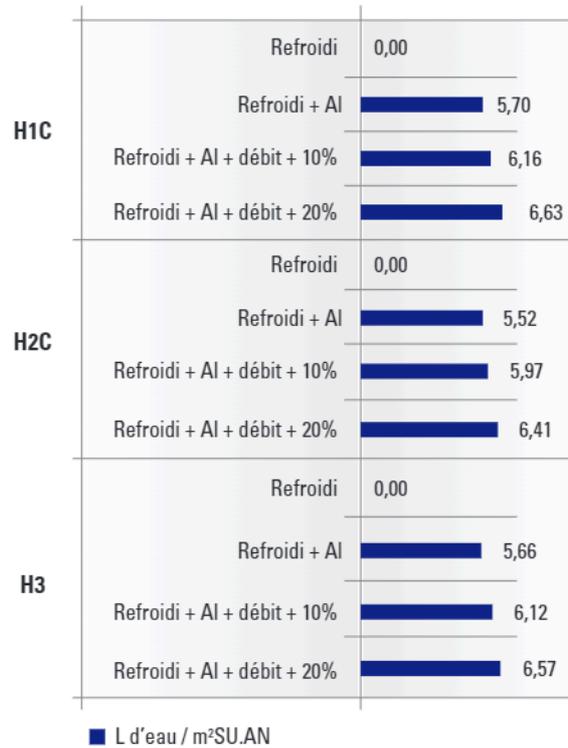
Situation	H1c			
	Refroidi	Refroidi + AI	Refroidi + AI + Débit + 10 %	Refroidi + AI + Débit + 20 %
Total (kWh/m ² SU.an)	51,78	50,9	51,32	51,64
Ecart / Climatisé		- 1,7 %	- 0,9 %	- 0,3 %

Situation	H2c			
	Refroidi	Refroidi + AI	Refroidi + AI + Débit + 10 %	Refroidi + AI + Débit + 20 %
Total (kWh/m ² SU.an)	50,91	50,11	50,42	50,73
Ecart / Climatisé		- 1,6 %	- 1,0 %	- 0,3 %

Situation	H3			
	Refroidi	Refroidi + AI	Refroidi + AI + Débit + 10 %	Refroidi + AI + Débit + 20 %
Total (kWh/m ² SU.an)	53,01	52,14	52,37	52,71
Ecart / Climatisé		- 1,6 %	- 1,2 %	- 0,6 %

Le graphique suivant donne la quantité d'eau nécessaire au bon fonctionnement de l'unité adiabatique indirecte. A titre de comparaison, pour un appartement T3 occupé par 3 personnes et une surface habitable de 60 m², la consommation d'eau est de 912,5 litres/m².shab.an

Consommation d'eau



Le graphique suivant donne le contenu Carbone sur les variantes simulées en usage Bureaux, selon l'indicateur présenté au paragraphe 5.1.1. La mise en œuvre d'adiabatique indirect mène donc à une réduction légère du contenu Carbone du poste

Contenu carbone



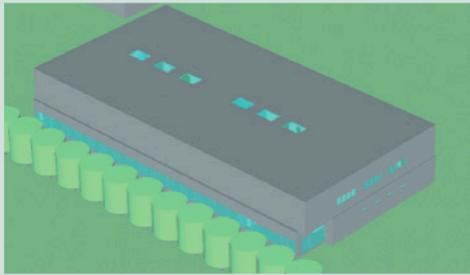
Cette faible réduction est dû à la conservation des pompes à chaleur réversibles. En effet, sur ce projet, il est recherché la conservation à l'intérieur des locaux d'une température maîtrisée : il s'agit ici de refroidissement et non de rafraîchissement.

La conservation des pompes à chaleur implique donc la continuité du poids lourd des fluides frigorigènes dans le contenu Carbone. Le gain Carbone s'observe donc unique-

ment sur la réduction de la consommation d'énergie, qui a un poids relativement faible.

5.2.5 USAGE GYMNASÉ

Le bâtiment simulé a les caractéristiques suivantes.

Visuel du projet	
SDP (m²)	2 872 m²
Surface utile (m²)	2 726 m²

Il est orienté Nord-Sud, sans masques lointains.

Le choix de simuler uniquement un système adiabatique direct est guidé par la concordance avec la réalité du système. Dans un bâtiment non climatisé et de type grand volume en structure légère, les apports solaires combinés aux apports calorifiques qui viennent du public et de l'activité sont difficiles à combattre. Par ailleurs, le besoin en air neuf est important. L'hygrométrie du local n'étant pas une contrainte, le rafraîchissement adiabatique direct est donc une réponse adaptée à ce type de bâtiment.

Etant donné que le bâtiment n'est pas climatisé, l'indicateur utilisé afin de déterminer l'intérêt d'un système adiabatique

est le nombre d'heures où la température opérative dépasse 28 °C dans le local.

L'unité adiabatique directe (AD) est saisie dans la CTA, selon les paramètres suivants :

- Efficacité : 0,8
- Température de base : 23 °C – le système se lance selon une rampe de 1 °C quand la température extérieure dépasse 23 °C.

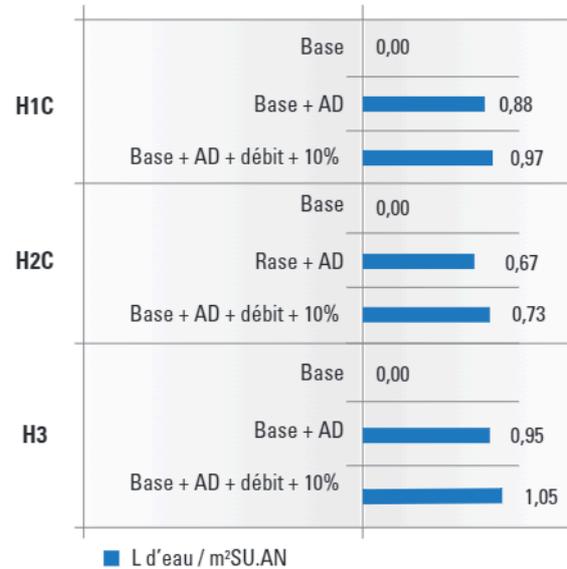
Le tableau ci-dessous donnent les nombres d'heures où la température dépasse 28 °C dans le local Aire de jeux selon la zone climatique et les différentes configurations techniques.

Aire de jeux	H1c			H2c			H3		
	Base	Base + AD	Base + AD + Débit + 10 %	Base	Base + AD	Base + AD + Débit + 10 %	Base	Base + AD	Base + AD + Débit + 10 %
Nombre d'heures où la température opérative > 28 °C	198 h	166 h	164 h	154 h	132 h	125 h	214 h	185 h	181 h
Conso ventilation (kWh/m²SU.an)	2,99	2,99	3,20	2,99	2,99	3,20	2,99	2,99	3,20
Ecart / base du nb d'heures où la température opérative > 28 °C		- 16,2 %	- 17,2 %		- 14,3 %	- 18,8 %		- 13,6 %	- 15,4 %

L'ajout d'une unité adiabatique direct sur la CTA permet une **réduction du temps où la température est supérieure à 28 °C dans le bâtiment de l'ordre de 14 % à 16 %**. L'ajout de débit de supplémentaire permet de réduire d'avantage ce nombre d'heures d'inconfort thermique, mais au prix d'une augmentation des consommations de ventilation de l'ordre de 7 %.

Le graphique suivant donne la quantité d'eau nécessaire au fonctionnement de l'unité adiabatique au cours d'une année. A titre de comparaison, pour un appartement T3 occupé par 3 personnes et une surface habitable de 60 m², la consommations d'eau est de 912.5 litres/m².shab.an

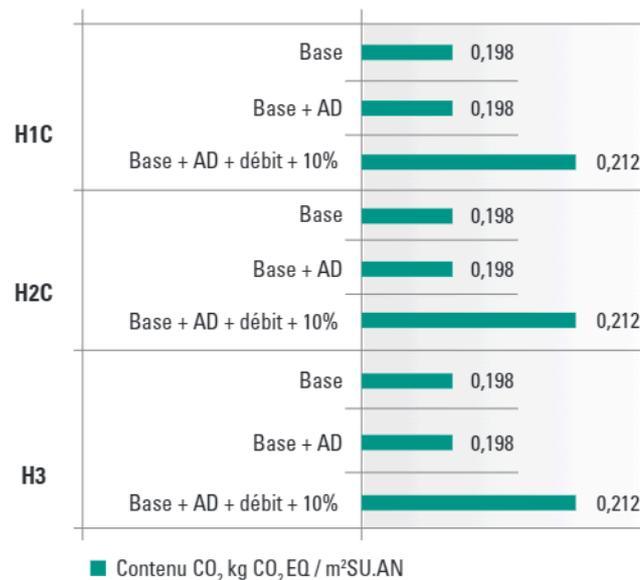
Consommation d'eau



Le graphique suivant donne pour chaque variante simulée en usage Gymnase le contenu CO₂ équivalent. La mise en œuvre d'adiabatique direct a aucun impact sur le contenu

Carbone, du fait combiné de la faible quantité d'eau utilisée et de son poids Carbone faible.

Contenu carbone

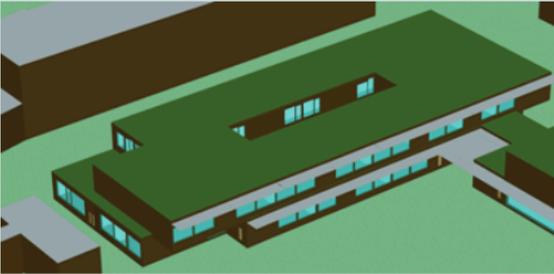


Pour l'usage Gymnase, l'objectif est le confort. Le système adiabatique direct a pour but le rafraîchissement uniquement, sans contrainte de température. La mise en œuvre d'un système de refroidissement permet de palier à un éventuel inconfort, mais à un prix environnemental très élevé. En effet, un système de type pompe à chaleur a

un impact très fort sur le contenu CO₂ de la solution, dû à l'utilisation de fluides frigorigènes. Etant donné l'usage du bâtiment et l'objectif de rafraîchissement simple de confort, une pompe à chaleur n'est pas pertinente par rapports aux avantages proposé par un système adiabatique direct.

5.2.6 USAGE ENSEIGNEMENT

Le bâtiment simulé a les caractéristiques suivantes.

Visuel du projet		
SDP (m ²)		2 184 m ²
Surface utile (m ²)		2 080 m ²

Il est orienté Nord Ouest – Sud Est, sans masques lointains forts.

Le choix de simuler uniquement un système adiabatique direct vient de la limitation du moteur de calcul Th-BC-DE. En effet, dans le cas d'un bâtiment d'enseignement, à forte occupation, la meilleure solution consiste à mettre en œuvre un système adiabatique couplé direct et indirect avec une régulation de l'hygrométrie intérieure. Néanmoins, le moteur de calcul ne permet ni le couplage, ni la régulation hygrométrique.

Etant donné que le bâtiment n'est pas climatisé, l'indicateur utilisé afin de déterminer l'intérêt d'un système adiabatique est le nombre d'heures où la température opérative dépasse 28 °C dans un local.

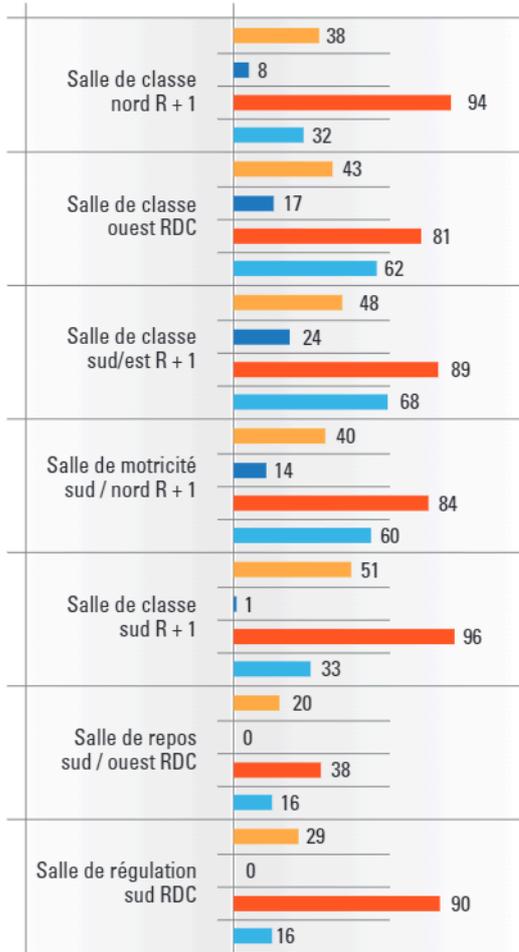
L'unité adiabatique directe (AD) est saisie dans la CTA, selon les paramètres suivants :

- Efficacité : 0,8
- Température de base : 23 °C – le système se lance selon une rampe de 1 °C quand la température extérieure dépasse 23 °C.

Afin de valider ce type de système dans le cas enseignement, 2 climats sont simulés dans chaque zone : un climat standard et un climat caniculaire.

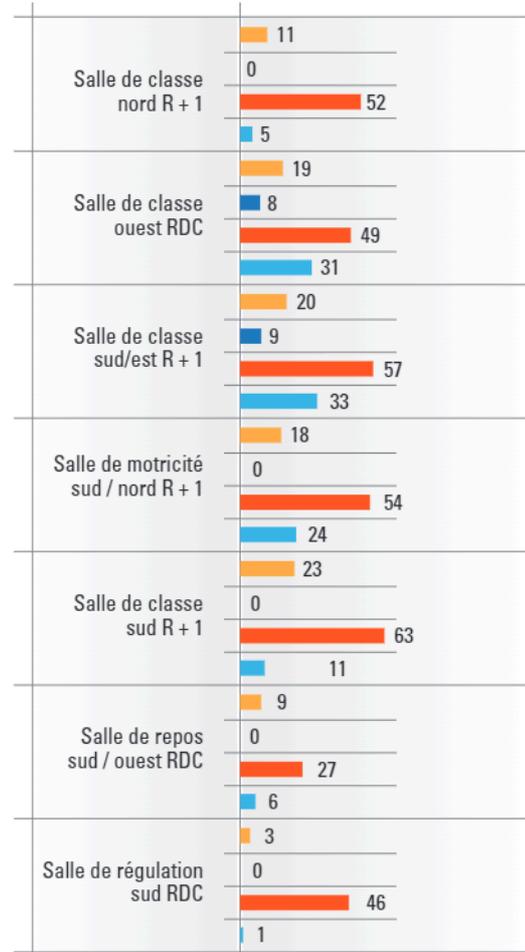
Les graphiques ci-dessous donnent les nombres d'heures où la température dépasse 28 °C dans les différents locaux.

Nombre d'heures d'inconfort - Zone H1C



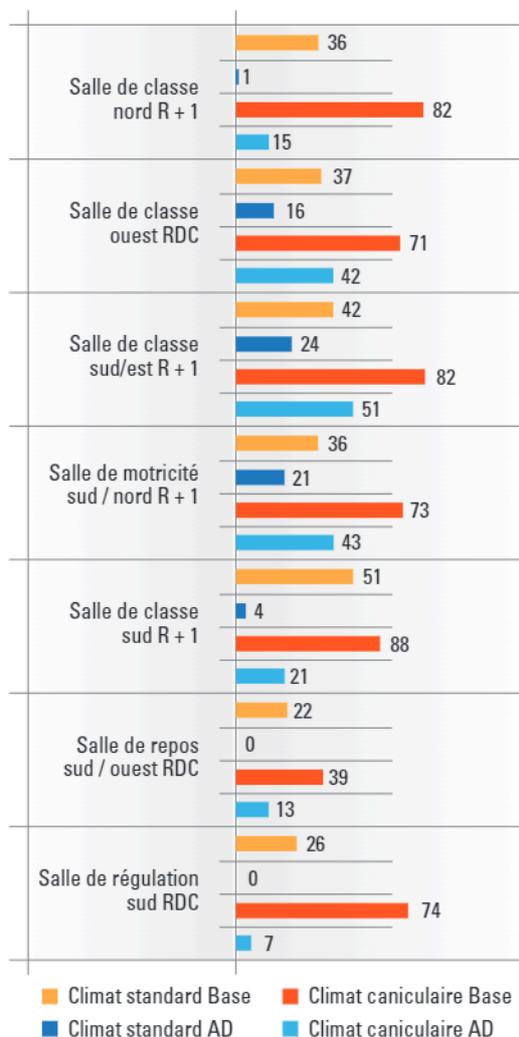
■ Climat standard Base ■ Climat caniculaire Base
■ Climat standard AD ■ Climat caniculaire AD

Nombre d'heures d'inconfort - Zone H2C



■ Climat standard Base ■ Climat caniculaire Base
■ Climat standard AD ■ Climat caniculaire AD

Nombre d'heures d'inconfort - Zone H3



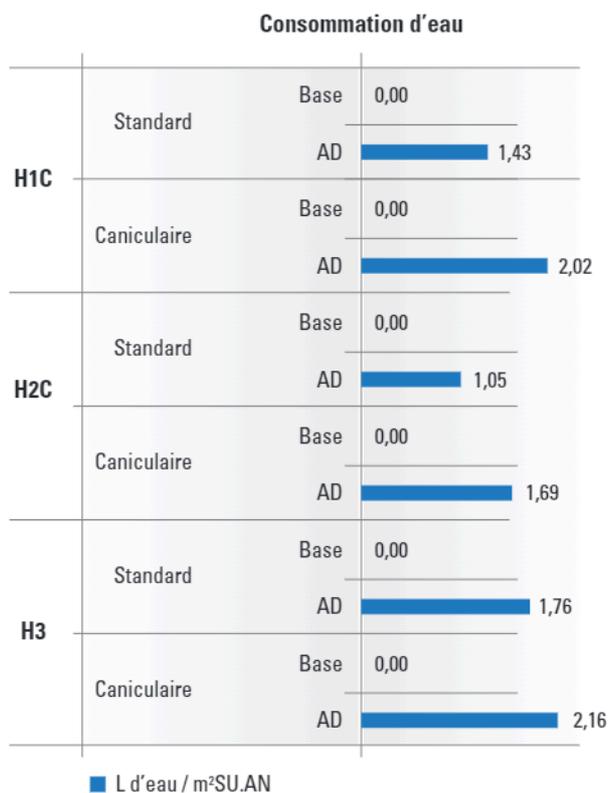
En climat standard, l'ajout d'une unité adiabatique direct sur la CTA permet une **réduction du temps où la température est supérieure à 28 °C dans le bâtiment supérieur à 40 % et allant jusqu'à 100 % pour un certain nombre de locaux.**

En climat caniculaire, l'ajout d'une unité adiabatique direct sur la CTA permet une **réduction du temps où la température est supérieure à 28 °C dans le bâtiment d'au minimum 30 %, allant jusqu'à 100 % selon la zone climatique et l'orientation.**

“ L'objectif de confort est atteint aussi bien en climat standard qu'en climat caniculaire. ”

Le graphique suivant donne la quantité d'eau nécessaire au fonctionnement de l'unité adiabatique au cours d'une année. A titre de comparaison, pour un appartement T3

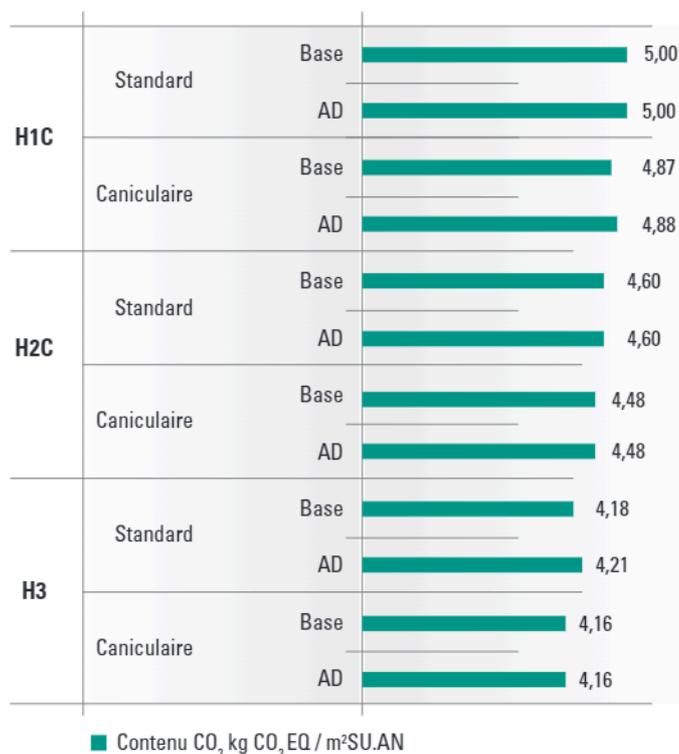
occupé par 3 personnes et une surface habitable de 60 m², la consommation d'eau est de 912.5 litres/m².shab.an



Le graphique suivant donne pour chaque variante simulée en usage Enseignement le contenu CO₂ équivalent, en prenant en compte les consommations d'eau et l'ensemble

des consommations énergétiques. La mise en œuvre d'un système adiabatique mène à une augmentation de du contenu Carbone d'environ 1 kgCO₂eq par an, soit 0,01 %.

Consommation carbone total



5.2.7 CONCLUSION CONFORT / CONSOMMATION / CARBONE

Dans des locaux où il est prévu de mettre en œuvre un système de refroidissement, le système adiabatique permet de réduire le besoin en froid. L'impact se fait donc directement sur les consommations de froid.

Dans les locaux où il n'est pas prévu de système de refroidissement, le système adiabatique permet un gain net de confort, sans augmentation des consommations énergétiques. En adiabatique direct, la quantité d'eau utilisée est raisonnable : l'ajout de cette consommation impacte de façon minimale le bilan Carbone de l'opération. Du point de vue environnemental, c'est donc une solution performante, qui évite l'utilisation de fluides frigorigènes et a un impact carboné très faible.

Sur l'aspect économique, la solution adiabatique ne présente pas un surcoût majeur d'investissement dans le cadre d'une rénovation complète du système de ventila-

tion. La solution adiabatique est aussi économiquement pertinente pendant sa phase d'utilisation :

- Sa maintenance est faible : il n'y a pas de produit dangereux dans le système, et les systèmes de régulation sont en général calibrés pour réaliser une vidange automatique ;
- L'électricité consommée provient des vidanges régulières : à l'échelle des consommations électriques d'une centrale de traitement d'air, cet ajout est faible ;
- L'eau consommée est aussi à prendre en compte. Le coût de l'eau prend en compte sa distribution et son assainissement, il varie donc selon les territoires. Au 1^{er} janvier 2015, le coût de l'eau était de 3,98 €/m³ selon Eau France, le service public d'information sur l'eau. Sur les simulations réalisées, cela représente un surcoût variant entre 16 € et 14 € par an, selon l'utilisation de l'unité adiabatique.

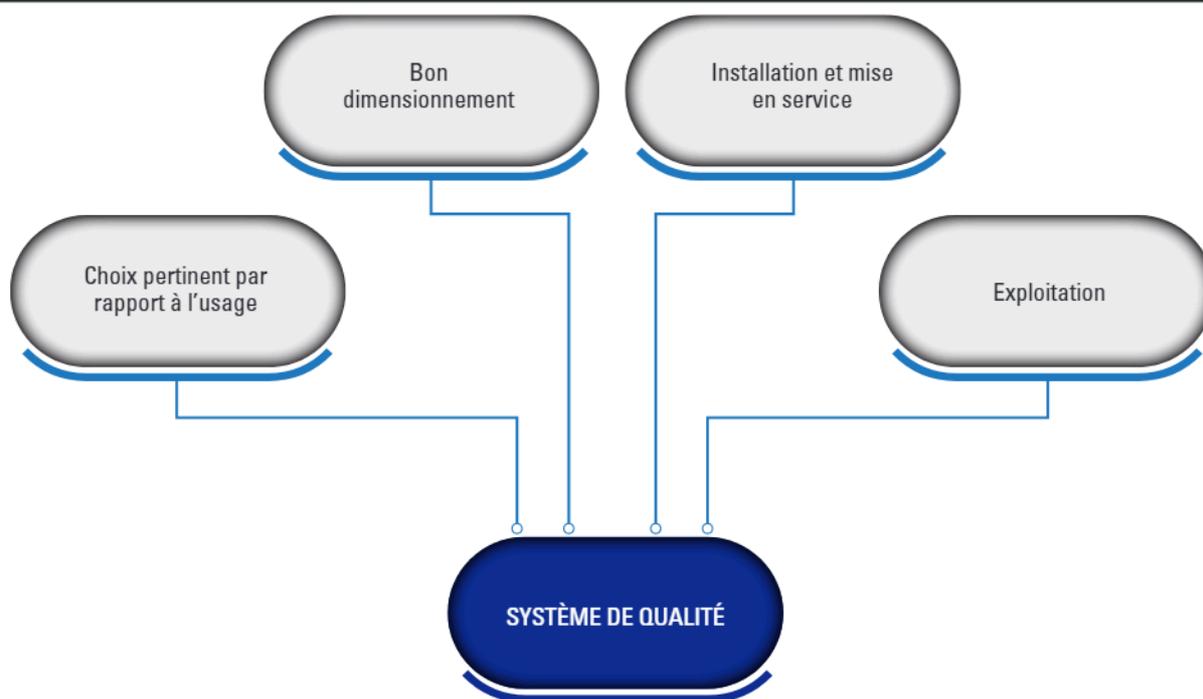
“ Une solution adiabatique directe ou indirecte est donc pertinente pour apporter du confort estival tout en maîtrisant le surcoût et l'impact environnemental associés. ”

6

LES PRÉCAUTIONS

La large gamme de technologies existantes permet de trouver à chaque usage le rafraîchissement adiabatique pertinent. Pour mettre en œuvre ce système, certaines précautions sont à prendre au cours de chaque phase de

la rénovation du bâtiment tertiaire. La qualité de l'exploitation conjuguée à l'installation elle-même a un impact majeur sur l'activité de l'établissement et son budget d'exploitation.



La qualité de l'installation influence 3 paramètres :

- Son coût global : Achat et mise en œuvre (20 à 25 %) et Coûts d'exploitation (75 à 80 %)
- Sa performance
 - Coûts d'exploitation
 - Satisfaction des usagers
 - Longévité
 - Disponibilité installation

- Sa conformité
 - Réglementaire
 - Conditions de garantie constructeur

6 1 CONCEPTION

6.1.1 MAITRISE DES APPORTS

Avant d'installer une solution adiabatique, il est impératif de rénover l'enveloppe et les systèmes dans une optique de réduction des besoins en froid au minimum.

Pour cela, le premier levier d'action est la réduction des apports solaires, et donc l'installations de protections

solaires. Il existe de multiples solutions adaptées aux contraintes diverses des projets : protections intérieures ou extérieures, casquettes, vitrage à contrôle solaire, sur-vitrage, etc.

EXEMPLE : LA CERTIFICATION HQE BÂTIMENT DURABLE



La certification HQE Bâtiment Durable demande des performances de vitrages avec occultations selon les orientations : le facteur solaire de l'ensemble menuiserie + protection doit être inférieur à 0,45 au Nord et à 0,25 pour les autres orientations.

Dans le cas d'une rénovation tertiaire, lorsque les vitrages installés sont en simple vitrage, la mise en œuvre de double vitrage est automatique. Dans ce cas-là, sur les orientations à fortes contraintes Sud, Est et Ouest, des configurations type vitrage à contrôle solaire + store intérieur ou vitrage standard + protection extérieure permettent d'atteindre l'exigence de $Sw < 0,25$.

Un deuxième levier d'action est la gestion technique du bâtiment. L'arrêt des ordinateurs fixes, baies informatiques et autres appareils électroniques la nuit (si cela est possible) et la bonne gestion de l'éclairage vont permettre de limiter les apports internes à combattre.

Enfin, un troisième levier d'action est la sensibilisation des usages. Un cas classique de la mauvaise utilisation du bâtiment se produit en été lorsque les utilisateurs ont chaud : les fenêtres sont ouvertes alors que la température extérieure est plus élevée que la température intérieure, ou lorsque le refroidissement est en fonctionnement.

6.1.2 CAS NON ADAPTÉS À L'ADIABATIQUE

L'adiabatique ne s'adapte cependant pas à tous types de locaux. Attention aux points suivants :

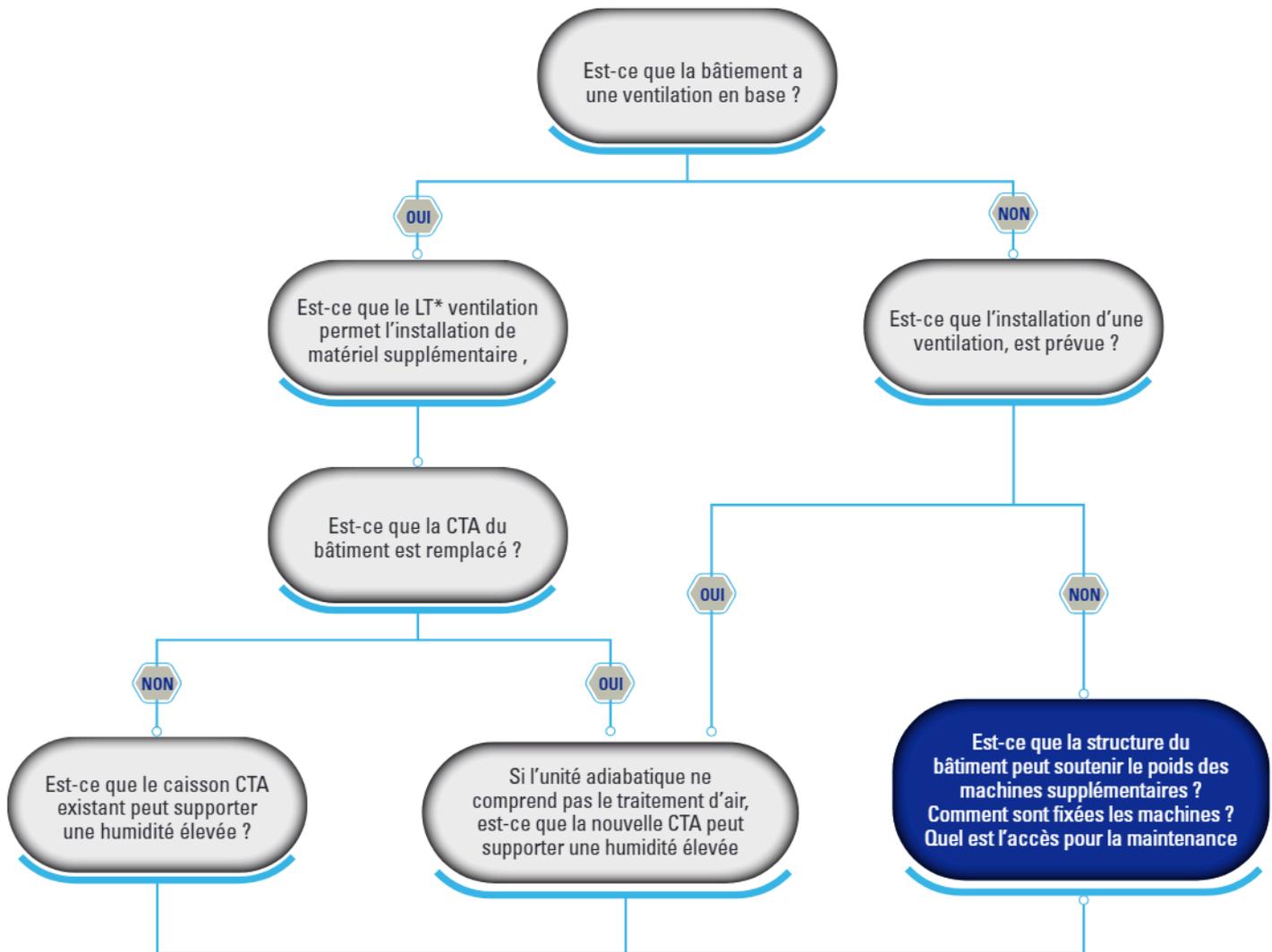
- L'adiabatique direct ne va pas convenir sur des locaux avec des consignes strictes d'humidité, comme dans les laboratoires ou les musées.
- La technologie de rafraîchissement adiabatique, qu'elle soit directe et indirecte, ne va pas non plus convenir s'il est attendu une température de consigne fixe inférieure à 25 °C quelques soient les conditions météo extérieures.

Plus globalement, il faut garder en tête que la solution adiabatique propose un rafraîchissement de confort. C'est une solution qui ne conviendra donc pas sur les locaux dans lesquels il faut maintenir une ambiance précise, en température ou en humidité. Ces types de locaux sont cependant assez rares et bien identifiés dans leurs besoins lors de la conception.

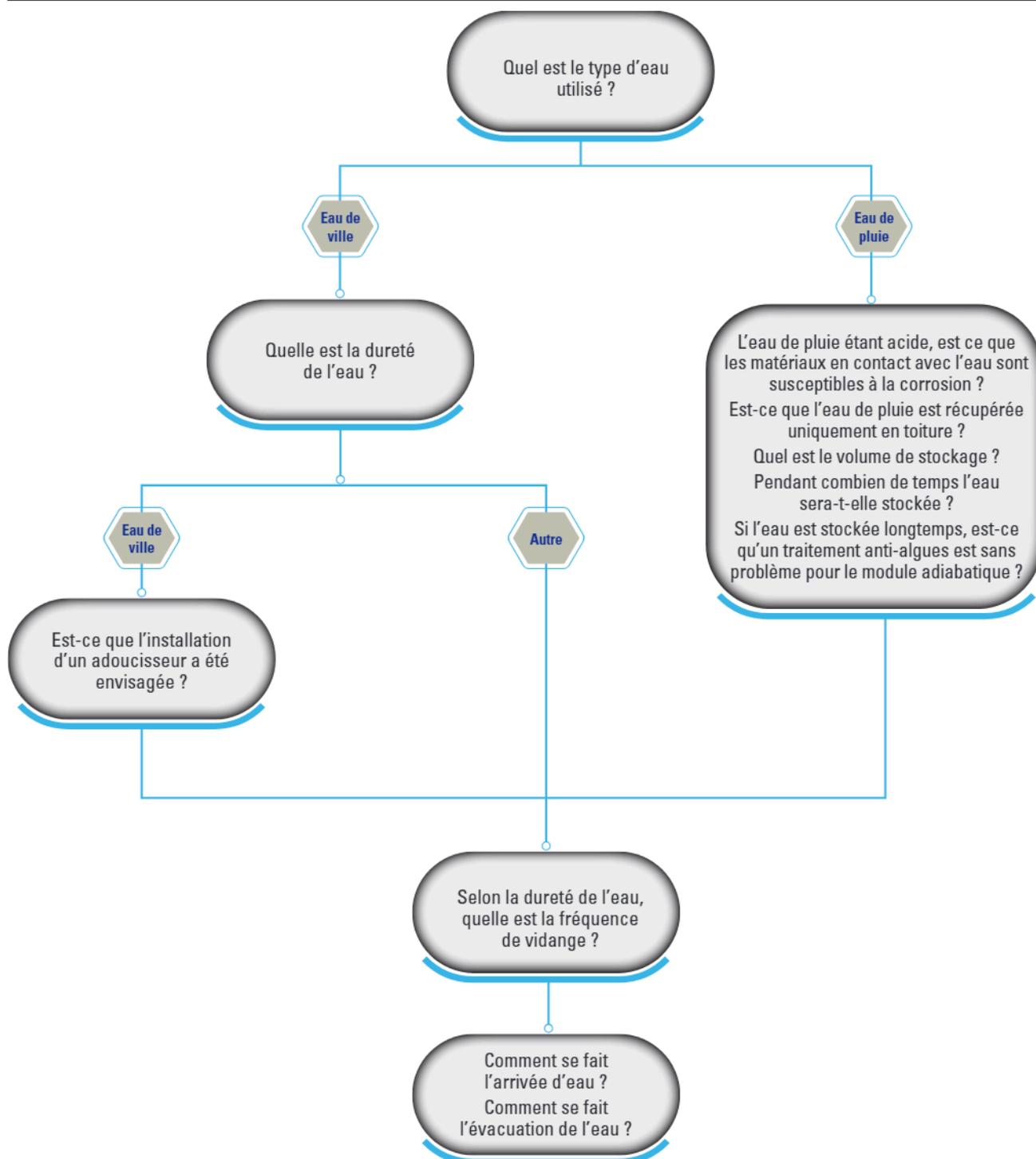
6.1.3 INSERTION SUR UN BÂTIMENT EXISTANT

Pour assurer la meilleure insertion possible de la technologie adiabatique sur un bâtiment existant, certaines questions sont à poser selon les actions menées en rénovation et la technologie adiabatique. Les arbres ci-dessous

présentent le processus de réflexion à suivre : les cases vertes sont des questions sur le bâtiment et la rénovation menée, les cases bleues donnent les questions associées.



* Lexique



6.1.4 DIMENSIONNEMENT

Paramètres d'entrée à définir :

- Température de l'air soufflé nécessaire : consigne de base permettant de régler le dimensionnement puis le fonctionnement de l'unité adiabatique
- Charge hygrométrique du bâtiment : permet de déterminer l'intérêt de l'adiabatique et l'éventuel nécessité d'un déshumidificateur en cas d'adiabatique indirect
- Rendement de l'échangeur de chaleur : si le rendement de l'échangeur augmente, la puissance de refroidissement adiabatique augmente
- Rendement humidificateur : impact sur la consommation d'eau du système

ATTENTION À L'AUGMENTATION DES DÉBITS DE VENTILATION



Un des pièges de la conception du refroidissement adiabatique réside dans le fait que le débit de ventilation est dopé pour dépasser largement le débit hygiénique afin de faire augmenter la puissance frigorifique (qui dépend notamment du débit de l'air). Le conduit destiné à la ventilation hygiénique est associé à une perte de charge donnée. Si le débit hygiénique est respecté dans le cadre de la mise en œuvre du refroidissement adiabatique, la seule surconsommation électrique est celle de la résistance supplémentaire à la pression des ventilateurs entraînée par l'ensemble d'évaporation, la vaporisation et/ou le courant d'eau dans l'échangeur de chaleur et la consommation de la pompe. Toutefois, si le débit de ventilation augmente dans une mesure importante, la consommation des ventilateurs augmente rapidement en raison de la perte de charge supplémentaire ce qui entraîne une chute de l'EER.

Méthode Rafraîchissement adiabatique indirect sur air extrait :

1. Définir condition de l'air extrait (T_{int} , HR_{int} %) et positionner le point sur le diagramme de l'air humide. En déduire le contenu en eau de l'air extrait q_{int} en kg d'eau/kg d'air.
2. Il est recommandé de ne pas dépasser 85% d'humidité. En suivant le diagramme selon un isenthalpe, définir le point d'humidité à 85% : (T_{extrait} , HR_{extrait} 85%) et son contenu en eau q_{extrait} .
3. Par une soustraction, on obtient la quantité d'eau ajoutée à l'air extrait $q_{\text{ajoutée}} = q_{\text{extrait}} - q_{\text{int}}$.
4. Définir le débit d'air extrait de la CTA Q_{repris} en kg d'air/h, la masse volumique de l'air étant de 1,2 kg/m³. Le débit d'eau à fournir est donc : $q_{\text{journalier}} = q_{\text{ajoutée}} \times Q_{\text{repris}} \times \eta_{\text{humidificateur}} \times d_{\text{fonctionnement}}$ où $\eta_{\text{humidificateur}}$ est le rendement de l'humidificateur et $d_{\text{fonctionnement}}$ le nombre d'heure de fonctionnement du système adiabatique sur une journée.
5. En supposant une température extérieure T_{ext} , on obtient : $T_{\text{soufflé}} = T_{\text{ext}} - \eta_{\text{échangeur}} \times (T_{\text{int}} - T_{\text{extrait}})$ où $\eta_{\text{échangeur}}$ est le rendement de l'échangeur.

Méthode Rafraîchissement adiabatique direct :

1. Définir condition de l'air extérieur (T_{ext} , HR_{ext} %) et positionner le point sur le diagramme de l'air humide. En déduire le contenu en eau de l'air extrait q_{ext} en kg d'eau/kg d'air.
2. Il est recommandé de ne pas dépasser 85% d'humidité. En suivant le diagramme selon un isenthalpe, définir le point d'humidité à 85% : ($T_{\text{soufflé}}$, $HR_{\text{soufflé}}$ 85%) et son contenu en eau $q_{\text{soufflé}}$.
3. Par une soustraction, on obtient la quantité d'eau ajoutée à l'air extrait $q_{\text{ajoutée}} = q_{\text{ext}} - q_{\text{soufflé}}$.
4. Définir le débit d'air soufflé $Q_{\text{soufflé}}$ en kg d'air/h, la masse volumique de l'air étant de 1,2 kg/m³. Le débit d'eau à fournir est donc : $q_{\text{journalier}} = q_{\text{ajoutée}} \times Q_{\text{soufflé}} \times \eta_{\text{humidificateur}} \times d_{\text{fonctionnement}}$ où $\eta_{\text{humidificateur}}$ est le rendement de l'humidificateur et $d_{\text{fonctionnement}}$ le nombre d'heure de fonctionnement du système adiabatique sur une journée.

Lors du dimensionnement du ventilateur de la centrale de traitement d'air, il sera nécessaire de prendre en compte la perte de charge additionnelle du système (de l'ordre de 100 à 200 Pa). La perte de charge dépend surtout de la vitesse d'air qui traverse le système.

6 2 INSTALLATION

Dès sa mise en service, l'installation doit bénéficier d'une exploitation et d'un entretien qui garantissent sa conformité réglementaire, la garantie constructeur et l'optimisation des fonctionnements et paramétrages.

6.2.1 PHASE CHANTIER

En phase chantier, une attention particulière sera portée à la protection du matériel de ventilation (conduits, échangeur, ...) contre les poussières du chantier. Le média adiabatique sera aussi protégé et mis en place dans la

machine au moment de la mise en service, pour éviter que celui-ci prenne la poussière.

On s'assurera du placement de l'évacuation des condensats avec un clapet fermant le siphon pour éviter les remontées de mauvaises odeurs.

6.2.2 PHASE MISE EN SERVICE

Pour la plupart des machines, la mise en service est assurée par un installateur formé et membre d'un réseau fabricant. Cette obligation permet s'assurer le bon fon-

ctionnement du système. Pour la suite, cela évite aussi d'éventuel problème de garantie fabricant sur le système.

6 3 MAINTENANCE

Plusieurs niveaux de maintenance peuvent être définis selon la temporalité des visites.

6.3.1 COURANTE

La maintenance courante inclut le contrôle hebdomadaire ainsi que mensuel.

Une maintenance régulière est primordiale car la technologie est sensible à l'encrassement par le calcaire et la poussière. Cet encrassement réduit la performance énergétique de l'échangeur de chaleur et augmente les risques de développement de légionelle dans les buses d'humidification. Dans l'idéal toutes les semaines, les points suivants sont à vérifier :

- Inspection visuelle du média pour repérer un fléchissement ou affaissement de celui-ci, ainsi que d'éventuels traînées sèches ;
- Inspection du siphon d'évacuation et nettoyage de celui-ci en cas de débris.

- Vérification du niveau d'eau ;
- Recherche de fuites ou de tuyaux bouchés dans le réseau d'eau.

L'entretien mensuel doit comprendre :

- La vérification de la fréquence de purge du réseau et son ajustement si nécessaire ;
- La vérification du débit d'eau et son ajustement si nécessaire ;
- La vérification des pompes et le nettoyage d'éventuels débris à l'entrée de celles-ci.

Les visites d'entretien ont aussi pour objectif le contrôle et l'éventuel réglage des fonctions techniques ainsi que l'ajustement de la régulation (consignes, plages horaires, paramétrages avancés).

6.3.2 GROS ENTRETIEN

Le gros entretien se fera à fréquence moindre. Parmi les opérations à réaliser, on peut notamment relever :

- La réalisation des opérations techniques et réglementaires ;
- Le remplacement des filtres à eau et à air 2 à 4 fois par an minimum selon leur type et les conditions environnementales ;
- L'inspection et l'entretien de l'environnement de l'installation (réseaux de diffusion, irrigation sondes) ;

En début et fin de chaque saison de rafraîchissement, le contrôle visuel de la propreté des buses et de l'échangeur est recommandé. Il pourra être nécessaire de nettoyer manuellement l'échangeur à la fin de l'été pour garantir de bonne performance énergétique en hiver.

Certaines technologies disposent d'un système automatique de nettoyage utilisant des produits biodégradables. Dans ce cas-ci, on contrôlera que le système dispose toujours de produits nettoyants.

7

ETUDES DE CAS ET TÉMOIGNAGES

Les références présentées ci-dessous sont issus de projets réalisés. L'ensemble des données sont anonymisées.

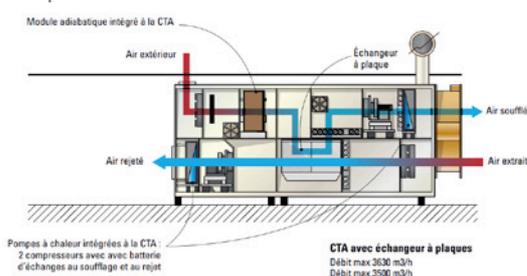
Crèche - Zone H1c

Description générale	
Typologie du bâtiment	Salles d'activités + bureau
Nombre d'étages	RDC
Surface utile (SU)	m ² 650
Volume estimé	m ³ 1 760
Type de rafraîchissement adiabatique	
Direct/ indirect	Indirect

Prestations Enveloppe	
Niveau d'isolation	Excellent
Inertie	Faible
Protections solaires	Stores intérieurs
Prestations Système	
CTA avec échangeur à plaques + module adiabatique intégré	Débit max: 3 630m ³ /h Débit réel: 3 500m ³ /h

Schéma de principe du rafraîchissement adiabatique

Rafraîchissement adiabatique en base + PAC en complément



AICVF- FICHE CRÈCHE - ZONE H1C 01

Retour d'expérience sur l'opération

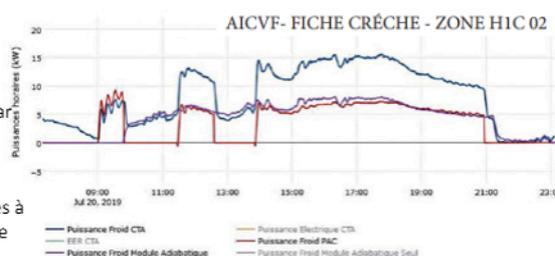
Avantages	Inconvénients
De bonnes performances du module adiabatique	Les températures intérieures dépassent 28°C
Un complément intéressant de la PAC	Une conception du bâtiment à optimiser (protection solaire)
Un confort même en période canicule pour un coût de rafraîchissement modéré	Un investissement faible de la part des exploitants

Instrumentation

Juillet 2019 :

- Réduction de 6,5°C sur la température de soufflage par rapport à l'extérieur.
- Température intérieures < 28,6°C alors que 39°C à l'extérieur.
- Lorsque les températures extérieures sont supérieures à 35°C, 50% de la puissance de froid provient du module adiabatique.

→ 3/5 du rafraîchissement ont été réalisés par l'adiabatique sur le mois de juillet 2019.



Consommation de la PAC	
Energie fournie en froid	1 377 kWh
Energie électrique	645 kWh
EER moyen	2,1

Consommation du module adiabatique		
Energie fournie en froid	2 644 kWh	
Energie électrique	15 kWh	
EER moyen	171	
Eau évaporée	2 300 L	Ratio utile : 61%
Eau consommée	3 758 L	

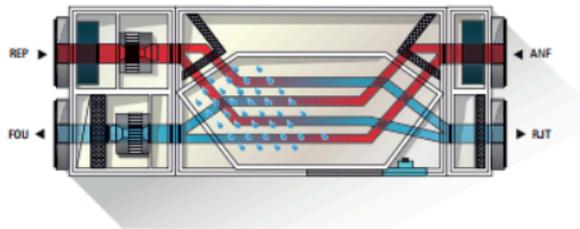
Conseils pour un meilleur fonctionnement de l'installation adiabatique

- Remplacer les protections solaires intérieures par des protections solaires extérieures
- Formation de l'exploitant pour une maintenance plus suivie

Bureaux - Zone H1a

Description générale			Prestations Enveloppe	
Typologie du bâtiment	Bureaux		Niveau d'isolation	Très performant
Nombre d'étages	R+7		Inertie	Légère
Surface utile (SU)	m ²	15 590	Protections solaires	Intérieures avec vitrage à contrôle solaire
Volume estimé	m ³	38 980	Prestations Système	
Type de rafraîchissement adiabatique			CTA avec rafraîchissement adiabatique dans l'échangeur à plaques	Débit repris : 54 300 m ³ /h Débit soufflé : 54 400 m ³ /h
Direct/ indirect	Indirect			

Schéma de principe du rafraîchissement adiabatique



Réseau ventilation : CTA avec rafraîchissement adiabatique
Sur boucle d'eau : tour de refroidissement adiabatique

AICVF- FICHE BUREAU - ZONE H1A 01

Retour d'expérience sur l'opération

Avantages	Inconvénients
Limitation de l'usage de fluides frigorigènes	Système peu connu des concepteurs et installateurs
Coût global intéressant	Maintenance précise et régulière
Ecrêtage des pointes électriques en été	Problèmes de fuite d'eau

Problèmes particuliers

- Pas d'analyse fonctionnelle faite en phase conception
- Communication difficile entre le mainteneur et l'installateur

Conseils pour un meilleur fonctionnement de l'installation adiabatique

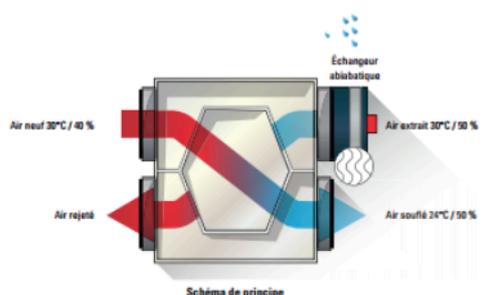
- Mise en place une mission de commissionnement sur les projets d'envergure avec de nombreux systèmes différents, pour assurer un suivi entre concepteur, installateur et mainteneur
- Définition en amont la fréquence et le contenu des visites d'entretiens
- Création de flashcode sur les machines pour guider le mainteneur

Hôtel - Zone H1b

Description générale		Prestations Enveloppe	
Typologie du bâtiment	Hôtel et spa	Niveau d'isolation	Performant
Nombre d'étages	R+3	Inertie	Moyen
Direct/ indirect	Indirect	Protections solaires	Intérieures
		Prestations Système	
		Centrale double flux avec échangeur adiabatique	Plage de débit : 100 à 5 500 m ³ /h

Schéma de principe du rafraîchissement adiabatique

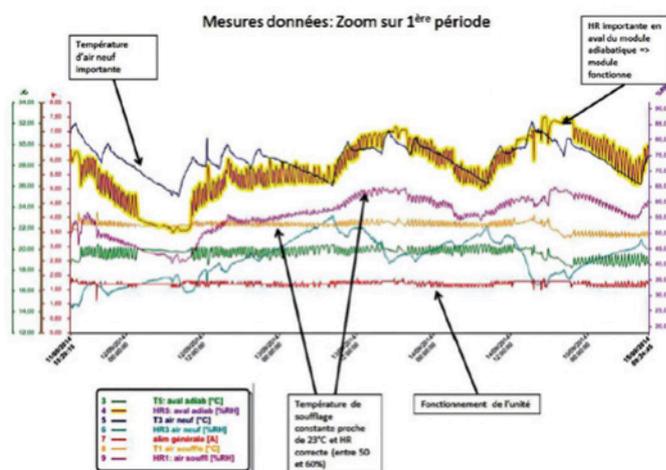
Centrale double flux avec échangeur adiabatique indirect



AICVF- FICHE HOTEL - ZONE H1B 01

Instrumentation

Pour une température de 32°C d'air neuf, l'air insufflé dans le local est de 22°C, ce qui correspond à la consigne. En fonctionnement du module, l'hygrométrie intérieure reste entre 50% et 60%.



AICVF- FICHE HOTEL - ZONE H1B 02

Retour d'expérience sur l'opération

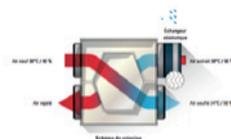
L'utilisateur est satisfait du produit. L'écart de température avec et sans module est de 4,5°C, ce qui démontre l'intérêt du produit.

MJC - Zone H1c

Description générale	
Typologie du bâtiment	Salles d'activités + bureau
Nombre d'étages	R+1 avec SS
Surface utile (SU)	m ²
Volume estimé	m ³ 1 350
Type de rafraîchissement adiabatique	
Direct/ indirect	Indirect

Prestations Enveloppe	
Niveau d'isolation	Performant
Inertie	Moyen
Protections solaires	Intérieures ou extérieures selon local
Prestations Système	
CTA avec échangeur à plaques + module adiabatique	Débit max adiabatique : 6 000 m ³ /h Débit max : 3 145 m ³ /h Débit réel : 2 650 m ³ /h

Schéma de principe du rafraîchissement adiabatique



AICVF- FICHE MJC - ZONE H1C 01

Retour d'expérience sur l'opération

Avantages	Inconvénients
De bonnes performances du module adiabatique	Un bâtiment mal conçu pour limiter les apports solaires
Des consommations électrique réduites	Un investissement faible de la part des exploitants
Une écart de température intéressant entre extérieur et soufflage	Un débit trop faible pour assurer une température de confort

Problèmes particuliers

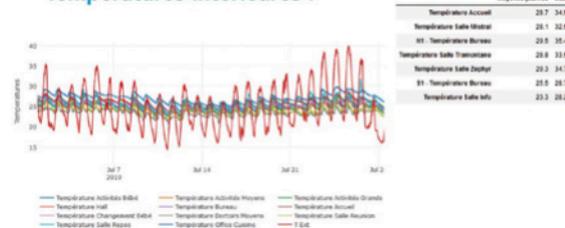
- Travaux de rajouts de grilles de ventilation pour améliorer le confort acoustique (CTA coupée en journée en 2018 car trop bruyante)
- Ajout d'un free cooling nocturne
- Ajout de réduits en fonction du planning d'occupation

Si c'était à refaire

Malgré des températures de soufflage faibles, les températures intérieures dépassent les 30°C car les apports solaires sont trop importants et le débit de la CTA trop faible.

AICVF- FICHE MJC - ZONE H1C 02

Températures intérieures :

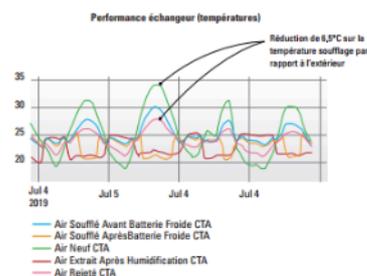


Il serait donc plus intéressant de rénover le bâtiment dans sa globalité avec le système de refroidissement. De plus, il est important de dimensionner la CTA en fonction du bâtiment.

Instrumentation

Relevés de juillet 2019 :

- L'échangeur permet un gain de 7°C sur l'air extérieur
- Le module adiabatique permet de gagner 5°C de plus



AICVF- FICHE MJC - ZONE H1C 02

Conseils pour un meilleur fonctionnement de l'installation adiabatique

- Remplacer les protections solaires intérieures par des protections solaires extérieures
- Formation de l'exploitant pour une maintenance plus suivie
- Mieux dimensionner la ventilation et le module adiabatique

Piscine – Zone H1b

Description générale	
Typologie du bâtiment	Piscine
Nombre d'étages	RDC
Surface utile (SU)	m ² 2400
Volume estimé	m ³ 7800
Surface bassins	m ² 537
Type de rafraîchissement adiabatique	
Direct/ indirect	Indirect

Prestations Enveloppe	
Niveau d'isolation	Standard
Inertie	Faible
Protections solaires	Pas de protections
Prestations Système	
CTA avec échangeur à plaques + module adiabatique intégré	Débit max: 36 000m ³ /h

Schéma de principe du rafraîchissement adiabatique

3 roues : déshumidification – récupération chaleur – récupération humidité + chaleur

1 humidificateur au soufflage



AICVF- FICHE PISCINE - ZONE H1B 02

Retour d'expérience sur l'opération

Avantages	Inconvénients
Favorise l'évacuation des polluants présents dans l'air	Le réseau de gaines du bâtiment doit être adapté au débit variable pour réaliser pleinement le potentiel du système.
Forte diminution de la température soufflée	
Gains sur coût de l'énergie	

Année pleine en euros			
€	Electricité	Chaleur	TOTAL
Gain/référence	23 991 €	8 959 €	32 949 €

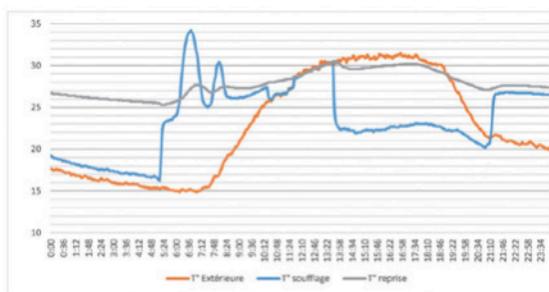
Instrumentation

Pour la journée du 27/08/2019, le mode climatisation est enclenché de 13h à 21h.

En particulier, à 16h :

- La température en sortie de batterie de régénération est de 56,5°C sur l'air pour un réseau à 64°C.
- La température extérieure est de 31,2°C.
- La température de reprise est de 30°C.
- La température de soufflage est de 22,3°C.

→ Abaissement de la température de soufflage de 8,9°C / extérieur



AICVF- FICHE PISCINE - ZONE H1B 02



AICVF- FICHE PISCINE - ZONE H1B 03

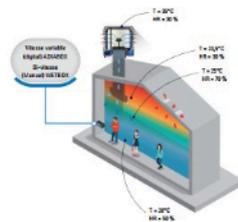
Grand volume – Zone H2b

Description générale		
Typologie du bâtiment	Complexe sportif	
Nombre d'étages	RDC	
Surface utile (SU)	m ²	7630
Volume estimé	m ³	35000
Type de rafraîchissement adiabatique		
Direct/ indirect	Direct	

Prestations Enveloppe	
Niveau d'isolation	Faible
Inertie	Très faible
Protections solaires	Pas de protections
Prestations Système	
CTA avec échangeur à plaques + module adiabatique intégré	Débit max: 36 000m ³ /h

Schéma de principe du rafraîchissement adiabatique

Plusieurs unités en toiture et gaines textiles



AICVF- FICHE GRAND VOLUME - ZONE H2B 01

Motivations de l'installation

- Pertes de clientèle en été
- Faible coût d'investissement et d'exploitation

Si c'était à refaire

La maîtrise d'ouvrage souhaite dupliquer ce principe sur d'autres bâtiments. Pour les prochaines opérations, il sera installé une gaine verticale rigide isolée avec « T » à aubes directionnelles avant de partir avec gaine textile à buses pour encore plus de portée.

Retour d'expérience sur l'opération

	Avantages	Inconvénients
Commande murale bi-vitesse et individualisé.	Simplicité pour les utilisateurs	-
Déplacement d'air dans la zone traité	Confort plus naturel qu'avec une climatisation	-
Renouvellement d'air important	Amélioration de la qualité de l'air important pour une pratique sportive	Niveau sonore important à grande vitesse (un piège à son ou partie de gaine rigide isolée aurait amélioré le rendu)
Maintien d'un niveau d'hygrométrie de confort (55%)	Evite la déshydratation lors d'un effort.	-
Confort général des clients	Boost les réservations par rapport à des concurrents non équipé de rafraîchissement	-

Conseils pour un meilleur fonctionnement du système adiabatique

L'évacuation de l'air (naturelle ou mécanique) asservie à la marche des rafraîchisseurs permettrait une meilleure évacuation de l'air chaud et une meilleure efficacité. L'évacuation se fait aujourd'hui par des lucarnes qui sont ouverte manuellement.



SYNTHÈSE

8

1

AVANTAGES

La technologie adiabatique, qu'elle soit en rafraîchissement ou en refroidissement, présente de multiples avantages :

● C'est une **technologie efficace**.

Pour l'ensemble des références, la technologie adiabatique présente un résultat satisfaisant. Les objectifs de consignes ou de confort sont atteints. Cette efficacité est à mettre en corrélation avec la qualité de l'ensemble de la rénovation : un système adiabatique devient d'autant plus intéressant quand le bâtiment et ses systèmes sont bien conçus.

Les simulations montrent aussi l'efficacité de ce type de système :

- Sur un bâtiment gymnase avec de l'adiabatique direct, réduction de 15 % du nombre d'heures d'inconfort.
- Sur un bâtiment enseignement, réduction de l'inconfort de 30 % à 100 % même en cas de canicule.

● C'est une **technologie globalement simple** qui demande un entretien facile et régulier.

La technologie adiabatique est sur le volet rafraîchissement assez simple : un média humide que traverse de l'air, extrait du local ou neuf. Elle ne demande peu de réseaux supplémentaires : uniquement l'alimentation électrique et l'arrivée et départ de l'eau. L'expertise nécessaire à la maintenance d'un système de rafraîchissement adiabatique est donc standard. C'est un réel avantage par rapport à des systèmes à multiples briques technologiques comme les PAC, composées d'un compresseur, d'un évaporateur et d'un réseau de fluide frigorigène.

● C'est une **technologie qui a un coût réduit** dans le cadre d'une rénovation tertiaire :

Etant donné la simplicité de la technologie, le surcoût lié au choix d'un rafraîchissement adiabatique est faible. C'est un montant d'autant plus faible quand il est choisi de la remplacer la CTA : une centrale incluant le rafraîchissement adiabatique est sensiblement plus chère qu'une centrale standard, tout en permettant une amélioration nette du confort.

● C'est une **technologie sans fluide frigorigène**.

Du point de vue environnemental, l'absence de fluide frigorigène est le gros avantage de la technologie adiabatique sur les PAC. En effet, il n'y a plus aucun risque de pollution de l'environnement par perte de fluide à toute les phases de vie de l'installation : fabrication, usage et recyclage.

Par ailleurs, l'absence de fluide frigorigène a aussi un impact positif sur le bilan Carbone de la solution de type adiabatique sur des usages où un système de refroidissement aurait un usage uniquement de confort, et non de refroidissement.

● C'est une **technologie peu consommatrice d'énergie**.

Les simulations montrent qu'il y a très peu d'ajout de consommation énergétique par la mise en œuvre d'un système adiabatique. Celui-ci ne comportant uniquement une pompe pour la circulation de l'eau, la consommation énergétique additionnelle est minime.

● Il est possible d'utiliser l'eau de pluie pour limiter les consommations d'eau potable.

8

2

INCONVÉNIENTS

Quelques points négatifs sont à soulever, afin de bien comprendre les limites de la technologie adiabatique :

- C'est une **technologie qui augmente l'hygrométrie en direct** ;
- C'est une **technologie avec une machinerie plus volumineuse** ;
- C'est une **technologie consommatrice d'eau** :

La technologie adiabatique utilise de l'eau pour fonctionner. L'eau est une ressource appelée à devenir précieuse : il est donc primordial de bien dimensionner les besoins en froid et le système dans sa mise en œuvre et sa régulation afin de minimiser les consommations d'eau potable. Il peut aussi être envisagé d'utiliser l'eau de pluie.

Le refroidissement adiabatique a une efficacité limitée à trois niveaux :

Limite de vecteur	Comme tout système de transfert thermique basé sur l'air, la faible capacité calorifique de l'air bride la puissance disponible.
Limite physique	La température minimale à laquelle l'air peut être abaissé est la température de bulbe humide, qui correspond à la saturation. Cette température est plus élevée que celle obtenue par une machine frigorifique "classique".
Limite climatique	Le système ne fonctionne que lorsque l'air que l'on souhaite humidifier est suffisamment sec pour présenter un potentiel de rafraîchissement intéressant.

8

3

PRÉCAUTIONS

Afin de garantir les meilleures performances du système adiabatique mis en œuvre, plusieurs précautions sont à prendre au cours du projet :

- C'est une **technologie qui nécessite une réduction des besoins de froid** en amont.

Afin de permettre au système adiabatique d'apporter un réel confort intérieur, la rénovation du bâtiment doit avoir pour objectif la limitation des besoins de froid, ce que soit via les protections solaires ou la régulation des apports internes.

- C'est une **technologie à intégrer architecturalement**. Les unités adiabatiques sont potentiellement en façades ou le plus souvent en toiture. C'est un élément qui peut donc être à intégrer architecturalement au projet de rénovation.
- C'est une **technologie qui nécessite une bonne régulation de l'eau**.

En effet, il y a toujours un risque avec l'usage de l'eau : celui concentration en minéraux. Si la régulation de l'eau

dans l'unité ne prévoit pas assez de vidange du système, il y a un risque d'entartrage de l'unité et donc de fonctionnement bien moins performant.

- C'est une **technologie qui nécessite une vigilance concernant les fuites d'eau**.

Toujours lié à la problématique de l'usage de l'eau, il y a un risque de la fuite de celle-ci. Il est important de bien vérifier régulièrement s'il y a fuite, voir même installer un mécanisme d'alerte.

- C'est une **technologie qui peut nécessiter un réseau de gaines de ventilation plus important**.

Le système adiabatique est de type aéraulique. Pour traiter l'ensemble des apports, des débits d'air plus importants peuvent être nécessaires, demandant donc un réseau de gaines plus conséquent. Un traitement acoustique des gaines est aussi à envisager.

9

ANNEXES

9

1

ANNEXE 1 : BRIQUE ADIABATIQUE DE LA MÉTHODE TH-BCDE

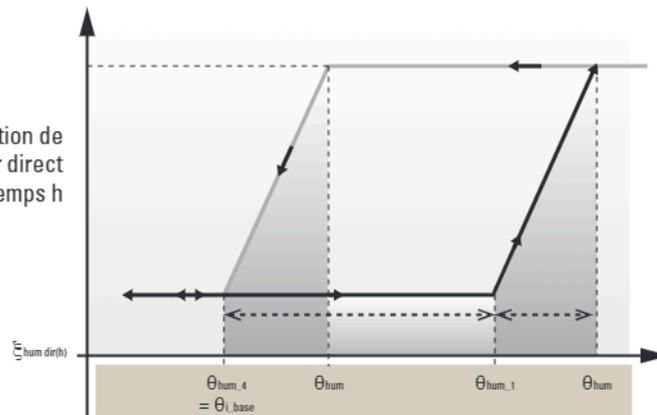
Légende :

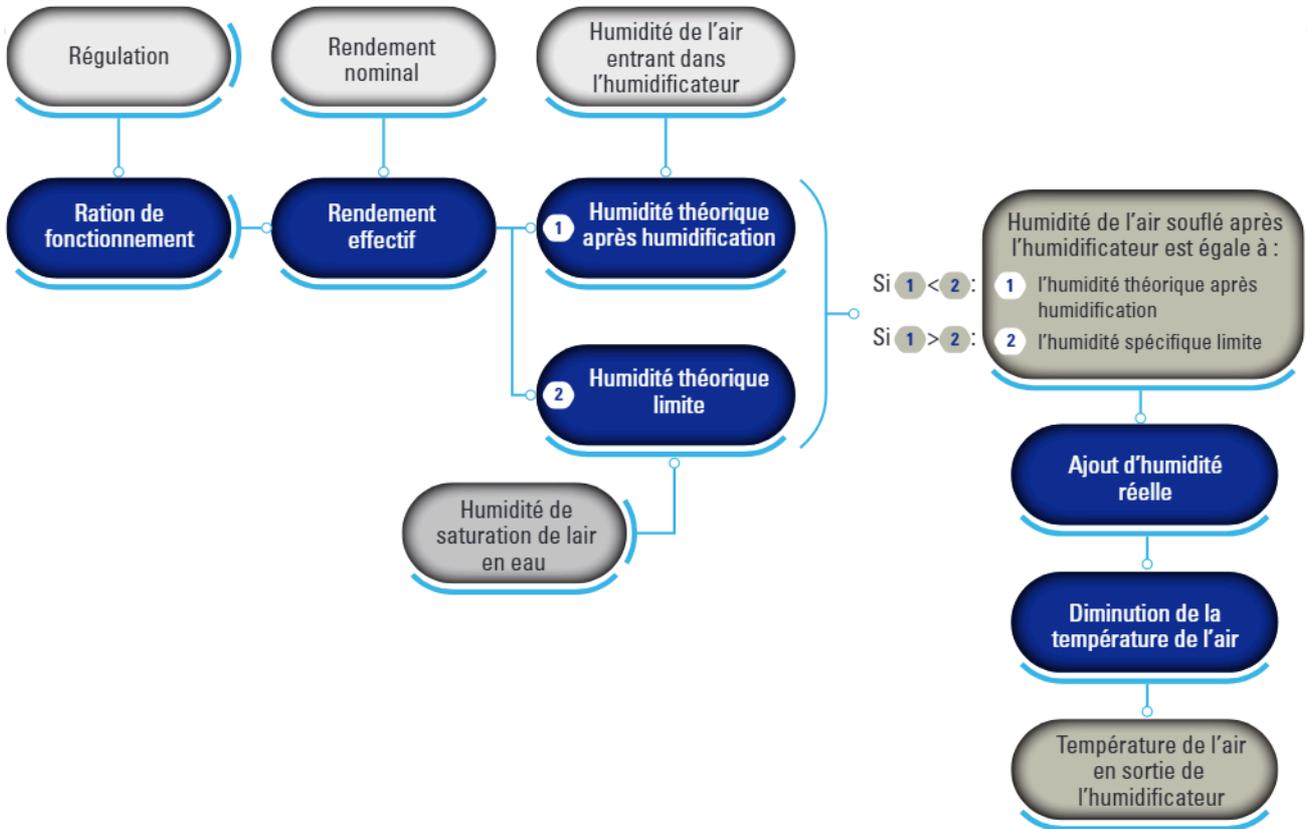
- Case Jaune : Données d'entrées
- Case Bleue : Calcul

- Case Grise : Constante physique
- Case Verte : Sorties

Elle se base sur un modèle de régulation représentée par le graphique suivant. Il illustre l'évolution du pourcentage d'utilisation de l'humidificateur entre 0 % et 100 % selon les températures de consignes à définir.

Pourcentage d'utilisation de l'humidificateur direct au pas de temps h





9 2

DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE

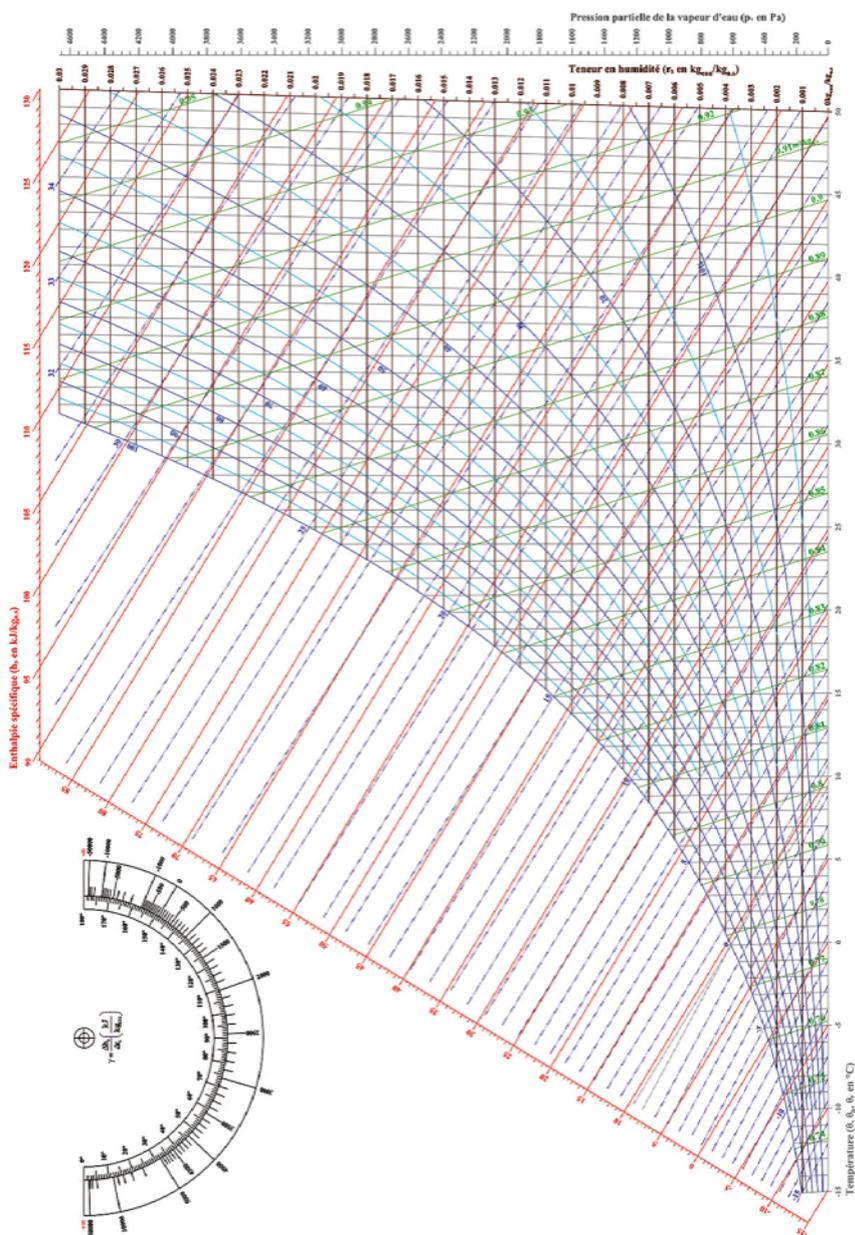


Diagramme de l'air humide ©AICVF

10

LEXIQUE

RAI	Rafrachissement Adiabatique Indirect
RAD	Rafrachissement Adiabatique Direct
CTA	Centrale de Traitement d'Air
GES	Gaz à Effet de Serre
LT	Local Technique



Izuba. *Documentation des logiciels IZUBA énergies* [En ligne]. Disponible sur : <https://docs.izuba.fr/>

Énergie+, Architecture et Climat, Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (LOCI), Université catholique de Louvain (Belgique), réalisé avec le soutien du Service Public de Wallonie – Département de l'Énergie et du Bâtiment durable. *Energie Plus Le Site* [En ligne]. Disponible sur : <http://www.energieplus-lesite.be>

Bruxelles Environnement. *Guide Bâtiment Durable* [En ligne]. Disponible sur : <https://www.guidebatimentdurable.brussels/>

Condair. *Condair* [En ligne]. Disponible sur : <https://www.condair.fr/>

XPAIR. *XPAIR* [En ligne]. Disponible sur : <https://conseils.xpair.com/>

GRDF. *GRDF* [En ligne]. Disponible sur : <https://www.grdf.fr/>

Contributeurs de Wikipédia. «Processus adiabatique», *Wikipédia, l'encyclopédie libre* [En ligne]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Processus_adiabatique&oldid=173429402

CSTB. *Référentiel « Énergie – Carbone » pour les bâtiments neufs – Méthode d'évaluation de la performance énergétique et environnementale des bâtiments neufs Annexe – Fiches algorithmes.* Version 3.1.

EnergyPlus. *Engineering Reference EnergyPlus Version 9.3.0 Documentation.* U.S. Department of Energy.

Adexi-Genatis. *Documentation interne.*

System Air. *Documentation interne.*

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	4
1.1	Le réchauffement climatique	4
1.2	Les notions de confort thermique et estival	5
1.2.1	Confort thermique	5
1.2.2	Confort estival	8
1.3	Des solutions alternatives au refroidissement	9
1.4	L'adiabatique, une technique ancestrale	11
1.5	Quid du rafraichissement adiabatique à l'international ?	12
2	PRINCIPES DU RAFRAICHISSEMENT ADIABATIQUE	13
2.1	Description physique	13
2.2	Diagramme de l'air humide	13
2.3	Description thermodynamique	15
3	TECHNOLOGIES ADIABATIQUES	16
3.1	Le rafraichissement adiabatique indirect	16
3.1.1	Principe de fonctionnement	16
3.1.2	Rafraichissement adiabatique sur air extrait	16
3.1.3	Rafraichissement adiabatique indirect simultané	18
3.2	Le rafraichissement adiabatique direct	19
3.2.1	Principe de fonctionnement	20
3.2.2	Régulation	21
3.2.3	Avantages & Inconvénients	21
3.2.4	Risques de légionelle	21
3.3	Le rafraichissement direct couplé	22
3.4	Le refroidissement adiabatique	23
3.4.1	Le refroidissement adiabatique par roue dessicante	23
3.4.2	Refroidissement adiabatique M-cycle	24
3.5	Synthèse des systèmes adaptés selon les usages	26
4	LES RÉGLEMENTATIONS & L'ADIABATIQUE	27
4.1	Textes applicables	27
4.2	REGLEMENTATION THERMIQUE DANS L'EXISTANT	28
4.2.1	Rénovation énergétique « élément / élément »	29
4.2.2	Rénovation énergétique « globale »	29
4.3	Qualité de l'air	30
4.3.1	Prises d'air neuf et rejet	30
4.3.2	Filtration et tailles de particules	30
4.3.3	Seuil limite de CO ₂ et COV	30
4.3.4	Risque de développement bactérien (notamment les légionelles)	31

TABLE DES MATIÈRES

4.4	Utilisation de l'eau d'appoint	32
4.4.1	Utilisation de l'eau de pluie	32
4.4.2	Utilisation de l'eau de forage	32
4.4.3	Qualité de l'eau d'appoint	33
4.5.1	Intégration dans le paysage	33
4.5.2	Evacuation des condensats et des eaux de vidange	33
4.5	Impacts sur l'environnement	33
4.5.3	Valeurs limites de bruit sur l'environnement extérieur	34
4.6.1	Valeurs limites de bruit sur l'environnement intérieur	35
4.6.2	Température et hygrométrie	35
4.6	Confort des utilisateurs & hygrométrie	35

5	EFFICACITÉ DE L'ADIABATIQUE	36
5.1	Résultats d'instrumentation	36
5.1.1	Rafraîchissement indirect (RAI)	36
5.1.2	Rafraîchissement direct (RAD)	39
5.2.1	Méthode de comparaison	39
5.2	Simulations et Consommations	39
5.2.2	Modèles de simulations existants	40
5.2.3	Cadres des simulations	42
5.2.4	Usage Bureaux	43
5.2.5	Usage Gymnase	47
5.2.6	Usage Enseignement	49
5.2.7	Conclusion Confort / Consommation / Carbone	53

6	LES PRÉCAUTIONS	54
6.1	Conception	55
6.1.1	Maitrise des apports	55
6.1.2	Cas non adaptés à l'adiabatique	55
6.1.3	Insertion sur un bâtiment existant	56
6.1.4	Dimensionnement	58
6.2.1	Phase chantier	59
6.2.2	Phase Mise en service	59
6.3.1	Courante	59
6.3.2	Gros entretien	59
6.2	Installation	59
6.3	Maintenance	59

TABLE DES MATIÈRES

7	ETUDES DE CAS ET TÉMOIGNAGES	60
8	SYNTHÈSE	67
8.1	Avantages	67
8.2	Inconvénients	68
8.3	Précautions	68
9	ANNEXES	69
9.1	Annexe 1 : Brique adiabatique de la méthode Th-BCDE	69
9.2	Diagramme de l'air humide	71
10	LEXIQUE	72
11	BIBLIOGRAPHIE	73

LES SOLUTIONS DE RAFFRAICHISSEMENT ADIABATIQUE DANS LES BÂTIMENTS TERTIAIRE EN RÉNOVATION

En raison du réchauffement climatique, le confort estival, notamment en période caniculaire, devient un sujet primordial lors de la rénovation des bâtiments tertiaires. La mise en place d'un système de refroidissement peut d'avérer coûteuse et n'est pas neutre en matière d'impact environnemental en raison des fluides frigorigènes qu'il contient. Si la priorité est de réduire au préalable les besoins via la maîtrise des apports solaires et des apports internes, des solutions de rafraichissement efficaces alternatives existent, comme le rafraichissement adiabatique.

Le principe du rafraichissement adiabatique est utilisé dans la nature depuis toujours. La sudation humaine, et donc la thermorégulation du corps humain, est basé uniquement sur le principe adiabatique. Le principe de base du refroidissement adiabatique est d'utiliser l'énergie de la transformation d'état de l'eau liquide en vapeur. Le phénomène est le suivant : de l'air chaud et sec traverse un filet d'eau ; l'air chaud provoque l'évaporation d'eau dans le filet ; la chaleur nécessaire à la vaporisation d'eau est extraite de l'air ; l'air se refroidit.

La connaissance de ce principe adiabatique par l'homme est ancienne. Sa mise en œuvre de façon industrielle, bien plus récente, commence dans les années 1970. La technologie adiabatique est fiable et largement industrialisée dans les pays de l'hémisphère Sud, puisque proposant des performances intéressantes à moindre coût.

Deux grands principes de rafraichissement adiabatique sont proposés dans les systèmes industriels actuels :

- le rafraichissement adiabatique indirect ;
- le rafraichissement adiabatique direct.

Les technologies utilisant le rafraichissement adiabatique indirect sont les plus communément installées. L'air soufflé dans l'ambiance est refroidi par échange avec de l'air qui aura été humidifié et refroidi au préalable. L'air soufflé dans l'ambiance n'est donc pas chargé en eau. Le rafraichissement adiabatique direct va appliquer de façon immédiate le principe physique décrit ci-dessus : de l'air humidifié et rafraichi est directement introduit dans l'ambiance. Etant donné qu'il n'y a pas d'échangeur, la performance en rafraichissement de ce type de système est accrue : l'ambiance profite directement d'un air rafraichi, mais aussi plus chargée en eau.

Une crainte associée aux systèmes adiabatique est le risque de développement de légionellose. Dans une majorité des systèmes à adiabatiques conçus aujourd'hui, l'eau n'est pas dispersée dans le flux d'air par des injecteurs. L'utilisation de média humide et les vitesses d'air utilisées garantissent l'absence d'aérosols. Le risque de développement de la légionellose provenant de la présence de gouttelette dans l'air, les installations de rafraichissement adiabatique qu'ils soient DIRECT ou INDIRECT sans dispersion d'eau dans un flux d'air ne présentent pas de risque de diffusion des légionelles.

Comme présenté dans ce guide, les systèmes adiabatiques améliorent le confort estival sans subir le coût environnemental de fluides frigorigènes. Ce sont des systèmes simples et à coût réduit, peu consommateurs en énergie et à consommation d'eau limitée qui peuvent d'avérer adaptés à de nombreuse rénovation de bâtiments tertiaires.