Rafraichissement à faible impact environnemental

Les rencontres énergies de l'ALEC

30 juin 2022

VOTRE PARTENAIRE PUBLIC EN ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

LES RENCONTRES ÉNERGIE ALEC

GRENOBLE ALPES MÉTROPOLE

GRENOBLE EUROPEAN GREEN CAPITAL

ALEC
AGENCE LOCALE DE L'ÉNERGIE ET DU CLIMAT
Grande Région Grenobloise
Société Publique Locale

Programme

- **Introduction – Contexte actuel du secteur de la production de froid**
- **Dispositifs passifs & stratégie de confort d'été**
- **Systèmes actifs sur Air**
- **Systèmes sur Energies Renouvelables**
- **Focus sur l'adiabatique**
- **Visite de l'installation adiabatique de la Médiathèque Paul Eluard à Fontaine**

31 Av. du Vercors, 38600 Fontaine

Votre partenaire public en économies d'énergie

ALEC
AGENCE LOCALE
DE L'ÉNERGIE ET DU CLIMAT
Grande Région Grenobloise
Société Publique Locale

SPL (Société Publique Locale) depuis mai 2020

- Créée en 1998 à l'initiative de la Métro (Grenoble-Alpes Métropole)
- 40 collaborateurs,
- **Depuis 2019 animateur du Service Public de l'Efficacité Énergétique**

A destination

- Des particuliers, collectivités, bailleurs sociaux, établissements publics, entreprises

Actions thématiques

- Économies d'énergie
- Énergies renouvelables
- Changement climatique

Conseil

- Gratuit
- Neutre et indépendant

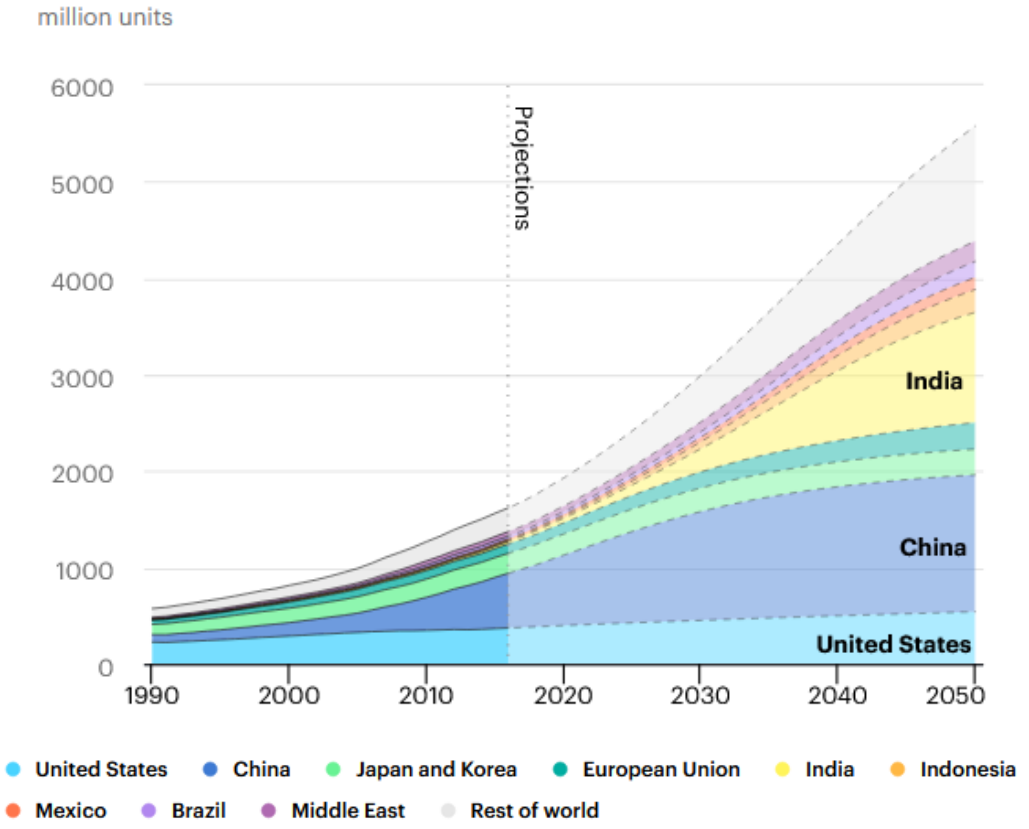
Introduction : Contexte Actuel

Contexte

La climatisation en quelques chiffres :

Dans le monde :

- **20% de l'électricité consommée dans le bâtiment**
- **Demande x 3 d'ici 2050**



Source : IEA (2018), The Future of Cooling, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling

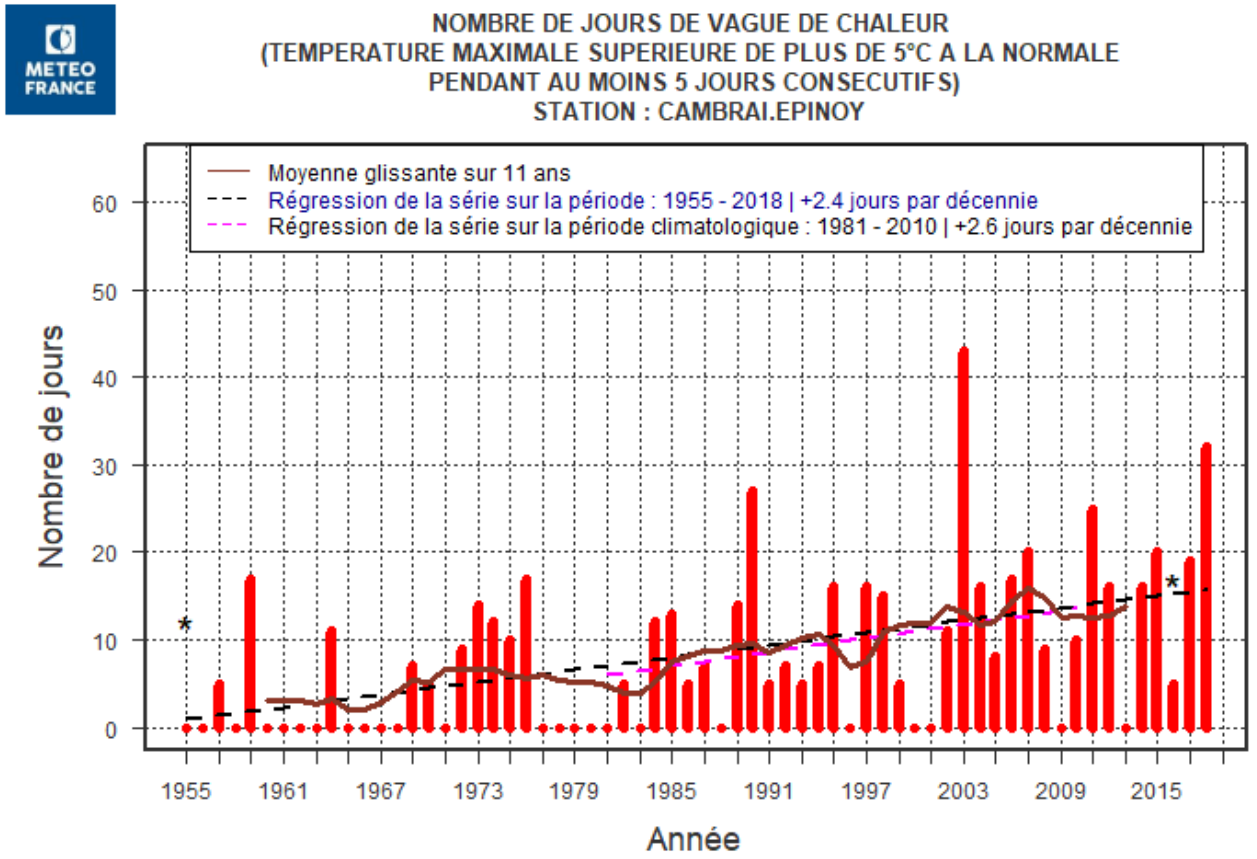
IEA. All Rights Reserved

Contexte

La climatisation en quelques chiffres :

En France – évolution des vagues de chaleur :

- Occurrence annuelle à partir des années 2000
- 1,7 jours/an avant 1989 → 9,4 jours/an sur la dernière décennie



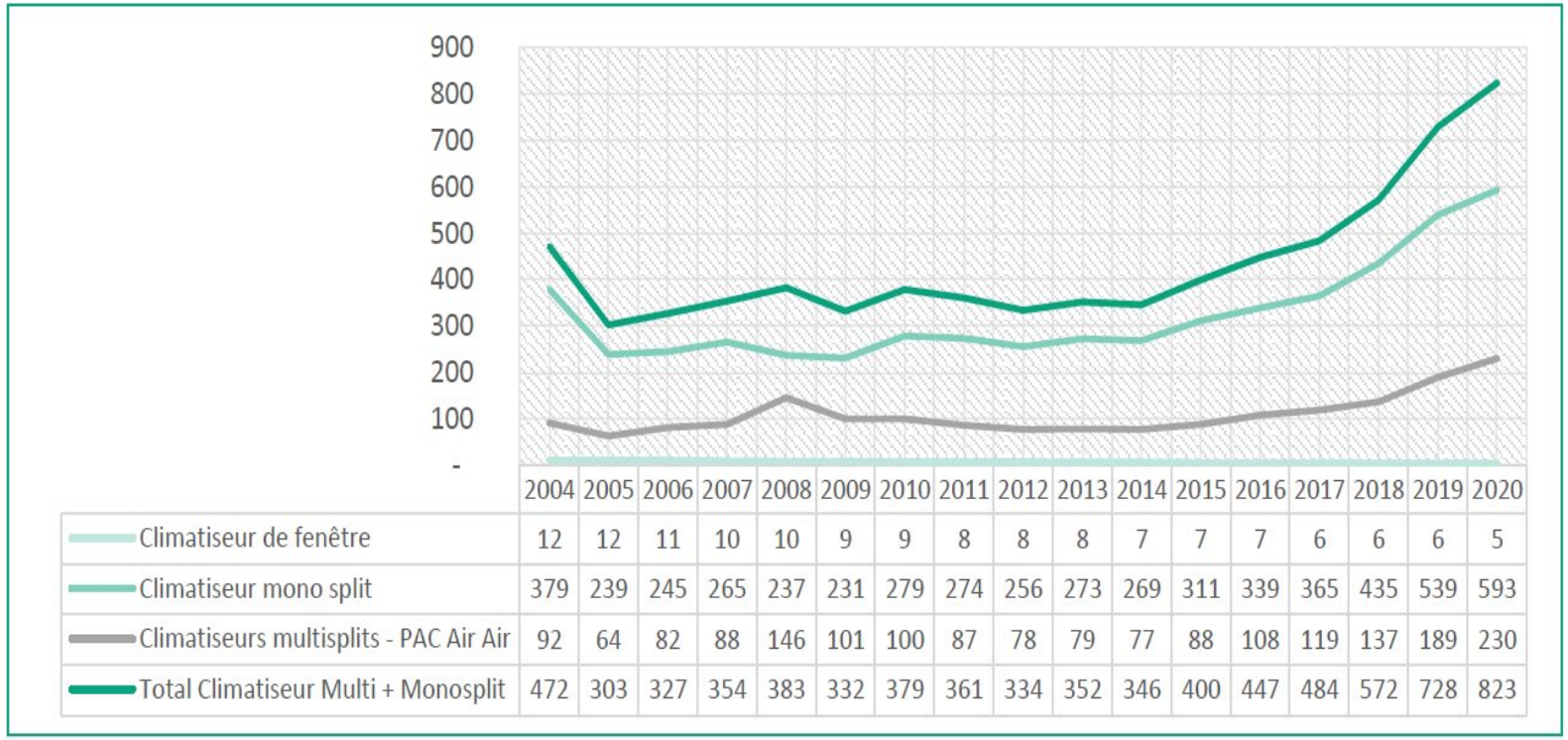
Source : Météo-France, https://meteofrance.com/changement-climatique/observer/changement-climatique-et-vagues-de-chaleur

Contexte

La climatisation en quelques chiffres :

En France – résidentiel :

- **Plus de 800 000 unités vendues en 2020**
- **Taux d'équipement chez les particuliers : 14 % (2016) → 25 % (2020)**



	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Climatiseur de fenêtre	12	12	11	10	10	9	9	8	8	8	7	7	7	6	6	6	5
Climatiseur mono split	379	239	245	265	237	231	279	274	256	273	269	311	339	365	435	539	593
Climatiseurs multisplits - PAC Air Air	92	64	82	88	146	101	100	87	78	79	77	88	108	119	137	189	230
Total Climatiseur Multi + Monosplit	472	303	327	354	383	332	379	361	334	352	346	400	447	484	572	728	823

Figure 12 : les statistiques de ventes des adhérents d'UNICLIMA (2004 -2015 – en milliers)

Contexte

La climatisation en quelques chiffres :

En France – tertiaire :

- **Taux d'équipements très différents selon les secteurs (7 à 64 %).**

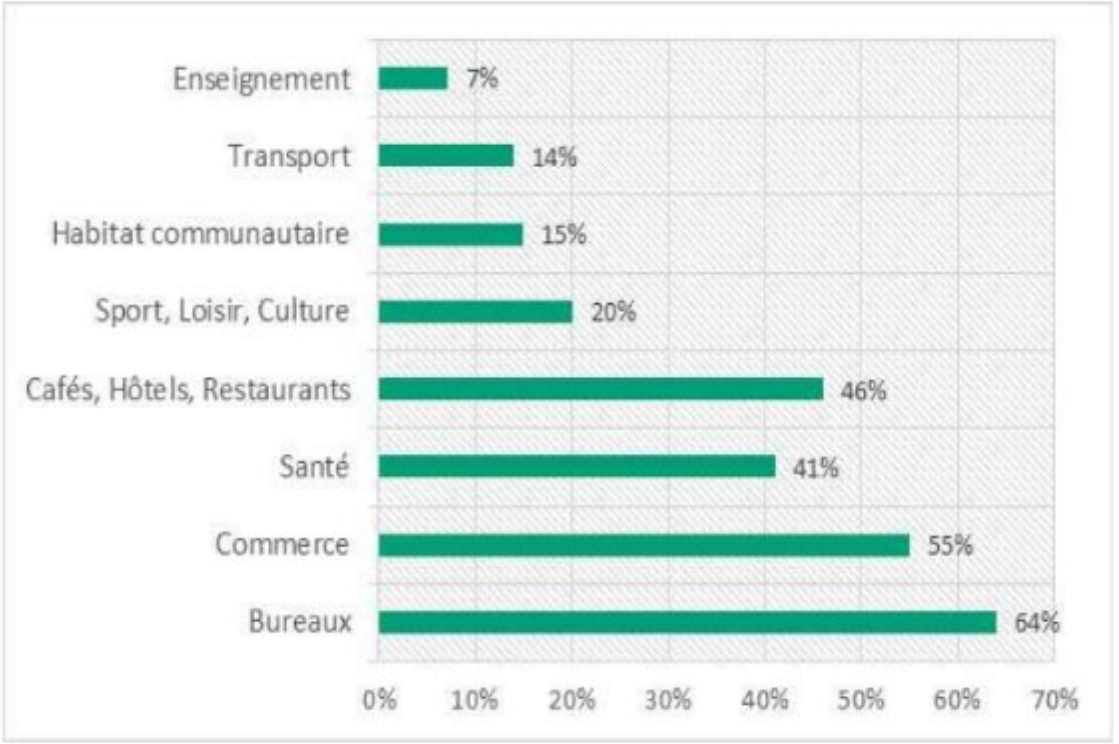


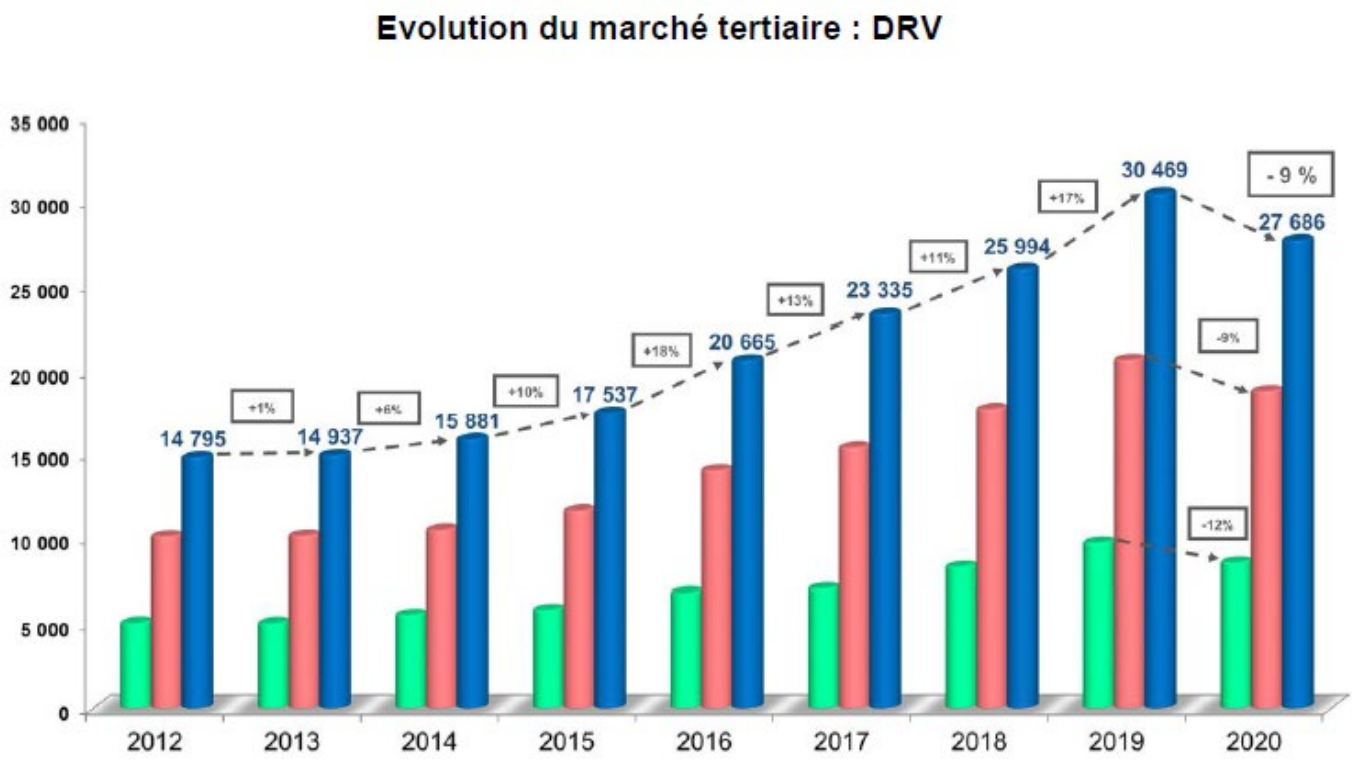
Figure 3 : Le pourcentage des surfaces climatisées dans les différents secteurs tertiaires
Source : Compilation de données réalisée par CODA Stratégies

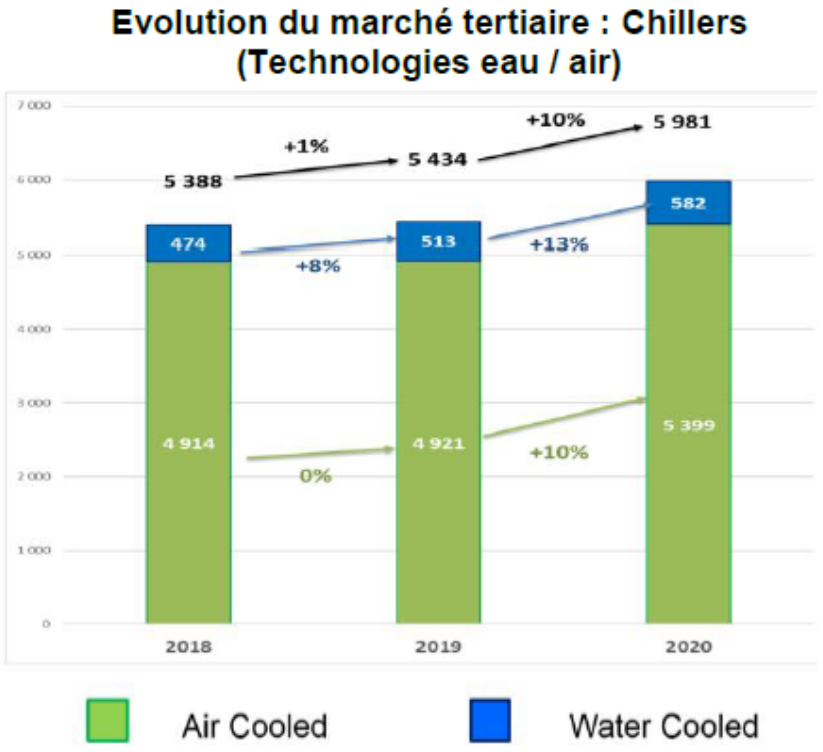
Source : ADEME, La climatisation de confort dans les bâtiments résidentiels et tertiaires, https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/4745-la-climatisation-de-confort-dans-les-batiments-residentiels-et-tertiaires.html

Contexte

La climatisation en quelques chiffres :

En France – tertiaire : Un marché avec une forte croissance sur la dernière décennie aussi





Source : ADEME, La climatisation de confort dans les bâtiments résidentiels et tertiaires, https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/4745-la-climatisation-de-confort-dans-les-batiments-residentiels-et-tertiaires.html

Contexte

La climatisation en quelques chiffres :

En France - Impact environnemental :

		Logement	Tertiaire	Total
Taux de climatisation 2020		25 %	40 %	
Consommations énergétiques (TWh - 2020)		4,9 TWh	10,6 TWh	15,5 TWh
Emissions de CO_2 (Millions de tonnes)	Associées aux consommations énergétiques	0,3 Mteq CO_2	0,6 Mteq CO_2	0,9 Mteq CO_2
	Associées aux gaz frigorigènes	1,8 Mteq CO_2	1,7 Mteq CO_2	3,5 Mteq CO_2
	Totales	2,1 Mteq CO_2	2,3 Mteq CO_2	**4,4 Mteq CO_2**

Tableau 1: Diffusion de la climatisation et son impact climatique en 2020
Source : Enquête et modélisation – ADEME – CODA Stratégies

4,4 Mteq CO2, soit **5%** des émissions totales du secteur de bâtiment

Source : ADEME, La climatisation de confort dans les bâtiments résidentiels et tertiaires, https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/4745-la-climatisation-de-confort-dans-les-batiments-residentiels-et-tertiaires.html

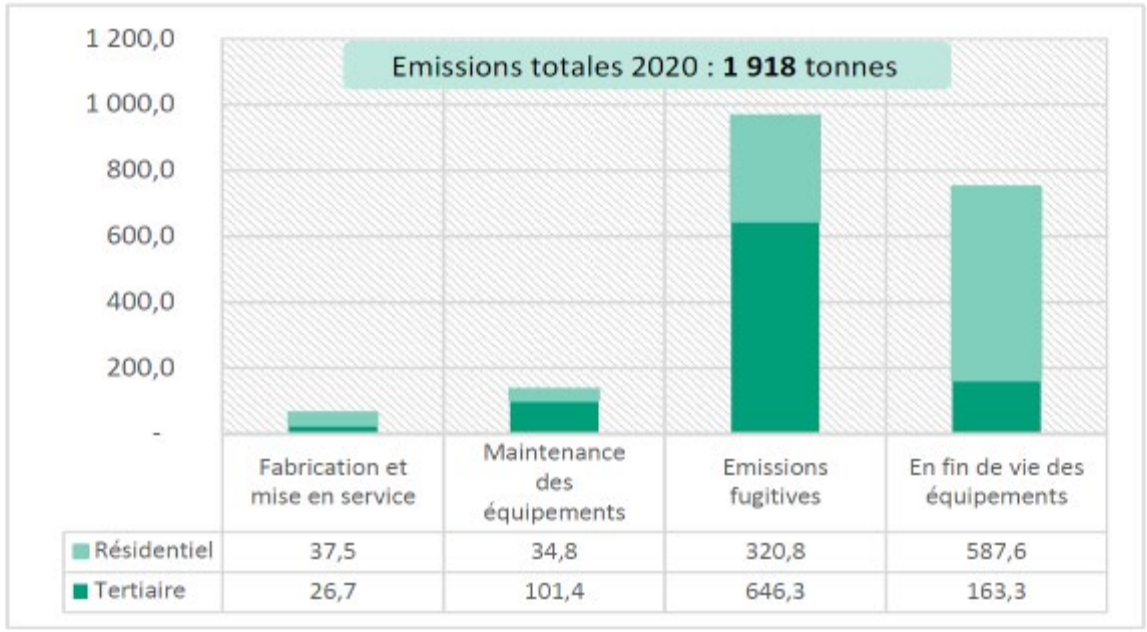
Contexte

La climatisation en quelques chiffres :

En France - Impact environnemental :

Emissions de gaz frigorigènes :

- Résidentiel : majoritairement **en fin de vie** (très faible taux de recyclage).
- Tertiaire : **Fuites** tout au long de l'exploitation (émissions fugitives).



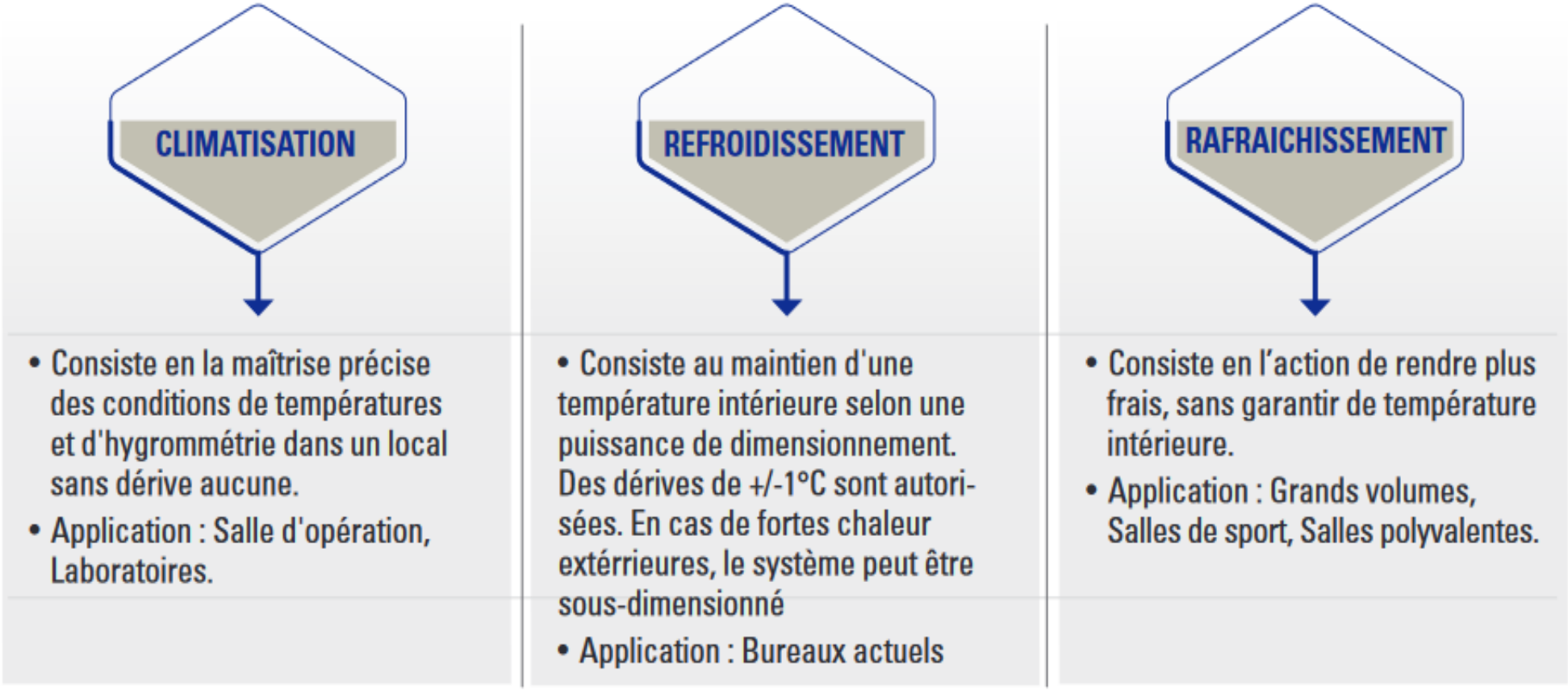
	Fabrication et mise en service	Maintenance des équipements	Emissions fugitives	En fin de vie des équipements
Résidentiel	37,5	34,8	320,8	587,6
Tertiaire	26,7	101,4	646,3	163,3

Figure 9 : Quantités de gaz frigorigènes s'échappant annuellement des systèmes de climatisation (tonnes)
Source : Modélisation ADEME – CODA Stratégies

Source : ADEME, La climatisation de confort dans les bâtiments résidentiels et tertiaires, https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/4745-la-climatisation-de-confort-dans-les-batiments-residentiels-et-tertiaires.html

Contexte

Rappel des définitions :



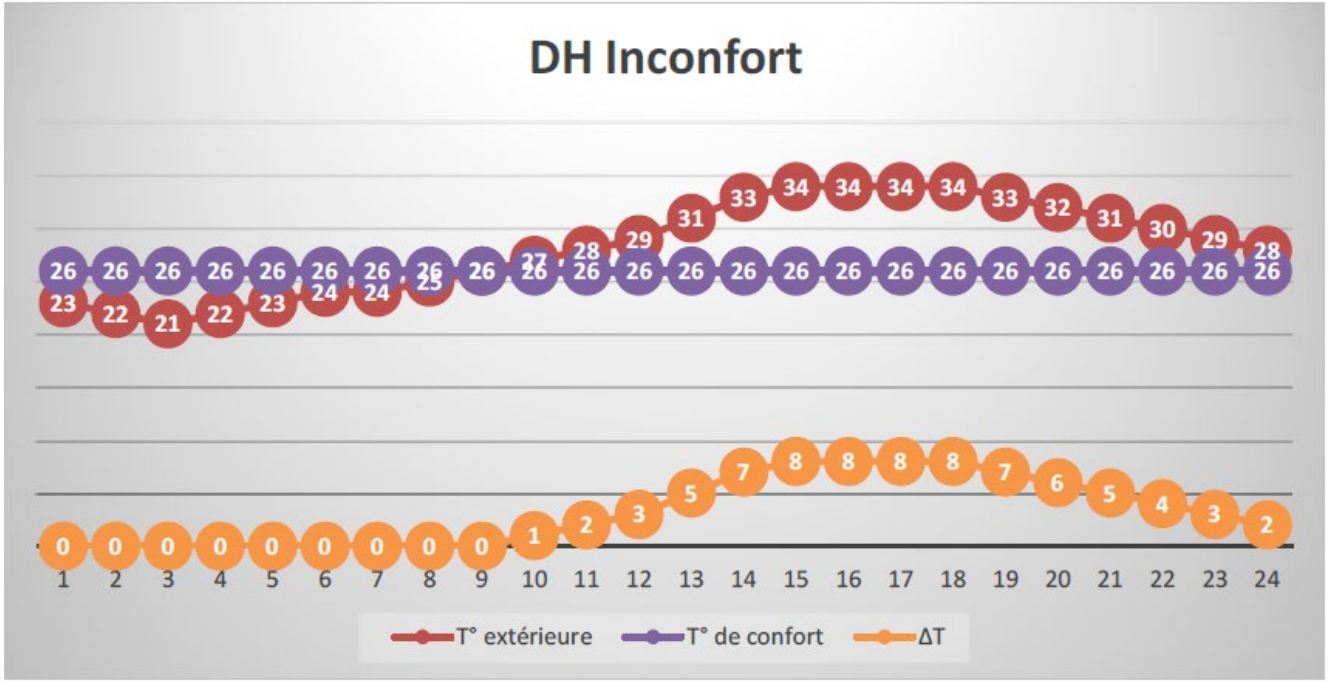
Source : programme Profeel, https://programmeprofeel.fr/ressources/guide-les-solutions-de-rafraichissement-adiabatique-dans-les-batiments-tertiaires-en-renovation/

Contexte

Rappel des définitions :

Degré Heure d'inconfort (DH en °C.h) :

- Cumul **chaque degré supérieur à la température de confort**, sur **chaque heure.**
- Outil d'**évaluation** du niveau d'inconfort
- Température de confort de 26°C la nuit / de 26 à 28°C le jour.
- Obj RE2020 pour du **logement collectif : DH_max = 1250 C°.h (annuel).**



Cumul des DH sur 24 h : DH = 77 °C.h. Source : ALTE 69 & HELIASOL

Dispositifs Passifs et stratégies de confort d'été

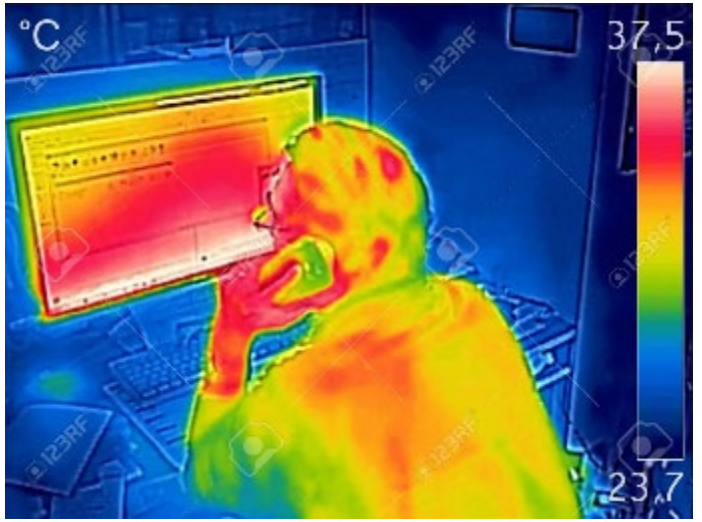
Dispositifs passifs

Gestion des apports internes :

Réduction des apports internes → allègement des besoins en climatisation & économie d'électricité !

Quelques pistes en brefs :

- **Eclairage :** Eclairage performants, commande automatique, réduction de la puissance installée
- **Bureautique :** Remplacement des unités centrales par des PC portables **(100 W_th contre 20 W_th !)**, veille automatique, extinction des appareils.



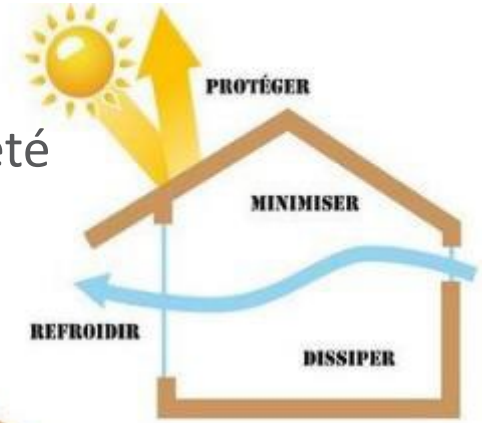
Pour aller plus loin :

Enertech, https://www.enertech.fr/wp-content/uploads/modules/catalogue/pdf/44/confort%20ete_reduction%20apports%20internes%20bureaux.pdf
Energie-plus, https://energieplus-lesite.be/theories/bilan-thermique44/charges-thermiques-internes-pour-les-bureaux/

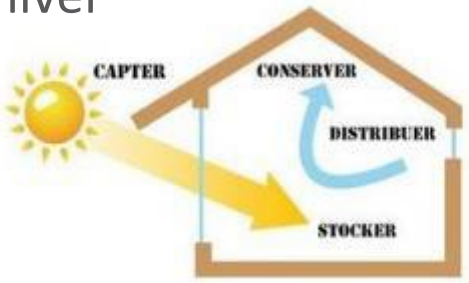
Dispositifs passifs

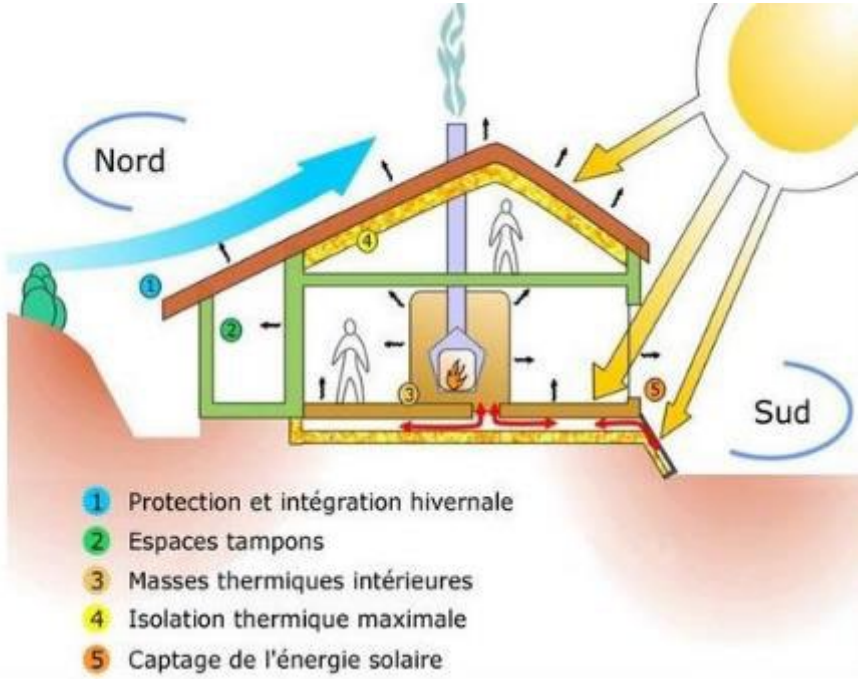
Protections solaires fixes & conception bioclimatique :

Stratégie d'été



Stratégie d'hiver





1er réflexe → Analyse bioclimatique d'un site

Compacité, orientation, protection vent, sas / flux usager, occultations, diffusion flux de chaleur, accès lumière…

Dimensionnement casquette solaire

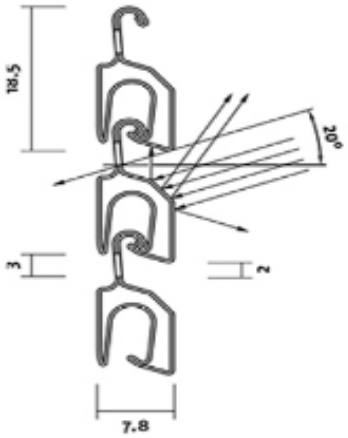
http://ines.solaire.free.fr/masquefenetre.php
https://energieplus-lesite.be/concevoir/fenetres2/dimensionner-une-protection-solaire-fixe/

Dispositifs passifs

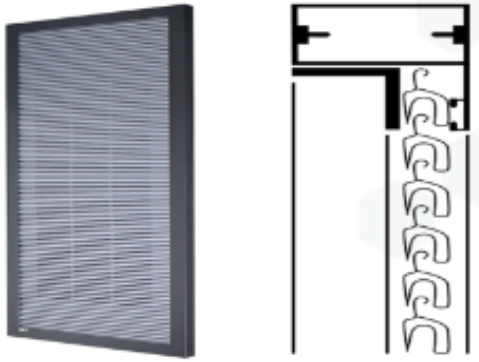
Protections solaires – solutions mobiles :

BSO (Brise Soleil Orientable)

Volet « Grille » type S_ONRO®



- Energie solaire entrante maitrisée jusqu'à 90% (avec soleil 20° au-dessus de l'horizon)
- Classe de résistance aux vents jusqu'à 6* (26m/S), équivalent à de violentes tempêtes



Fabricants : ATES, MHZ, Aluprof, Climax…

Dispositifs passifs

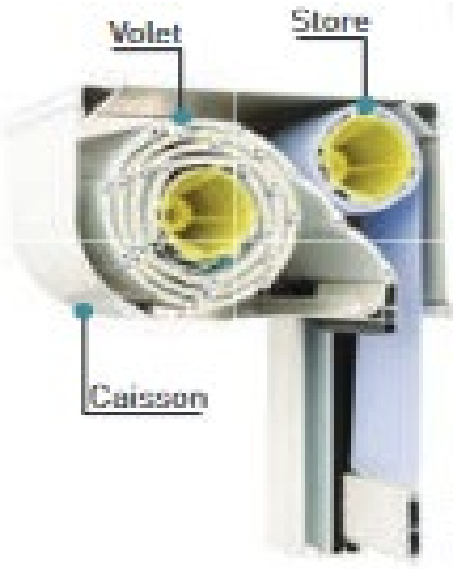
Protections solaires – solutions mobiles :

Le store screen <u>extérieur</u>

- Jusqu'à **95% de l'apport en soleil filtré** (selon matériau et couleur)
- Motorisation possible

- **Fonction moustiquaire** (version coulisse uniquement)
- Conservation **luminosité** et **visibilité** depuis l'intérieur

Solution complète : le Volet et Store Vertical



Un produit 2 en 1
+ utilité moustiquaire

Dispositifs passifs

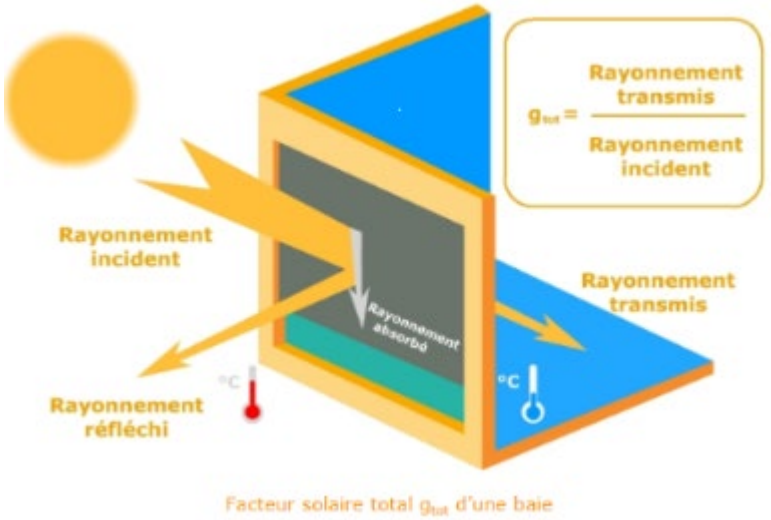
Performances des menuiseries et protections solaires (Sws, Gtot) :

✓ **Un facteur solaire Sw défini pour les menuiseries**

Ex: Fiches CEE résidentiel Uw<=1,3 Sw >= 0,3
Ex: Fiches CEE tertiaire Uw<=1,3 **Sws <=0,35**
Sws (screen) considéré y compris les protections solaire

✓ **Un coeff Gtot pour les stores, associés aux vitrages**

(cf norme EN 14501 : « *Fermetures et stores - Confort thermique et lumineux* »)
G tot caractérise l'énergie solaire qui pénètre dans la pièce à travers le store et le vitrage.
Un « gtot » faible indique une bonne performance thermique d'été.



Facteur solaire total g_{tot} d'une baie

Sws : facteur solaire baie vitrée + protection solaire (ou fermeture):
s • Sws = s • Gtot + (1-s) • Sf

Exemple de gain en confort par stores toiles ou BSO

	Nbe d'heures > 27°C
Stores existants	133
Stores toiles (gtot=0,12) avec occullation à 60%	44
BSO (gtot<0,10) avec occultation 80%	5

CLASSES DE FACTEUR SOLAIRE TOTAL GTOT (SELON EN 14501)

Classe	gtot1	Evaluation
4	gtot < 0,10	Très bon effet
3	0,10 ≤ gtot < 0,15	Bon effet
2	0,15 ≤ gtot < 0,35	Effet modéré
1	0,35 ≤ gtot < 0,50	Peu d'effet
0	gtot ≥ 0,50	Très peu d'effet

Dispositifs passifs

Protections solaires – solutions mobiles :

Parmi ces occultations, lesquelles sont efficaces pour protéger des surchauffes en été ?

- Stores extérieurs (store textile ou store screen extérieur)
- ~~Stores intérieurs (store textile ou store screen intérieur)~~
- BSO (brise soleil orientables)
- ~~Rideaux intérieurs / Stores vénitiens intérieurs~~
- Volets battants ou roulants extérieurs
- ~~Volets intérieurs~~
- Stores « grille » extérieurs (S_ONRO®)
- Volets mixtes Volet & Store Vertical (VSV)
- Traitements solaires des vitrages

Les protections intérieures ne sont pas efficaces

Dispositifs passifs

films solaires :

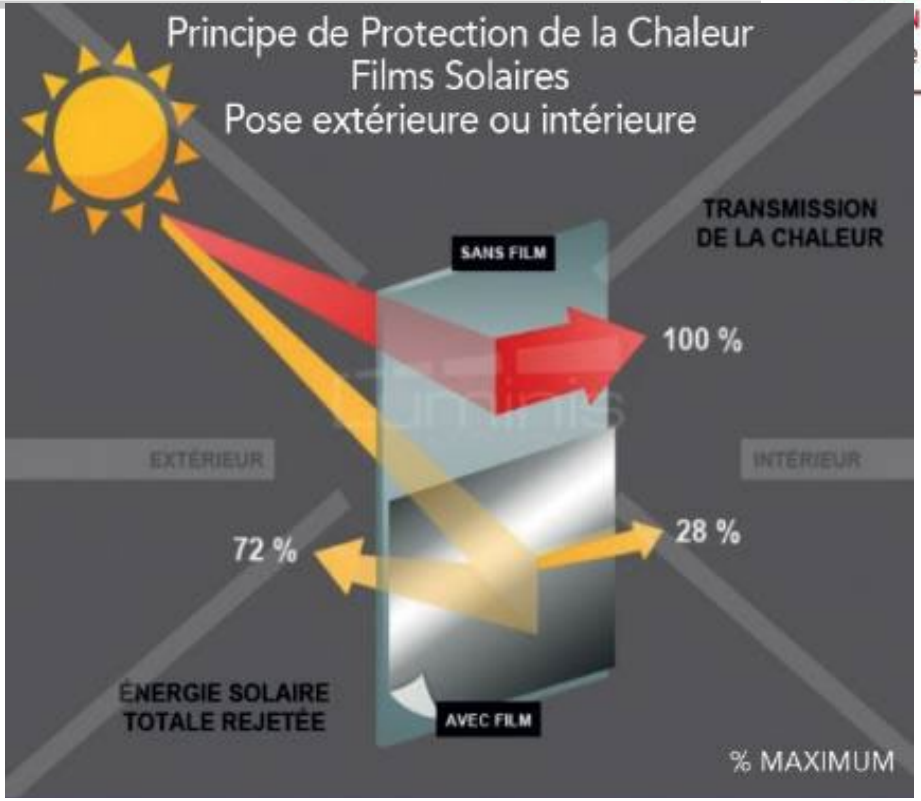
Film solaire ou **Verre à contrôle solaire**,

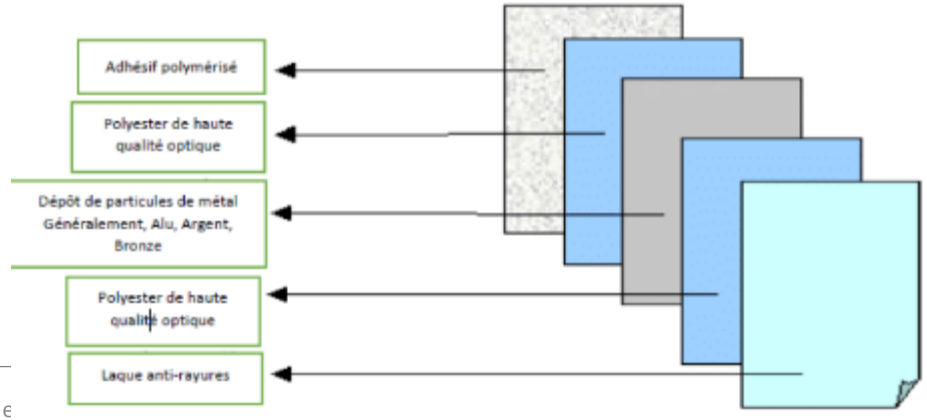
Efficace, notamment couplé à des brasseurs d'air, mais

=

Réduction des apports solaires thermique et lumineux

Été et Hiver



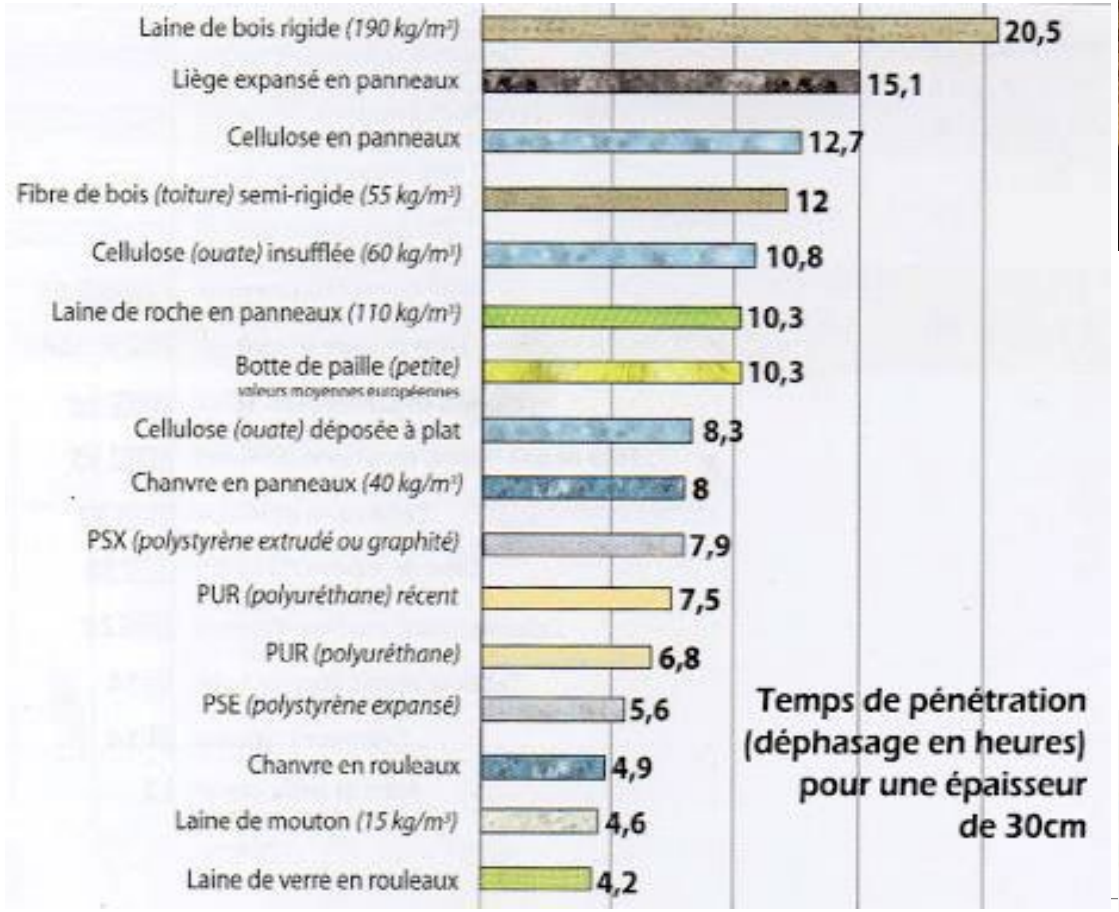


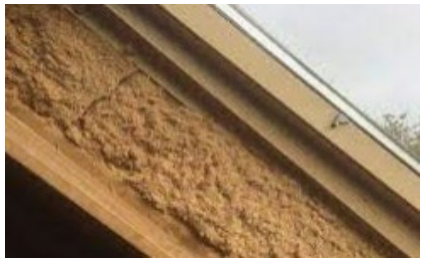
Privilégier les protections extérieures (occultations, avancé de toit, bandeaux latéraux, végétalisation caduque…)

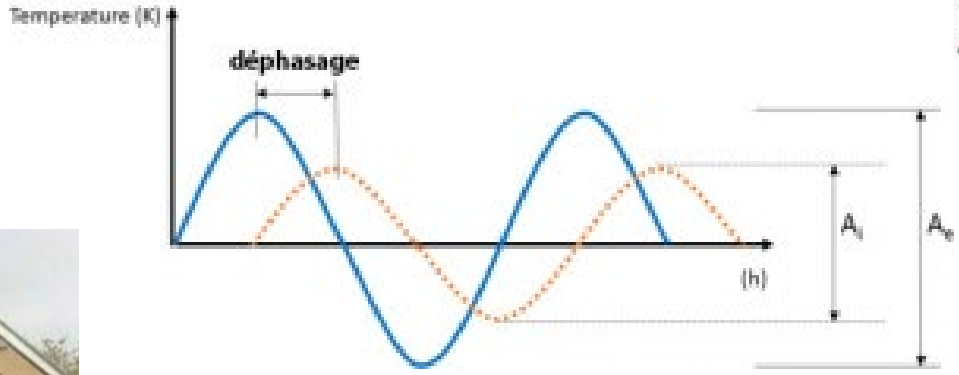
Dispositifs passifs

Inertie thermique & déphasage

Le déphasage **ralenti** la progression **du flux de chaleur**







⇒ Déphase long : Chaleur stockée la journée puis évacuée la nuit

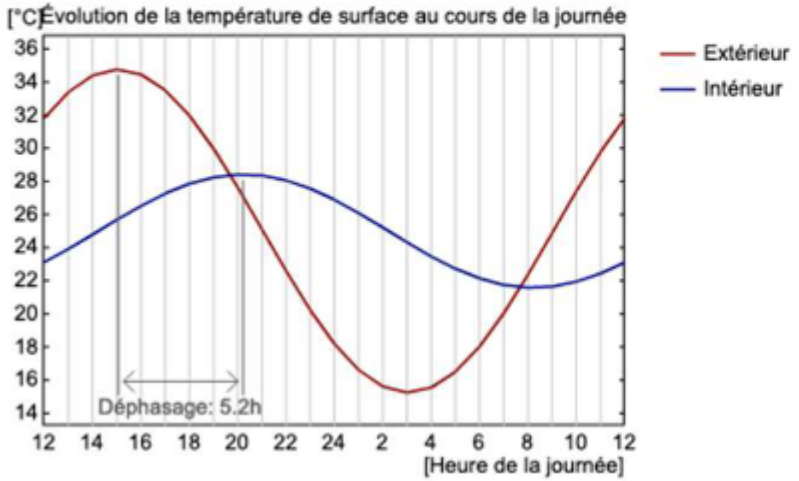
Isolant < 30 cm = Déphasage obligatoire!

Dispositifs passifs

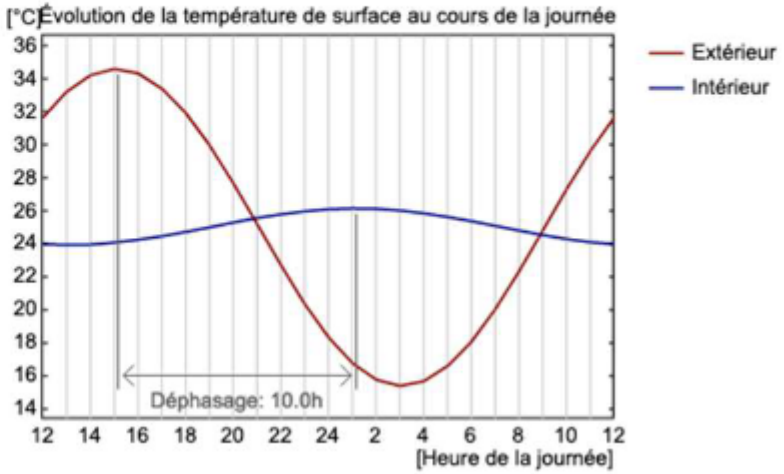
Inertie thermique & déphasage

Illustration de la notion de déphasage et d'inertie thermique

Déphasage court – 5h



Déphasage long – 10h



Source : https://ubakus.de/

Déphasage de **10 à 12 heures** => Chaleur **stocké la journée** puis **évacué la nuit**

Dispositifs passifs

Sur-ventilation nocturne (ou free cooling de nuit) :

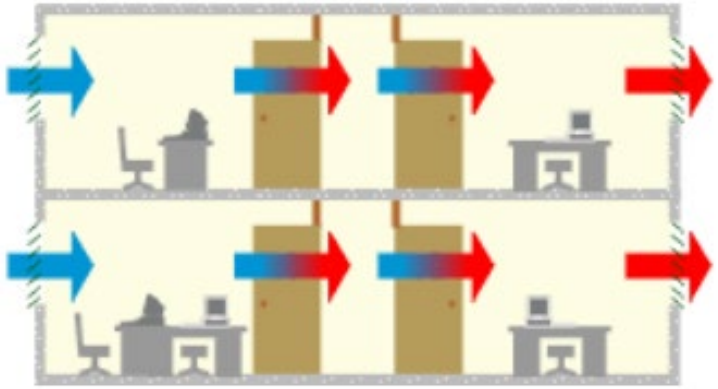
- Décharge nocturne par convection de la **chaleur accumulée** en journée
- La source peut être **naturelle** ou **mécanique** (VMC SF/DF)
- Le **taux de renouvellement** doit être élevé (de 2 v/h à 6 voire 8 v/h en ventilation naturelle)

Credit : energieplus-lesite.be

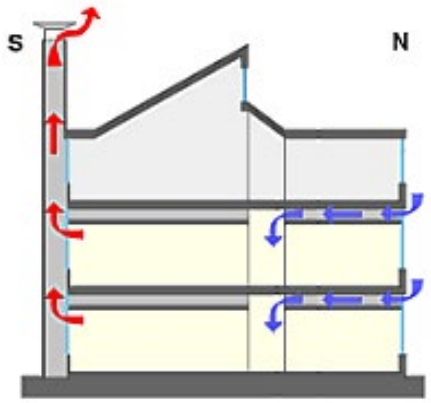
Dispositifs passifs

Sur-ventilation nocturne naturelle :

Tirage par ventilation transversale



Tirage par cheminée verticale



En façade Sud, l'effet de tirage thermique des cheminées est renforcé par des blocs de verre chauffés au soleil.

Grille de ventilation devant l'ouvrant

Dispositifs passifs

Sur-ventilation nocturne naturelle :

Conditions de réussite :

- Inertie du bâtiment **suffisante**
- Ouvertures de ventilation ≥ **2% de la surface** des locaux
- Occupants disciplinés dans la gestion des ouvertures **OU** commande automatique
- Protections solaires **efficaces** (charge externe réduite).
- Pour une **ventilation mécanique**, dimensionner le réseau pour le renouvellement maximal => limitation des pertes de charges et surconsommation des ventilateurs.
- Attention une ventilation DF peut dégrader le confort thermique en journée si fort renouvellement d'air

Gains potentiels :

Exemple Energie plus → bureau de 3000 m^2, débit de 4v/h , ouverture automatisée, inertie thermique importante :

Consommation de la climatisation réduite de **44%**

Source : Energie-plus, https://energieplus-lesite.be/techniques/ventilation8/ventilation-intensive/ventilation-intensive-naturelle-d-ete/

Dispositifs passifs

Blanchissement des parois – cool roof :

Nombreux bénéfices induits par ce procédé des « toits frais » (cool roof) :

- ✓ Réduction importante des coûts et pollutions (GES Fluides) liés au refroidissement (diminution voire non recours à la climatisation)
- ✓ Augmentation du rendement des panneaux photovoltaïques et groupe froid
- ✓ Amélioration du confort d'usage des bâtiments (gain jusqu'à 10°C)
- ✓ Lutte contre l'Effet «Ilot de Chaleur Urbain» (ICU)
- ✓ Prolongement de la durée de vie de l'étanchéité
- ✓ Protection d'éléments sensibles à la chaleur solaire

UNE ECOLE DANS L'AUDE ▶ Travaux réalisés en 08.2019 ▼

T°C	AVANT	APRES
Surface	80.0°C	38.0°C
Intérieure	31.3°C	25.1°C

Exemple groupe Scolaire à Narbonne

Applications : Ecoles, bureaux, ateliers de production, serres

…

Produits/solutions : LUMIFORTE (Ets Sudlac) , XOTHERM,.

Dispositifs passifs

Cool roof – REX Blanchisserie industrielle Esat St Agnes à St Egrève :

- ✓ Application peinture réflective réalisée en Juillet 2021 par l'entreprise Climlikid , couplée à un module de rafraichissement adiabatique

Produit Xotherm :

- ✓ Peinture en phase aqueuse, à très faible émission de COV (<1g/L; Valeur max UE 140g/L)
- ✓ Application sur tous types de supports secs et sains
- ✓ 84% de réflexion du rayonnement solaire, pigments thermo réflectifs
- ✓ Certifiée / CSTB pour durée d'efficacité > 20 ans

- ✓ Env 30€HT/m² pour 1000m² (fourniture, nettoyage, application), 20€ pour 10000m²
- ✓ Cout 28k€ pour 900m2

Aides financières :

fiche C.E.E : BAT-EN-112 (aides environ 1€/m²).

GAM via Dispositif MurMur TPE/PME : 30% des travaux

Dispositifs passifs

Végétalisation :

Façades & toitures vertes :

- **Atténuation du « piégeage radiatif » dans les « rues canyons » → jusqu'à 4°C de moins dans la rue.**
- **Stabilisation des températures des parois**

Facade Hotel de Ville Seyssinet Pariset

La mise en œuvre peut dépendre de l'homogénéité d'un quartier (règlement d'urbanisme, …)

Culture de houblon en façade

Toiture Ecole Lucie Aubrac Grenoble

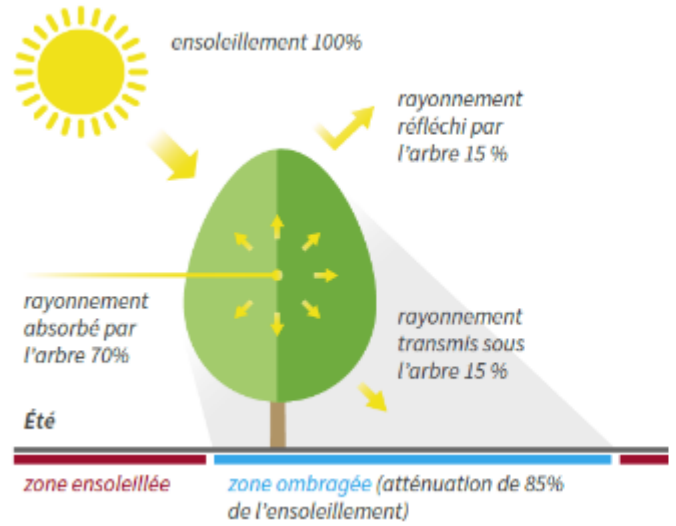
Dispositifs passifs

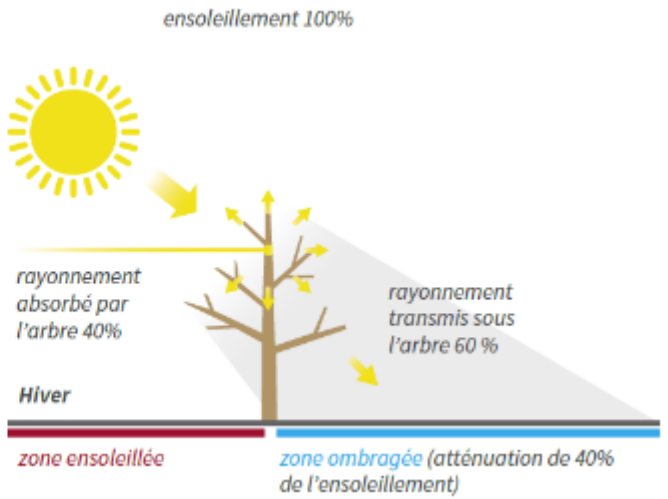
Végétalisation :

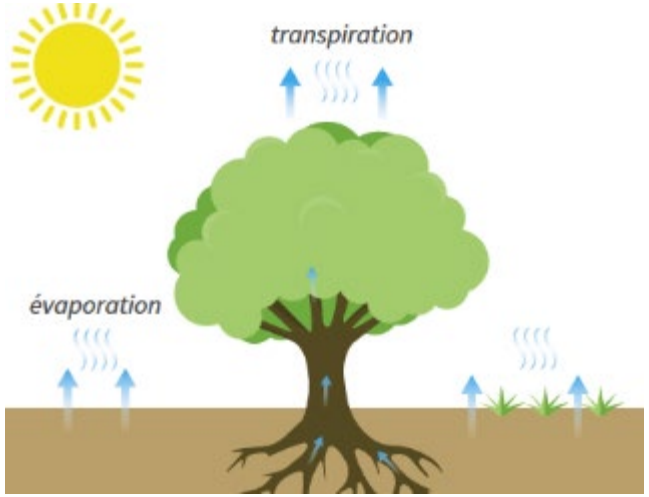
Arbres en espace urbain, à proximité des bâtiments :

- **Absorption & réflexion d'une partie de l'ensoleillement**

- **Rafraichissement par évapotranspiration**







Puissance de rafraîchissement moyen de **40W/m² de surface végétal**

•Refer. Bibliog. Pag. 321 arquitectura bioclimatica en un entorno sostenible F. Javier Neila Gonzalez

Source : ADEME, "Aménager avec la nature en ville", https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/1170-amenager-avec-la-nature-en-ville-9791029711794.html

Dispositifs passifs

Végétalisation – l'école Marcel David Echirolles :

- Campagne de mesure (**32 capteurs**) pour mesurer **l'ICU (Îlot de Chaleur Urbain)**
- Identification d'un fort ICU sur le quartier **la Ponatière** → focus sur **la cour d'école** (grande surface imperméabilisé).

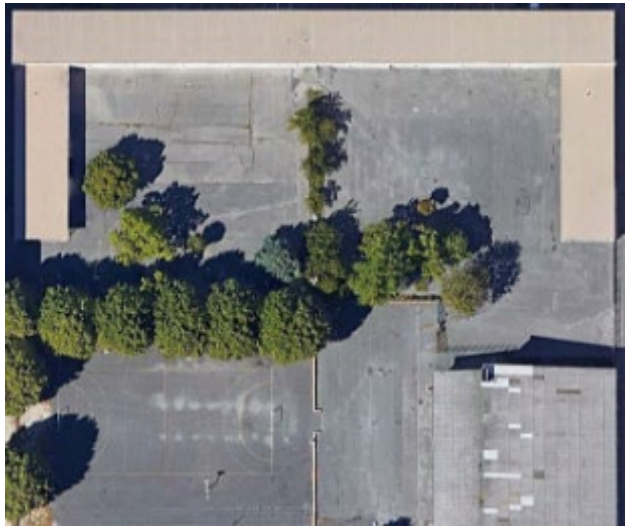
Résultat de la campagne de mesure sur Echirolles

Avant :

8 350 m²

94 % d'espaces imperméabilisés

27 arbres



Après :

76 % d'espaces perméabilisés (v.s. 6% avant)

27 arbres conservés + 90 plantés

1 650 m² de gazon/prairie

Dispositifs passifs

Végétalisation :

Arbres en espace urbain : REX Lyon végétalisation de la rue Garibaldi :

Les voies de circulation piétonnes, cyclistes et motorisées délimitées par les arbres
© Alain Marguerit – Ateliers Paysages

Chiffres Clés

- L'ombre offerte par les arbres permet de gagner jusqu'à 10°C de température ressentie[1].
- L'installation du béton désactivé de couleur : -20°C de moins au sol comparé à un bitume classique[1].
- En réhabilitant la rue Garibaldi il a été constaté une diminution des émissions de benzène de l'ordre de 60%, une diminution de monoxyde de carbone de l'ordre de 46% et une diminution de dioxyde de carbone et de soufre de l'ordre de 21%[2].

Source : ADEME, "Vegetaliser : agir pour le rafraichissement urbain", https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/20-vegetaliser-agir-pour-le-rafraichissement-urbain-9791029715655.html

Dispositifs passifs

Géothermie – Puits Provençal :

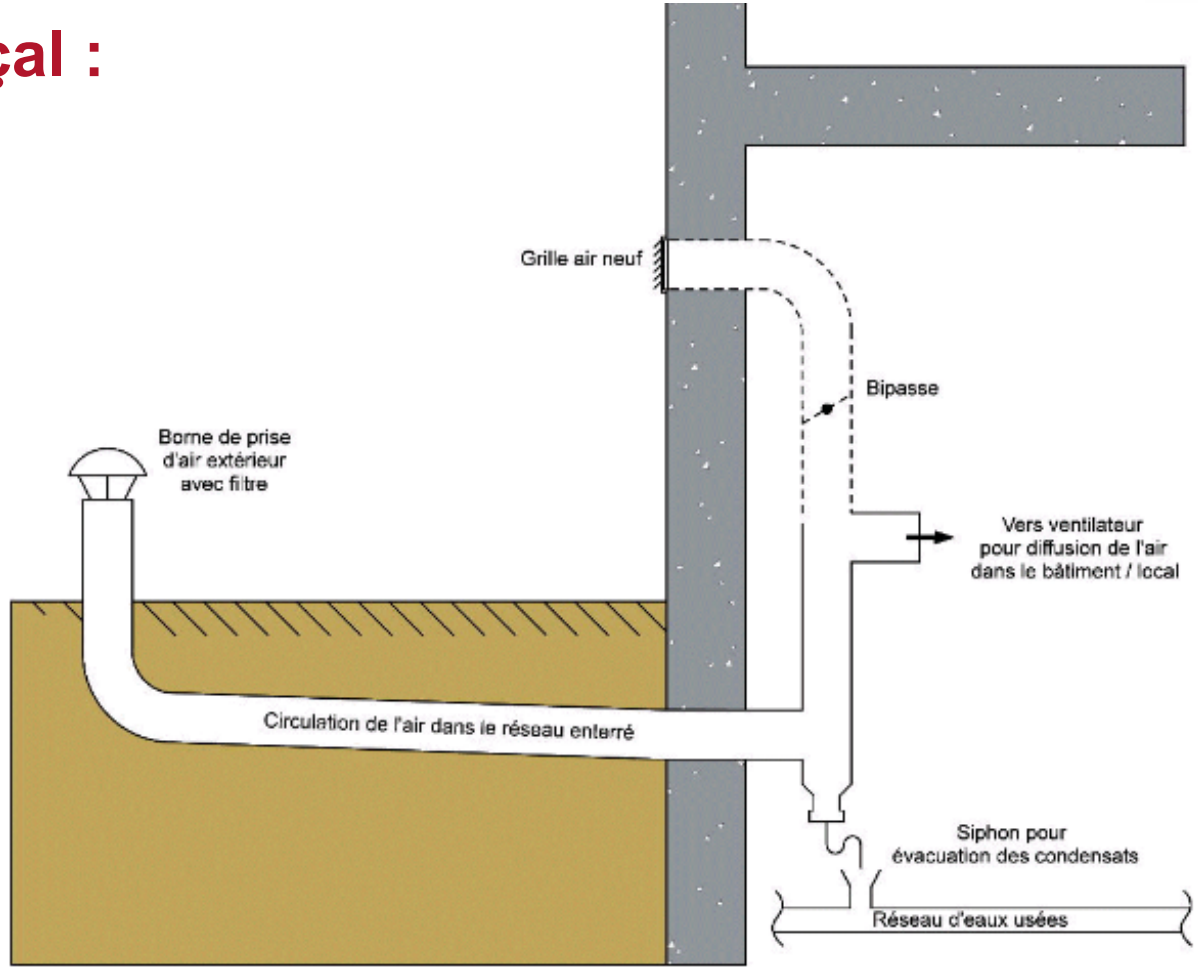
Rappel du principe :

Récupération des « frigories » dans le sol par circulation de l'air.

Conditions de réussite & limites:

- Couplage avec VMC DF
- Efficacité limité pour un puits canadien « classique » vis-à-vis de la VMC DF seule
- Efficacité améliorée avec puit provençal ***hydraulique*** en ***aval*** de la VMC

Un puit provençal mal conçu peut être contre-productif



Source : PassivAct, https://passivact.fr/Concepts/files/PuitsClimatique-Principes.html

Dispositifs passifs

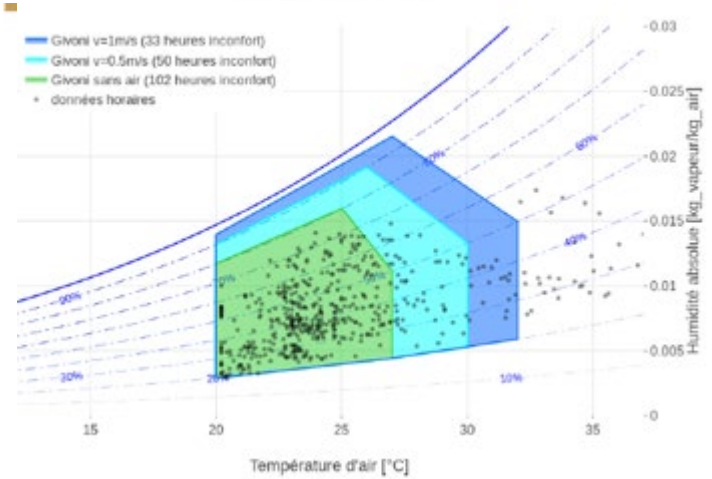
Le brassage d'air

STD réalisée par Oteis sur une école de Grenoble :

Confort hygrothermique

- Le confort thermique n'est pas seulement la température opérative

- Diagramme Givonni : Prise en compte de l'effet rafraichissant des mouvements d'air
  - Causé par la ventilation naturelle ou un brasseur d'air plafonnier
  - Peut diminuer de 3-4°C la température ressentie, et ainsi agrandir la zone de confort



Avec un brasseur d'air, l'inconfort serait réduit à :

- **50h/an pour** une vitesse d'air de 0.5m/s
- 33h/an pour une vitesse d'air de 1m/s.

ETUDE D'AMELIORATION DU CONFORT THERMIQUE ESTIVAL - ECOLE ELEMENTAIRE LEON JOUHAUX - 23/02/2021

Dispositifs passifs

Bilan sur les dispositifs passifs :

STD réalisée sur une école de Grenoble par le bureau d'études OTEIS :

Travaux	Tmax	Nbe d'heures >28°C	Cout unitaire	Cout / classe
Existant sans prise en compte des arbres (stores extérieurs en toile anciens)	38,7°C	**100**		
Existant avec prise en compte de l'ombrage (partiel) lié aux arbres implantés	38,1°C	**91**		
film solaire sur le vitrage en remplacement des stores existants	36,7°C	**73**	**50 €HT/m²**	**736**
Implantation d'arbres supplémentaires, proches de la façade	36°C	**53**		
Mise en place d'une casquette de 1m de large (pour facades sud)	35,2°C	**55**	Casquette pleine : **459 €HT/m²**	3 905
			Brise-soleil à lames fixes : **558 €HT/m²**	4 741
Mise en place d'une casquette de 2m de large (pour facades sud)	34,9°C	**47**		
Protection solaire extérieure plus efficace (type BSO)	34,4°C	**39**	BSO motorisé : **280 €HT/m²**	4 124
			Store toile motorisé : **250 €HT/m²**	3 711
film solaire sur le vitrage + brasseurs d'air en plafond avec vitesse 0,5 m/s		**39**	brasseurs d'air à pales : **520 €**	2 400
film solaire sur le vitrage + brasseurs d'air en plafond avec vitesse 1 m/s		**22**	brasseurs d'air sans pales : **850 €**	3 300
Double-vitrage à contrôle solaire et stores intérieurs	37,4°C	**99**		

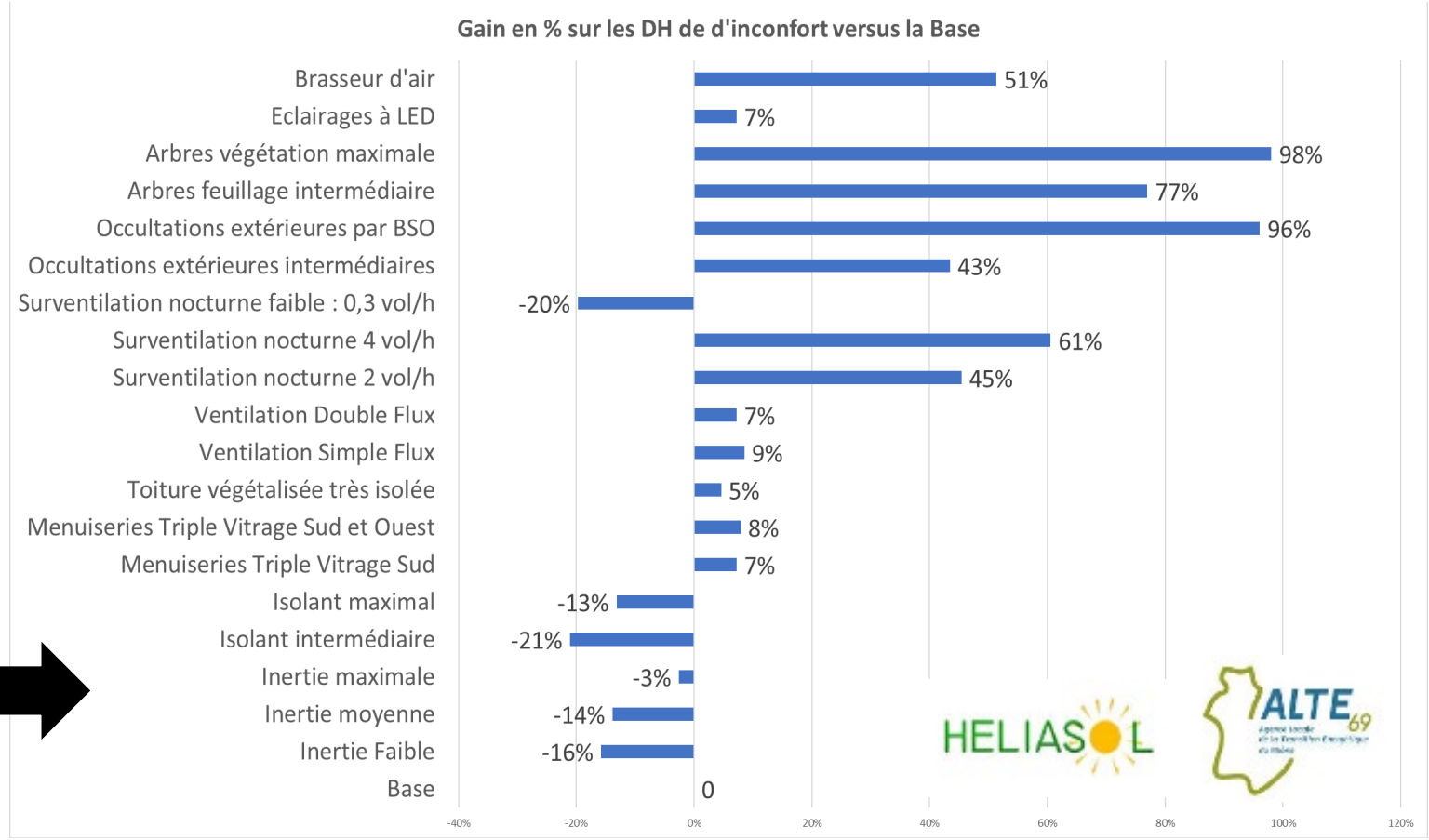
Dispositifs passifs

Bilan sur les dispositifs passifs :

Multiples STD faites sur un bureau d'un groupe scolaire :

- **Orienté Sud-Est**
- **Bâti ancien (mur calcaire 50 cm)**
- **1 Occupant (80W), 300 Lux**
- **6 mai à 7 juillet, 9h à 18h**

Ordre de grandeurs des gains réalisés par les différents dispositifs



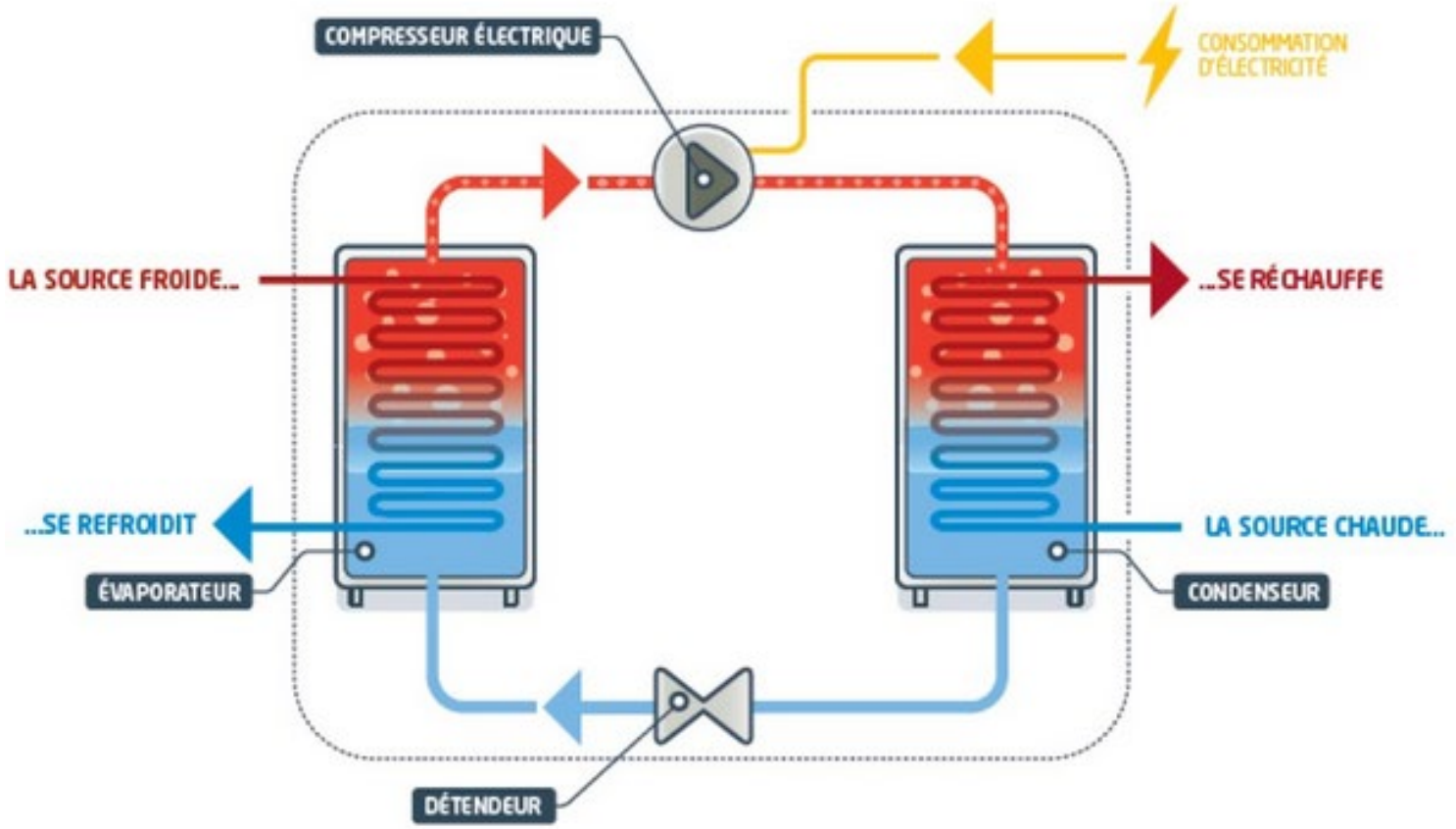
Source : ALTE 69 & HELIASOL, Outil confort été

Questions/Partages ?

Systèmes actifs sur air

Système actif sur air

Principe de la Pompe à Chaleur PAC : Rappel



Systèmes actifs

Systèmes d'émissions de refroidissement – 3 grandes familles :

Installations centralisées « tout air »

- Rafraichissement par le biais du réseau de distribution d'air hygiénique → Débit d'air de rafraichissement **très important (*10 / débit hygiénique).**

  Adapté si fort taux d'occupation, grand volume

Installations sur « boucles d'eau »

- Transport thermique sur « eau glacée » jusqu'aux unités terminales → **Encombrement moindre** d'un réseau hydraulique. (l'eau nécessite 3000x moins de volume que l'air pour le transport de chaleur/froid)

Installations à détente directe

- Pas de transport de « frigories » → détente du fluide directement dans les locaux

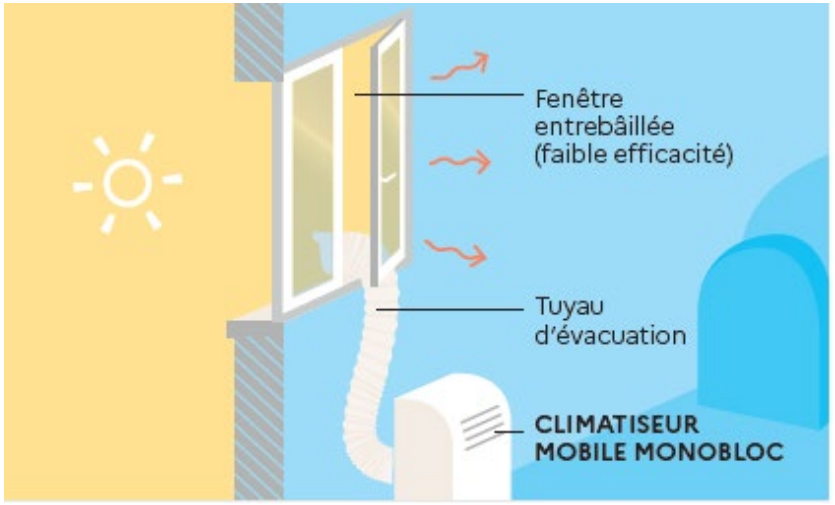
  climatiseurs, PAC Air/Air réversible, systèmes DRV

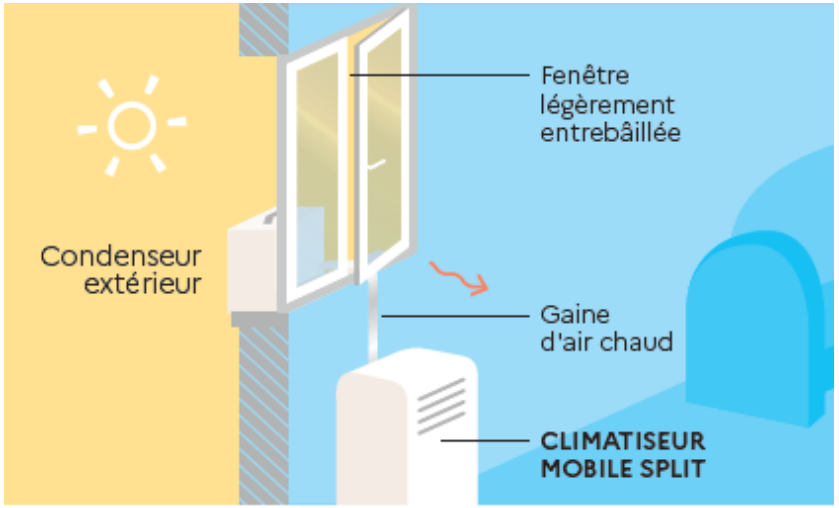
Source : https://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/systemes-d-emission-de-froid/grandes-familles-de-systemes-de-refroidissement/

Systèmes actifs

Systèmes de production :

Climatiseurs mobiles (monobloc ou split)





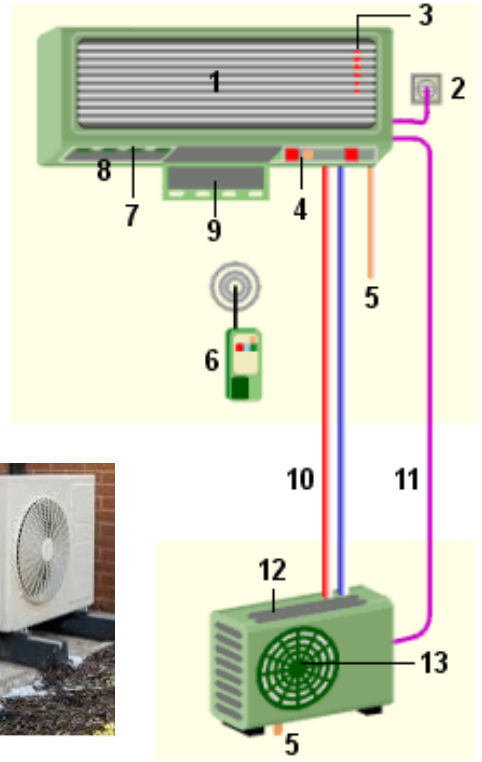
*Système de **secours à éviter au maximum** (consomme **2,5 x plus** qu'un climatiseur fixe)*

Source : ADEME, « Chaud dehors frais dedans : garder son logement frais en été », juin 2021

Systèmes actifs

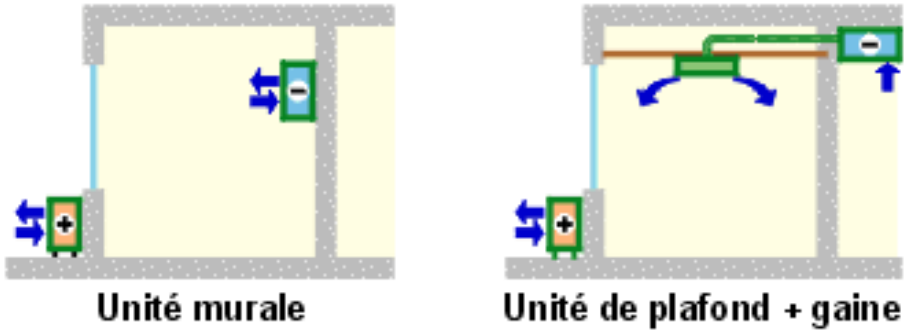
Systèmes de production – résidentiel/petit tertiaire :

Climatiseurs fixes (mono ou multi-split) / PAC Air – Air réversible

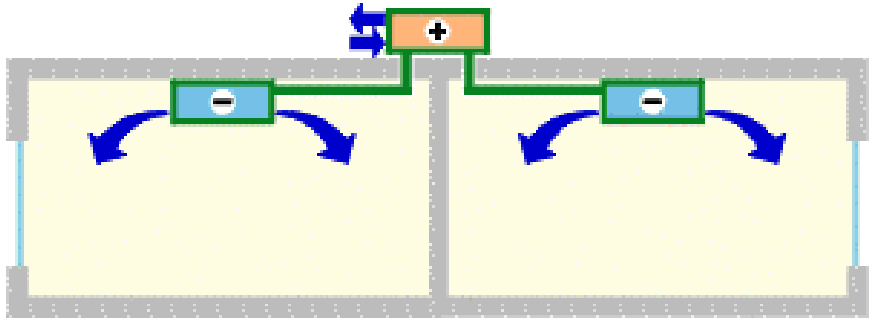


1 : air repris dans le local
2 : alimentation électrique
3 : sonde de température de reprise d'air
4 : commande unité intérieure
5 : évacuation des condensats
6 : télécommande
7 : volet réglable
8 : air soufflé dans le local
9 : filtre à air
10 : liaison du fluide frigorigène R22
11 : raccordement électrique
12 : air repris à l'extérieur
13 : air soufflé à l'extérieur

Mono-split :



Multi-split :



Source : ADEME, https://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/systemes-d-emission-de-froid/systemes-autonomes-a-detente-directe/climatiseur-individuel-d1/

Systèmes actifs

Performances CEE (garde-fou) PAC Air/Air:

Rappel sur les performances exigées sur les PAC Air/Air réversibles par la fiche CEE BAT-TH-158:

P_nom ≤ 12 kW	
SCOP	**4,2**
SEER	**6**

	P_nom > 12 kW	
	PAC rooftop*	**PAC (hors rooftop)**
ETAS Chauffage	130 %	145 %
ETAS Refroidissement	150 %	250 %

* *intégrant le chauffage, le refroidissement, la ventilation, le rafraîchissement par surventilation nocturne et la filtration*

- **SCOP** : Coefficient de performance **saisonnier** en mode **chauffage**
- **SEER** : Coefficient de performance **saisonnier** en mode **refroidissement**
- **ETAS (η saisonnier)** : Coefficient de performance en **énergie primaire**

Systèmes actifs

Performances CEE (garde-fou) PAC Air/Eau ou Eau/Eau:

Rappel sur les performances exigées sur les PAC Air/Eau ou Eau/Eau par la fiche CEE BAT-TH-113:

	P_nom ≤ 400 kW	
	PAC moyenne et haute température	**PAC basse température**
ETAS	111 %	126 %

P_nom > 400 kW	
COP*	3,4

* ***Coefficient de Performance*** *mesuré conformément à la norme EN 14511-2*

Moyenne et haute température : **60 ~ 80 °C**

Basse température : **35 ~ 45 °C**

Systèmes actifs

Systèmes de production de froid – tertiaire :

Groupe Froid ou « Chillers » :

- Même principe de **circuit frigorifique**, avec **évaporateur sur boucle d'eau**
- **Refroidissement par batterie froide sur CTA ou via ventilo-convecteur / plancher rafraichissant**
- **Avantage de l'eau glacée : permet le stockage de froid via ballon tampon**

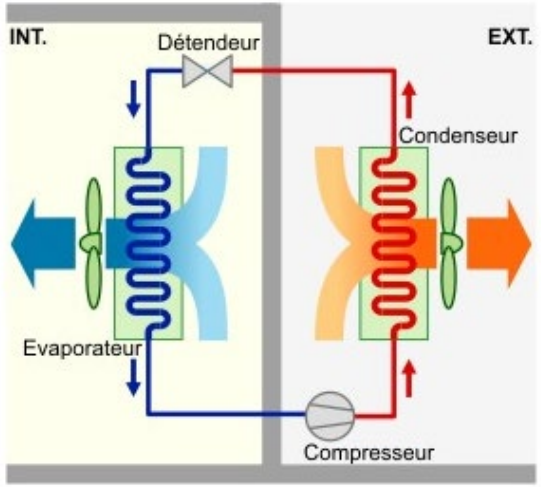
Air Cooled Chillers for industrial applications. Credit photo : Frigel

Systèmes actifs

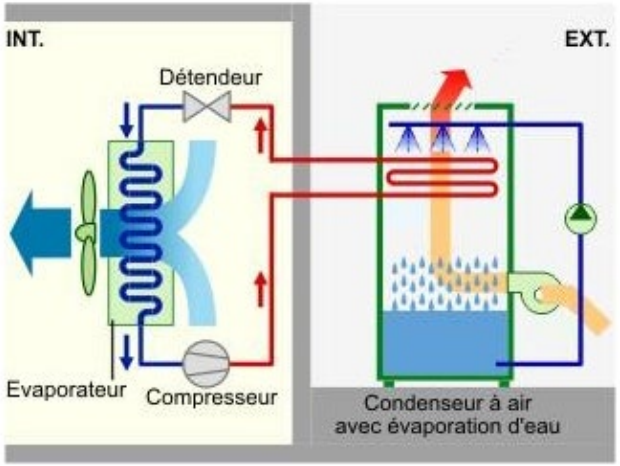
Systèmes de production de froid – tertiaire :

Condenseur à air peu performant par fortes chaleurs → condenseur « adiabatiques »

Couplage avec un système de récupération d'eau de pluie possible



Condensateur à air



Condensateur évaporatif/adiabatique

Air Cooled Chillers for industrial applications. Credit photo : Frigel

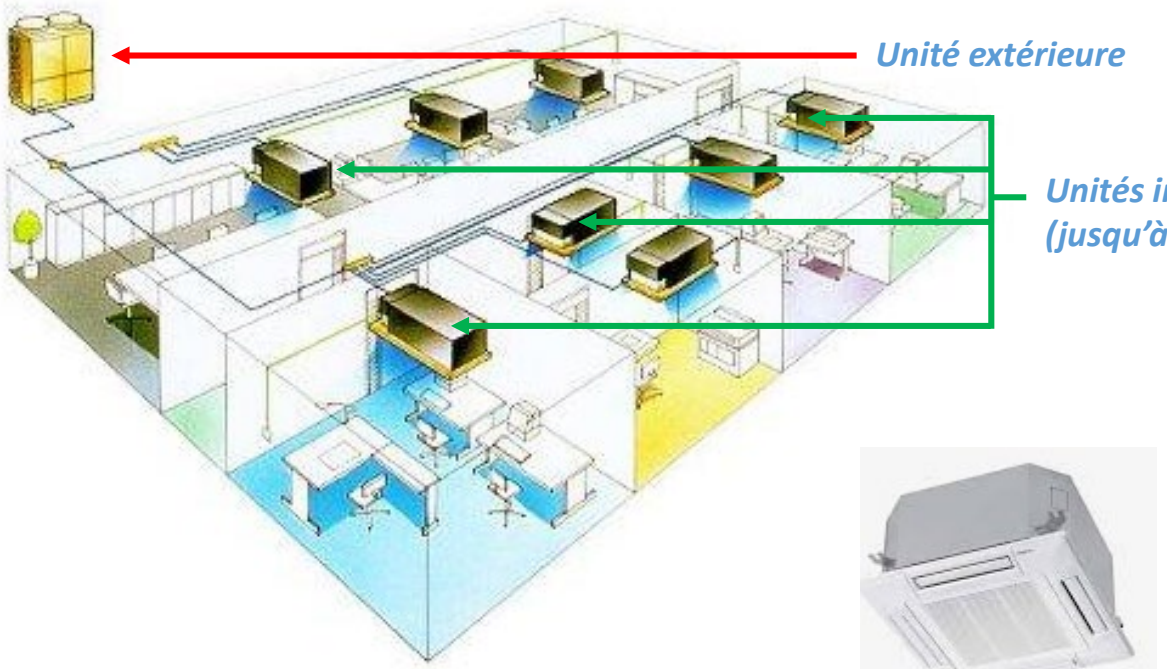
Source : https://energieplus-lesite.be/concevoir/froid-alimentaire3/choisir-le-condenseur-de-la-machine-frigorifique/

Systèmes actifs

Systèmes de production de froid – tertiaire :

VRV ou DRV (Débit Réfrigérant Variable) :

- A détente directe : réseau de fluide frigorigène qui circule dans le bâtiment
- **Grande pilotabilité pour chaque pièce (débit variable).**
- **Système réversible**
- **Souplesse → production de chaud et froid en simultané possible !**

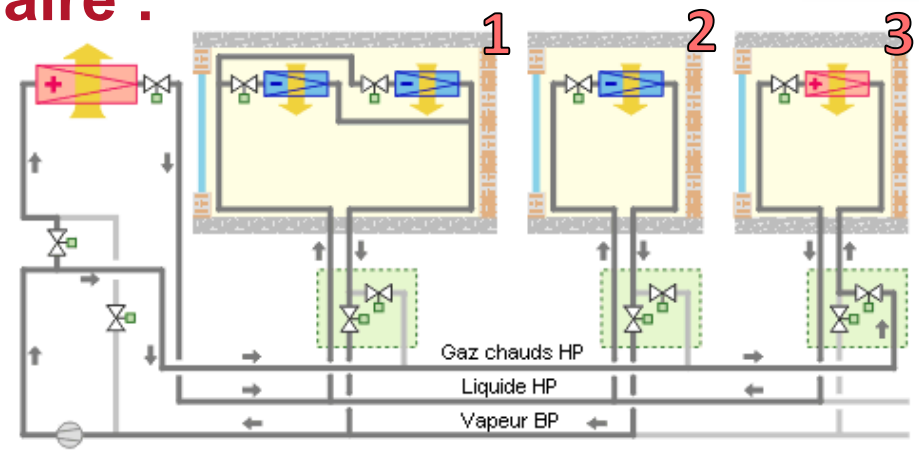


Systèmes actifs

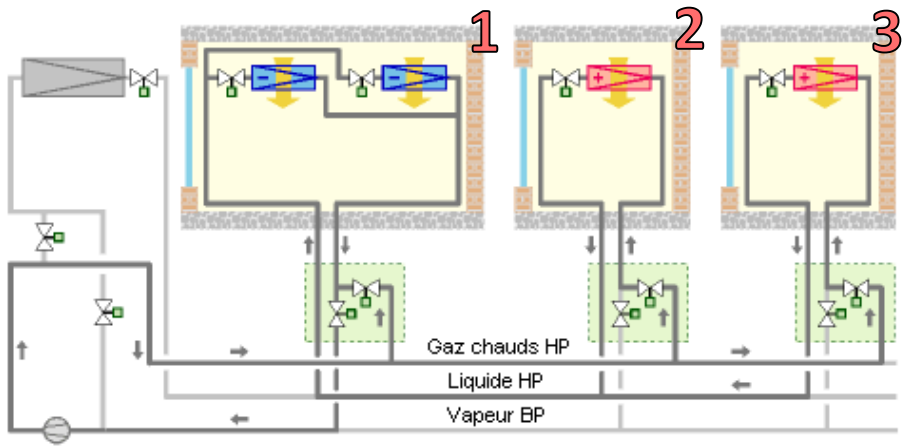
Systèmes de production de froid – tertiaire :

VRV ou DRV (Débit Réfrigérant Variable) :

- Système réversible pour création de **chaleur**
- **Régulation sophistiquée offre une grande souplesse → production de chaud et froid en simultané !**



Fonctionnement en "froid majoritaire".



Fonctionnement en "équilibré".

Source : https://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/systemes-d-emission-de-froid/systemes-autonomes-a-detente-directe/climatisation-a-debit-de-refrigerant-variable/

Systèmes actifs

DRV : Rex bâtiment ESP'ACE :

- ✓ Bâtiment tertiaire de 1400 m2 mis en service en 2015, occupé par SPL ALEC AGEDEN Atmo Aura
- ✓ Système VRV PAC sur Air
- ✓ Chauffage 100kW/Climatisation 90kW. 2 zones Nord Sud
- ✓ Ventilation à Double flux
- ✓ Installation solaire PV 16,5 kWc en autoconsommation

Systèmes actifs

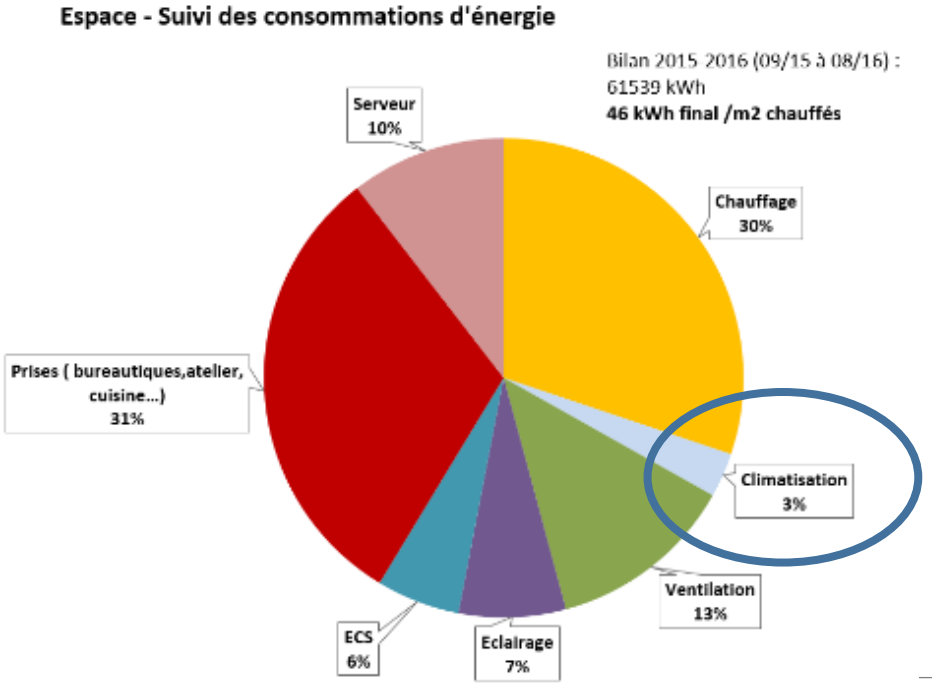
DRV : Rex bâtiment ESP'ACE :

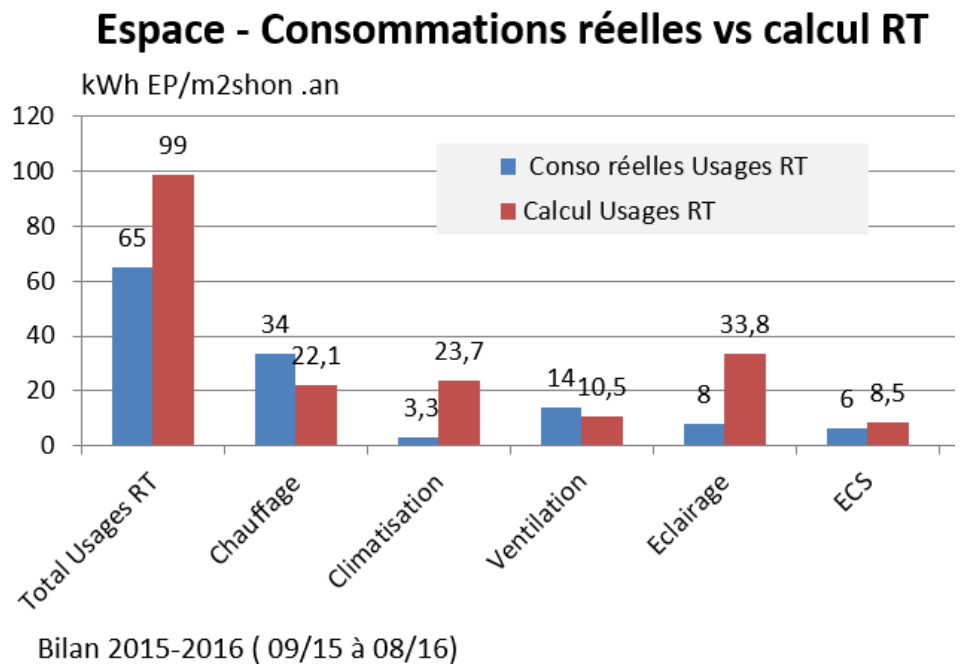
Le **suivi énergétique** montre une faible consommation :

- tous usages : **< 50 kWh ef /m2*** dont Chauffage 15 kWh ef/m2*
- Climatisation : **env 2 kWh ef/m2*** * m2 chauffés

Facteurs importants:

- réglages consignes/plages horaires par zones/bureaux,
- gestion des ouvrants/protections solaires par les occupants

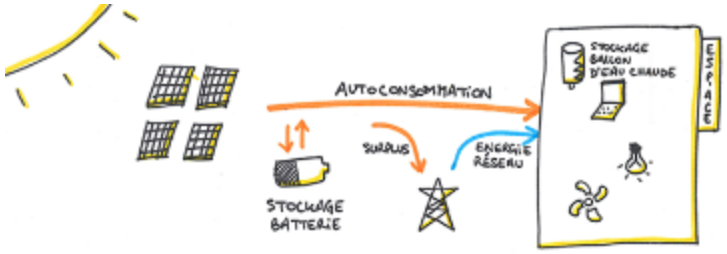


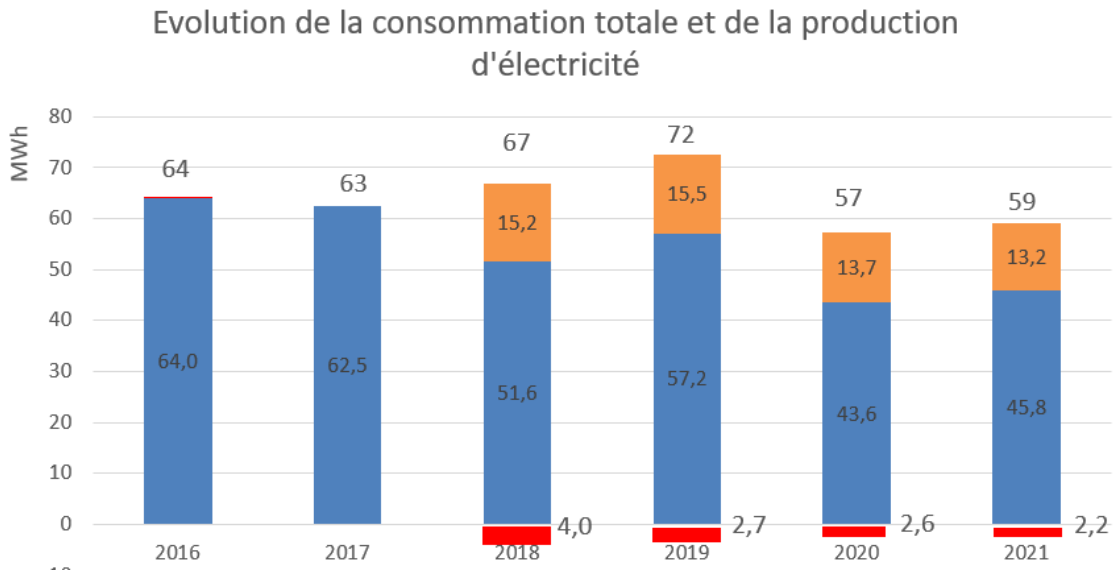


Systèmes actifs

DRV : Rex bâtiment ESP'ACE :

- Depuis 2018, ces faibles consommations de climatisation sont en partie alimentées **par une production solaire photovoltaïque (16,5 kWc, autoconsommation partielle avec vente du surplus)**
- **Forte adéquation consommation/production:** Taux d'autoconsommation 90%
- 25 à 30% % (Taux d'autoproduction) des conso annuelles de l'Espace sont produites par le solaire PV
- L'installation est d'autant plus rentable que le prix de l'électricité augmente





Systèmes actifs

Règlementation fluides frigorigènes :

GWP ou PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) : caractérise **l'impact sur l'effet de serre** d'un composé par rapport au CO_2 (**PRG_{CO_2} =1**).

Réglementation « F-GAZ » à l'échelle Européenne : Impose **un retrait progressif** d'ici 2030 des fluides frigorigènes à haut et moyen PRG, pour un obj de parc moyen à PRG <= 400

- **1er janvier 2022** : Interdiction des **systèmes neufs > 40 kW** avec **PRG > 150**
- **1er janvier 2025** : Interdiction des climatisations **splits faible charge (< 3kg)** avec **PRG > 750**

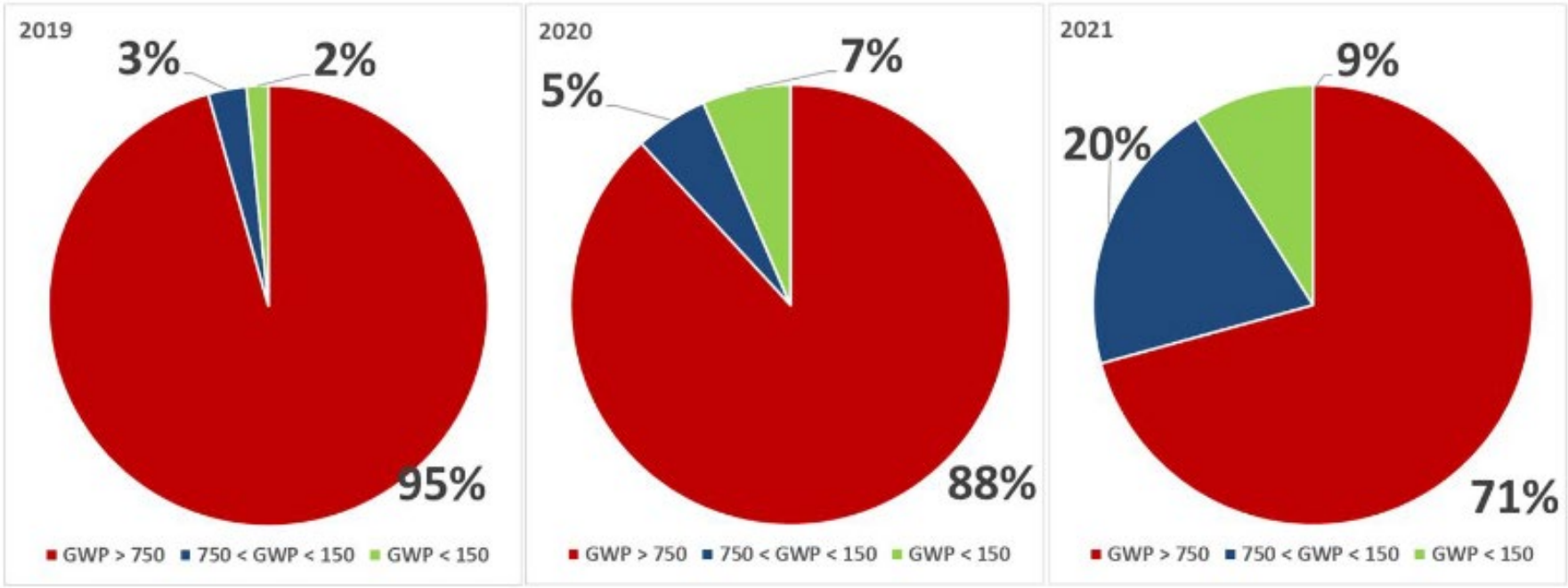
Fluides purs	PRG		PRG
R 134a	1 430	R404A	3 900
R 152a	124	R 407C	1 800
R 32	675	R 410A	2 100

En jaune les fluides récurrents en résidentiel

- **Autres fluides : Propane R290 (PRG 3 mais très inflammable), CO2 (PRG 1), Ammoniac R717 PRG 0 mais toxique, HFOs avec PRG 6/7 et R32 légèrement inflammables (R152a aussi)**

Systèmes actifs

Règlementation fluides frigorigènes – évolution du marché :

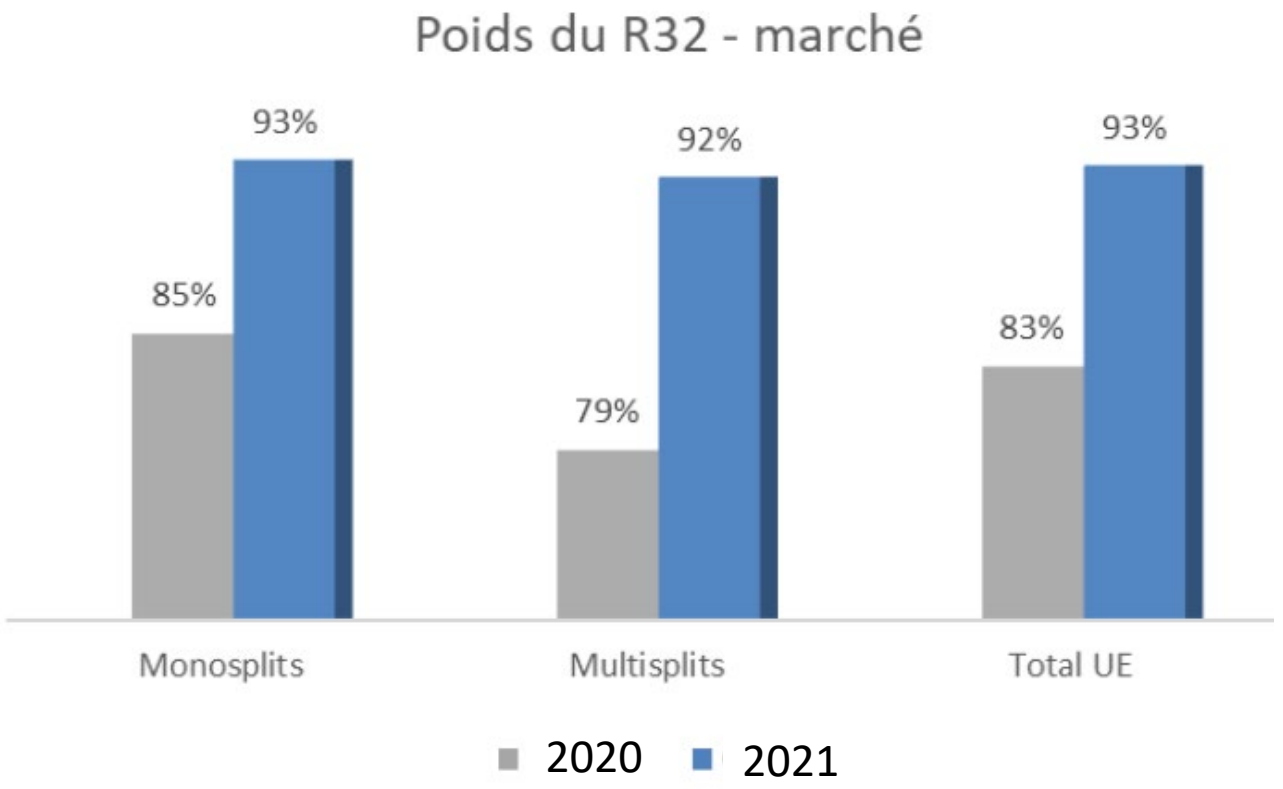


Evolution du marché grand tertiaire, industrie & hôpitaux

Source : PAC & Clim'Info, « Les chiffres du marché français de janvier à août 2021 »,https://www.uniclima.fr/userfiles/Doc/presse/2021_10_07_CP_PAC_Clim_info_corr.pdf

Systèmes actifs

Règlementation fluides frigorigènes – évolution du marché :



Evolution du marché PAC Air-Air, mono / multi-split

Source : PAC & Clim'Info, « Les chiffres du marché français de janvier à août 2021 »,https://www.uniclima.fr/userfiles/Doc/presse/2021_10_07_CP_PAC_Clim_info_corr.pdf

Questions/Partages ?

Systèmes de rafraichissement sur ENR

Systèmes sur ENR

Système à absorption

✓ Utilisation d'un couple de fluide réfrigérant / absorbant => Eau /LiBr (bromure de lithium).

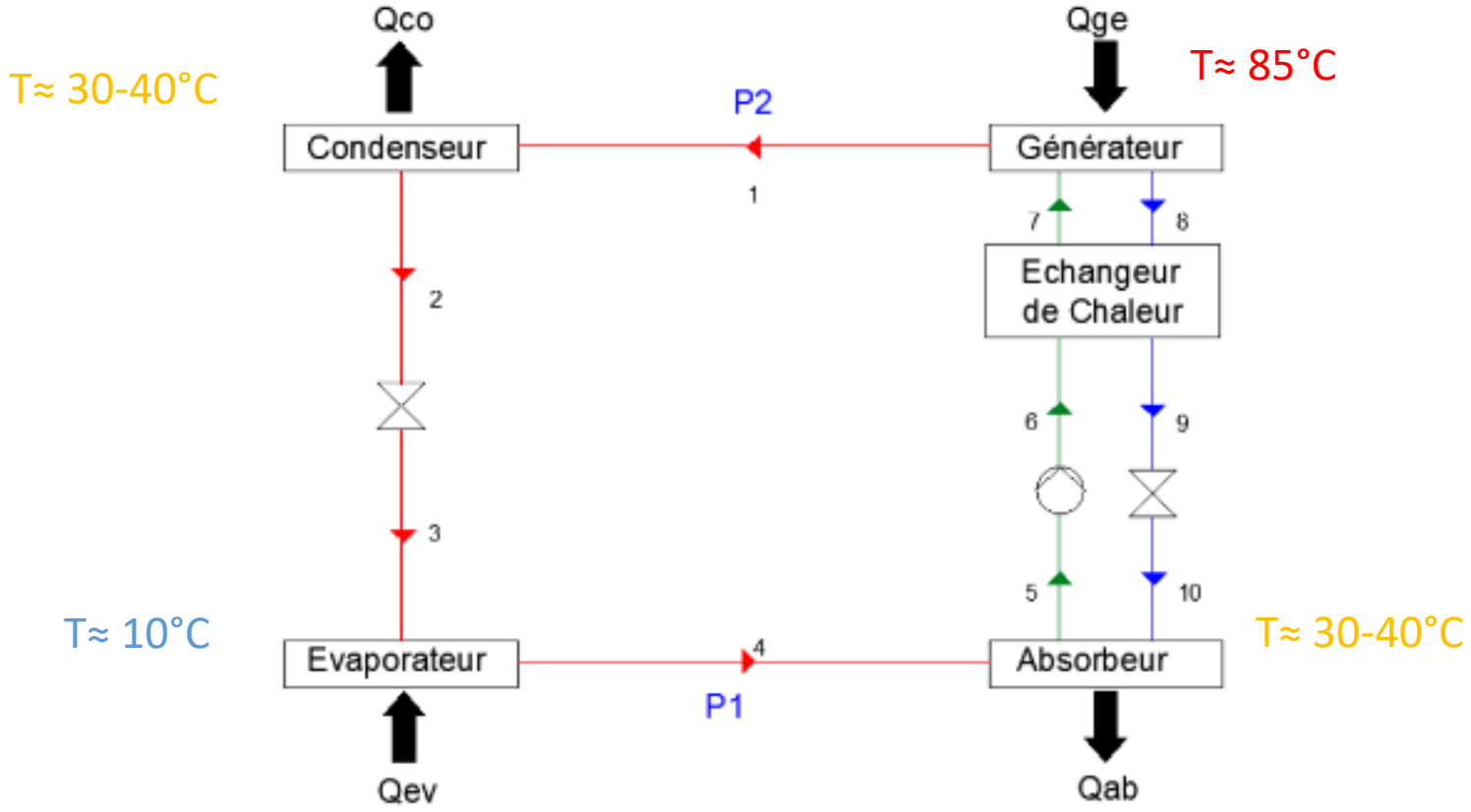


Figure 1. 2 : Schéma d'une machine de réfrigération par absorption simple effet (SARC – Simple Absorption Refrigeration Cycle).

Refroidisseur à absorption double effet à vapeur 16NK. Credit : Carrier

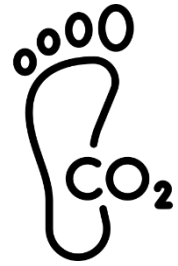
Source : Michel Wakim, Etude des machines à absorption pour la valorisation de la chaleur fatale basse température

Systèmes sur ENR

Système a absorption

Avantages :

- Réfrigérant/absorbant utilisés **non polluants (PRG eau/LiBr ≈ 0)**
- Utilisation de **Chaleur Renouvelable** ou **Fatale** → Impact carbone du système **quasi nulle** !



Inconvénients :

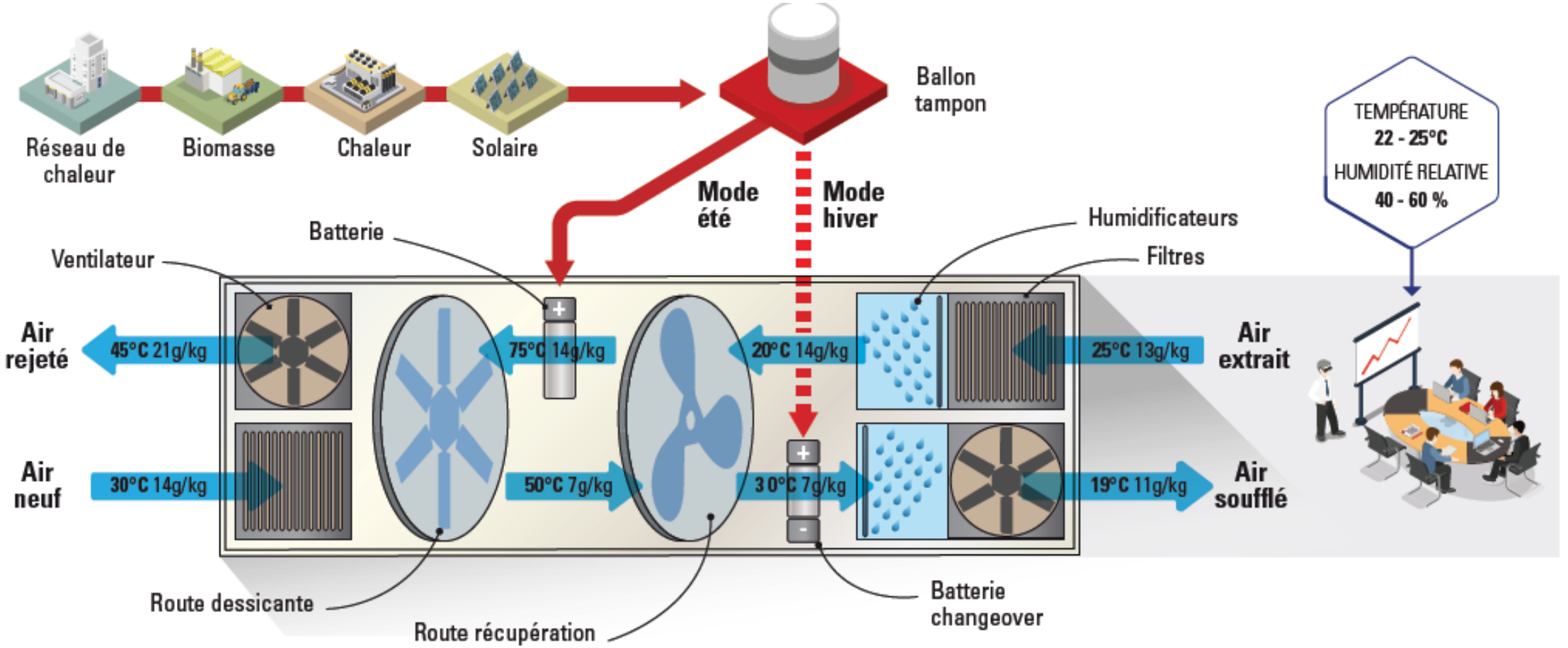
- **COP** faible (**0,8** simple effet, **1,2** double effet).
- Investissement élevé (≈ 25 000 € pour Clim solaire de 10 kW)
- Installation complexe techniquement

Rex :

- plutôt négatif (mauvais rendements) du projet petit tertiaire GMCD à Grenoble

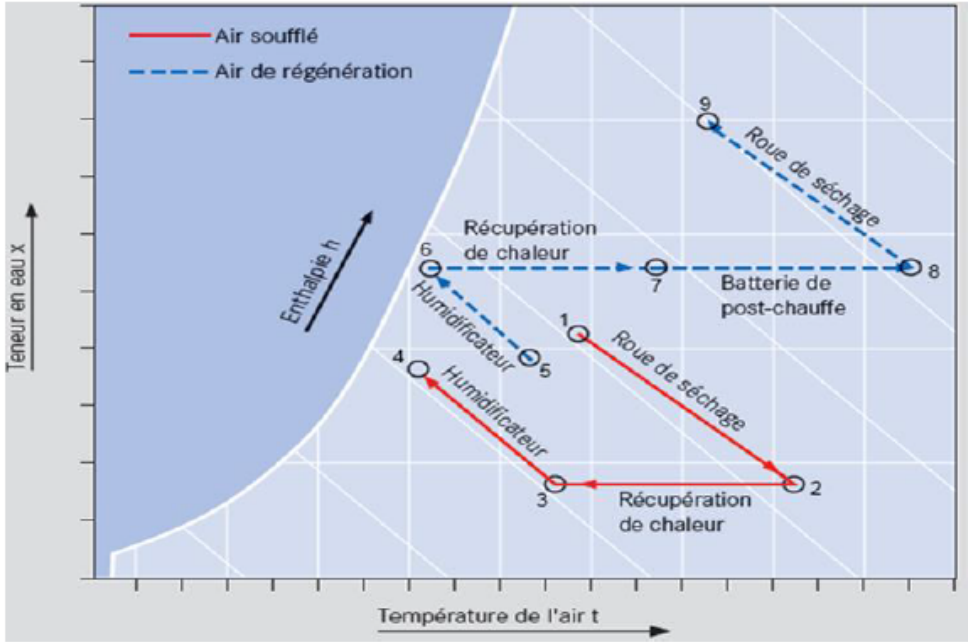
Systèmes sur ENR

Systèmes refroidissement adiabatique par roue dessicante



Systèmes sur ENR

Le refroidissement adiabatique par roue dessicante – principe



Air soufflé (en rouge)

1-2: Sécher l'air (env. 5 g/kg) avec une roue de déshumidification

2-3: Pré refroidir l'air avec un système de récupération

3-4: Refroidir l'air jusqu'à la température souhaitée par humidification adiabatique dans un humidificateur (ici abaissement d'env. 12°C)

Air de régénération (= air repris - en bleu)

5-6: Refroidir l'air dans un humidificateur 6-7: Préchauffer l'air avec le système de récupération utilisé pour refroidir l'air neuf (2-3)

7-8: Porter l'air de régénération à une température de 70°C environ en utilisant une source de chaleur disponible (revalorisation): centrale thermique, chaufferie, générateur d'air chaud, brûleur, solaire etc...

8-9: Utiliser cet air chaud pour sécher l'air neuf à travers la roue de déshumidification (1-2)

Systèmes sur ENR

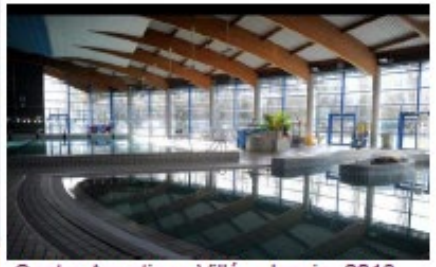
REX : Système Sustain Air

Des références aux performances mesurées

Ateliers de l'Opéra de Nice –2017

Lauréat de C40 Reinventing Cities Porte de Montreuil avec the Collective for Climate (Nexity, CA Immobilier, Engie Aires Nouvelles)

Avec Bouygues Construction: Ensemble immobilier à Champs sur Marne. Alimentation réseau de chaleur géothermie Géomarne. Atteinte du niveau E3 du référentiel E+C-



Centre Aquatique Villé – Janvier 2018

Université Nice Sophia Antipolis Polytech 2019

+Projets gagnés en cours de développement:

- Musée Hauts de France
- Conservatoire de Musique Rhône Alpes
- Bureaux neufs Rhône Alpes
- Hôpitaux Paris et PACA

Systèmes sur ENR

REX Système Sustain Air – Opéra de Nice

- ✓ Salle de répétition Orchestre (510 m2 2800 m3) et salle stockage Instruments avec contrôle de la température et de l'humidité
- ✓ 150 m2 de panneaux solaires thermiques / 2 ballons de stockage / CTA 9000 m3H / connexion boucle chaleur quartier

Retour d'expérience: comparatif avec la solution de référence – Ateliers de Production de l'Opéra de Nice

Consommations d'énergie (par an)	kWh	Euros
Sustain'air	63 491	4 648
Solution de référence	116 022	11 565
Economies	52 531	6 917
	-45%	-60%

Source : Démonstrateur Ateliers de Production de l'Opéra de Nice. Consommation totale d'énergie finale Gaz et Electricité. Couverture des besoins de Climatisation, Chauffage, et Contrôle de l'Humidité. Mise en service Octobre 2017. Etude 12 mois. Solution de référence: CTA double-flux+PAC+humidificateur vapeur

Emissions GES Tonnes eqCO2	Solution de référence	Sustain'air	Emissions évitées	Réduction en %
Emissions indirectes dues à la consommation d'énergie	20,5	11,5	9,0	
Emissions directes de fluides frigorigènes dans l'atmosphère	12,0	0,0	12,0	
Total Emissions	32,5	11,5	21,0	65%

Retour d'expérience Ateliers de production Opéra de Nice. Voir caractéristiques solution de référence page 11

✓ **Economies d'énergie 45% , facture -60% , Emissions GES -65%**

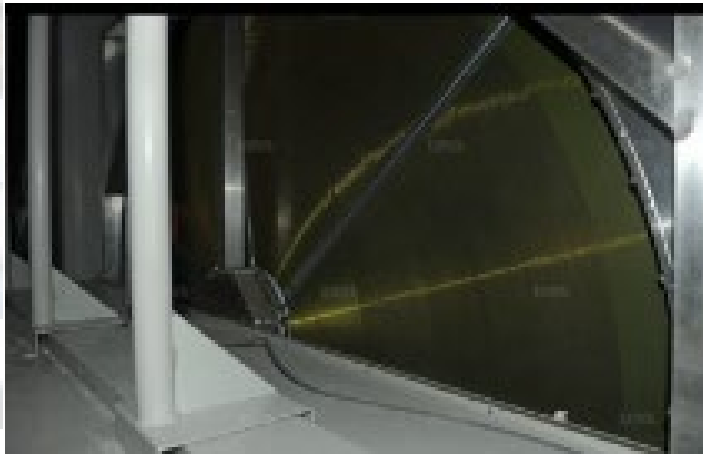
Systèmes sur ENR

REX Système Sustain Air – Centre Aquatique de Villé (Alsace)

- ✓ Rénovation énergétique du Centre Aquatique couvert trois bassins avec source de **chaleur Biomasse** et **Solaire thermique**
- ✓ Un minimum de **30% d'économies d'énergie**
- ✓ Amélioration de la qualité de l'air par une ventilation **100 % «air neuf»** :

Juin 2018, Après 6 mois d'exploitation - Extraits du rapport de l'exploitant :
«Les résultats d'analyses de Trichloramines effectués par OFIS sur le site de la piscine de Bassemberg sont bons.
Nous arrivons **à 0,110 mg/m3** et **l'ANSES fixe les valeurs les plus drastiques à 0,300 mg/m3**.»

Centre Aquatique Villé – Janvier 2018

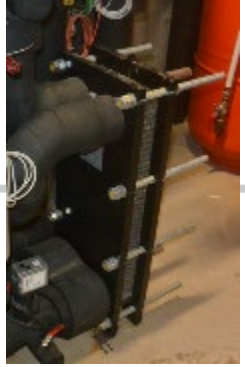


Systèmes sur ENR

Systèmes refroidissement adiabatique par roue dessicante

- ✓ Relativement **couteux et complexes**
- ✓ Intérêt **si une source de chaleur renouvelable ou de récupération disponible à faible coût**
- ✓ Destinés à des bâtiments tertiaire avec des grands volumes (Musée, Gymnase, piscine, …).

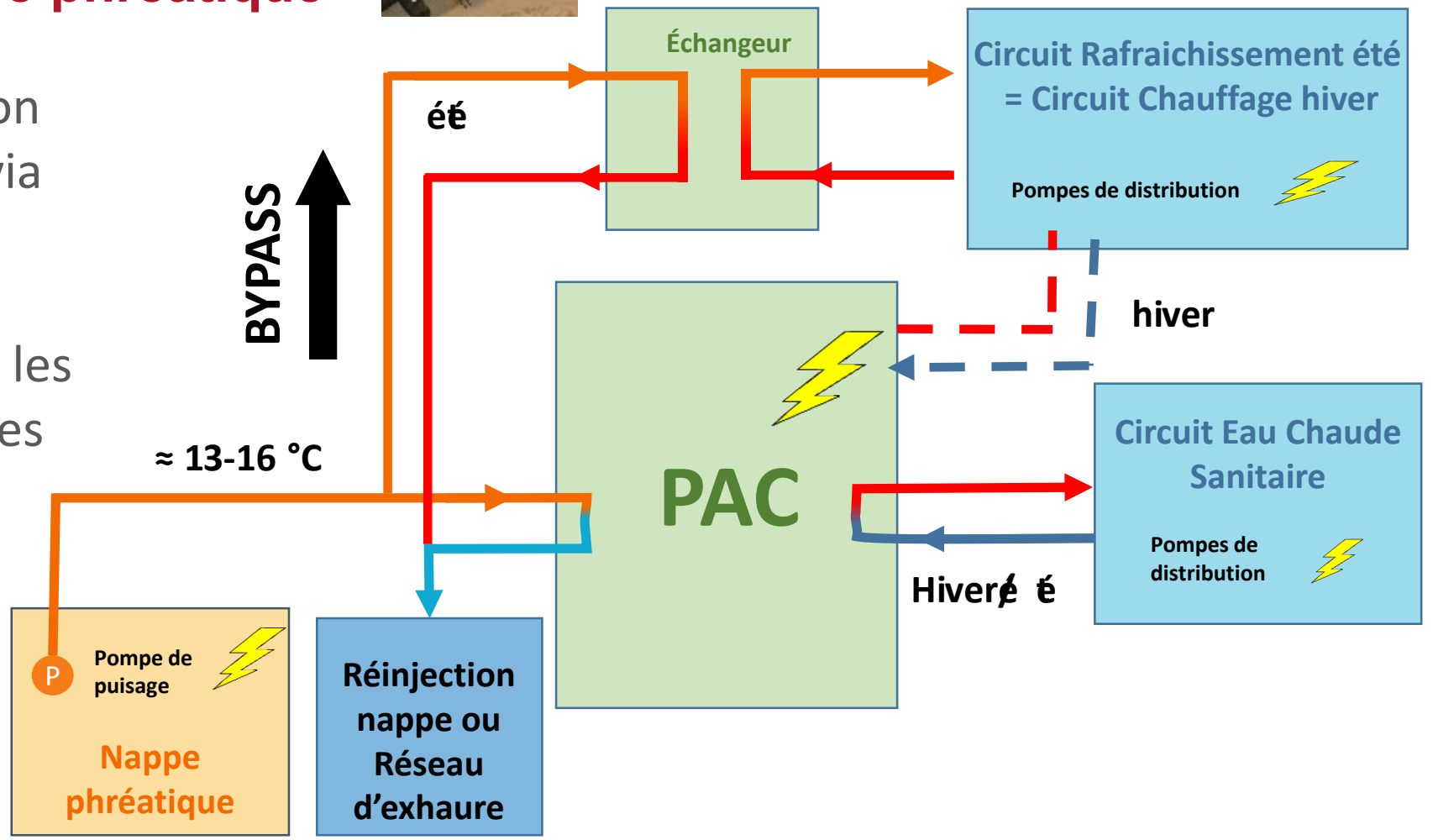
Systèmes sur ENR



Géocooling sur nappe phréatique

- **By-pass** de la PAC (Production d'ECS possible en parallèle via la PAC).
- **Simple échangeur** qui capte les « frigories » de la nappe et les distribuent vers émetteurs basse température en été
- Pompe de puisage / distribution uniquement

→ **coût très faible !**



Systèmes sur ENR

Géocooling sur nappe phréatique

- **Un cadastre géothermie sur Grenoble Alpes Métropole pour évaluer sur chaque parcelle le potentiel d'un projet géothermie sur nappe ou sur sondes verticales**

https://www.grenoblealpesmetropole.fr/1432-le-cadastre-geothermie.htm

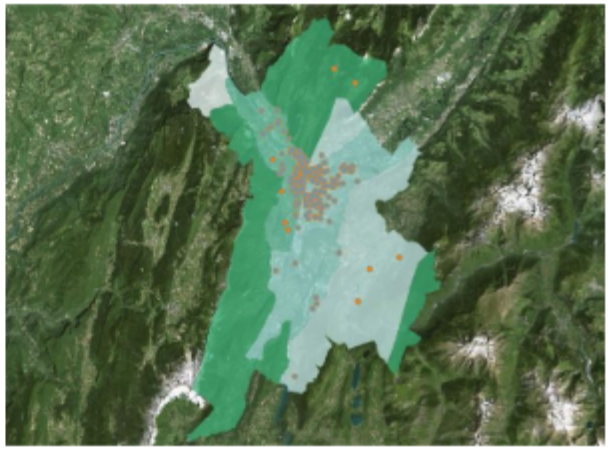
L'APPLICATION CARTOGRAPHIQUE

Vous êtes un **promoteur** ou un **bureau d'étude** et travaillez sur un projet de construction ou rénovation ? Vous recherchez la **meilleure solution de chauffage et de refroidissement** et voulez tester l'idée de l'approvisionnement par géothermie ? Le cadastre géothermique vous permet de vérifier le potentiel géothermique du sous-sol de votre parcelle.

CONSULTER LE CADASTRE GÉOTHERMIQUE

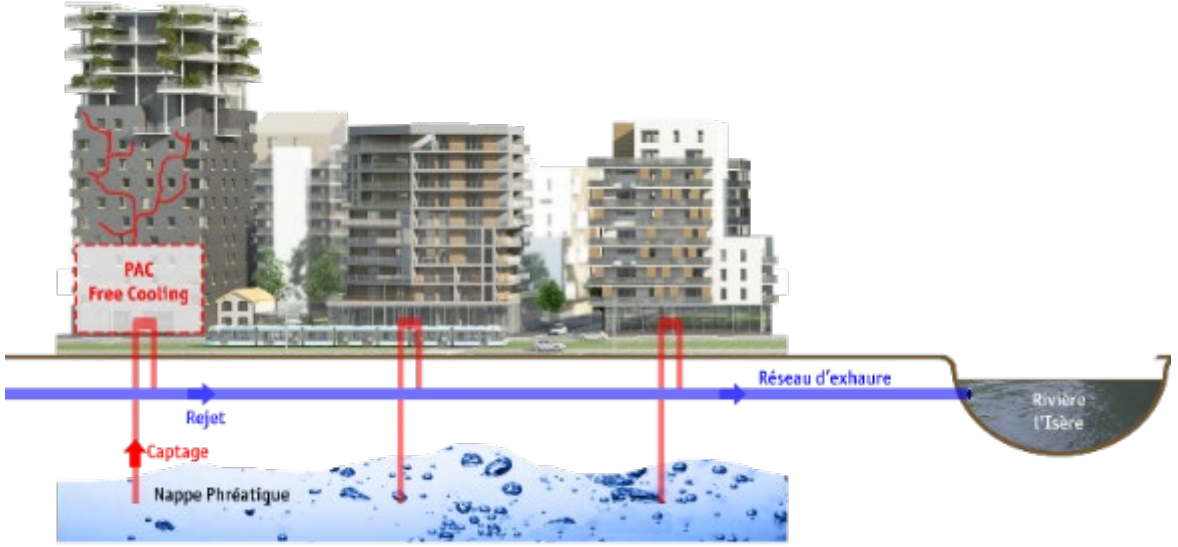
Après avoir saisi l'adresse du toit que vous souhaitez évaluer, Grenoble-Alpes Métropole vous propose à travers cet outil :

- **Des informations qui caractérisent votre sous-sol et sa ressource géothermique** afin d'avoir un premier indice sur le potentiel géothermique de votre parcelle. La plateforme vous indique également les installations existantes à proximité de votre projet ;
- **Des recommandations et conseils**, notamment sur les aides disponibles pour mener à bien votre projet. La Métropole peut vous accompagner financièrement dans l'étude du projet, sa réalisation et son financement grâce



Systèmes sur ENR

Rex Géocooling : Presqu'Ile de Grenoble



- 2015 – 2030 : Géothermie sur 80 bâtiments
- 120 000 m² de logts, 186 000 m² de bureaux, commerces, école et R&D
- RT 2012-30% - R2020-10%
- Besoins chaud : 8 MW et 11 000 MWh
- **Besoins froid : 8,5 MW et 10 000 MWh**
- Besoins ECS : 1,7 MW et 2,5 000 MWh
- Volumes puisés : 2 500 m3/h et 5 200 000 m3/an

Fonctionnement pompage :

- Puisage individuel
- Rejet en commun (Exhaure)

Intérêts :

- Éviter les « court-circuit thermiques »
- Pas de maintenance pour la réinjection

Systèmes sur ENR

Rex Géocooling : Presqu'Ile de Grenoble

- Extrait rapport Enertech le Panache
- Consommation électrique pour géocooling env **1,3 kWhef/m2shab.an**

- Rendement SEER = 8 (10 kWh/m2 rafraichissement fournis)

- coût très faible env 13 €/logt.an!

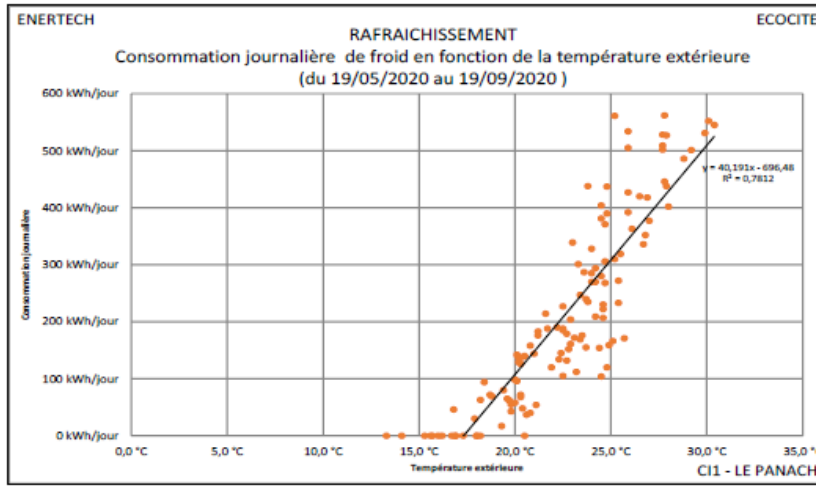
ENERTECH — InnoVia Grenoble durablement — SAGES PROJETS URBAINS SPL GRENOBLE ET MÉTROPOLE — ÉcoCité Innovations urbaines

INGENIEURS CONSEILS
26160 Pont-de-Barret
04 75 90 18 54 – martin@enertech.fr
www.enertech.fr http://ieblog.enertech.fr

Freecooling : Bilan

Seul le bâtiment CI1 est équipé d'un système de rafraîchissement.

Le rafraîchissement a duré 1100 heures entre le 19/05/2020 et le 19/09/2020 soit 37% de cette période.



Les consommations de rafraîchissement mesurées s'élèvent à :

- Rafraîchissement utile : 26,94 MWh_{ut}/an soit **9,9 $kWh_{ut}/an/m^2_{Shab}$**. A titre de comparaison, le chauffage a consommé 33,5 $kWh_{ut}/an/m^2_{Shab}$.
- Électricité: 3,56 MWh_{ef}/an soit **1,3 $kWh_{ef}/an/m^2_{Shab}$, soit un COP annuel de rafraichissement de 7,6**.

Le freecooling représente un coût de fonctionnement de 13€/an/lgt.

Le surcoût d'investissement est mineur (qq milliers d'€ à l'échelle du bâtiment)

Source : Enertech, Synthèse des analyses des bâtiments

Systèmes sur ENR

Rex Géocooling : Presqu'Ile de Grenoble

Rex ilots CK3; CK4; CJ1; CJ3 et CJ4

- Résultats:
  - **Températures intérieures** moyennes sur la période estivale **inférieures de 2°C**
  - Durées des périodes de fort **inconfort** (t logement >28°C) **réduites de 80%**
- Points de vigilance:
  - Anticiper la nature des sol pour qu'ils soient **adaptés au rafraichissement : parquets** , **nappes de plancher chauffant à pas constant**
  - Mise en place de sondes de condensation

Données éco pour 48 lgts:

- Géothermie Couts moyen d'investissement initial pour **PAC double service et son forage** de pompage : **112 000€**
- Surcouts induits par le géocooling:
  - Echangeur en chaufferie 4500€ +4%
  - Nappes de plancher chauffant 13 000€ +7%
  - Parquet des chambres 32 000€ +14%
  - Sondes condensation 8 000€

Systèmes sur ENR

REX Geocooling Seyssinet Pariset - Centre social l'arche:

Construction : 2012

- ✓ Pompe à chaleur géothermique
- ✓ Rafraîchissement par géo-cooling (by-pass de la PAC)
- ✓ Forage de 13m de profondeur/échangeur à plaques
- ✓ Débit maxi 11 m3/h (moyen 5,5 m3/h)
- ✓ Ballon tampon de 1000L
- ✓ Gestion du circuit via loi d'eau avec T° mini pour éviter condensation plafonniers
- ✓ Consigne : 26°C (+/- 1°C réglable par les utilisateurs)
- ✓ 13°C côté nappe amont échangeur, et 17 °C en départ vers les émetteurs (plafonniers rayonnants)
- ✓ **un remplacement de pompe a été effectué en 2022 suite à un problème chauffage non identifié cet hiver (2 300 €TTC)**

Systèmes sur ENR

REX Geocooling Seyssinet Pariset – Multi accueil l'Ile aux enfants

Construction : 2009

- ✓ Forage de 13m de profondeur
- ✓ échangeur à plaques, sans PAC
- ✓ Débit du forage de 2 m3/h
- ✓ Rafraîchissement par géo-cooling
- ✓ Émetteur : plancher rafraîchissant

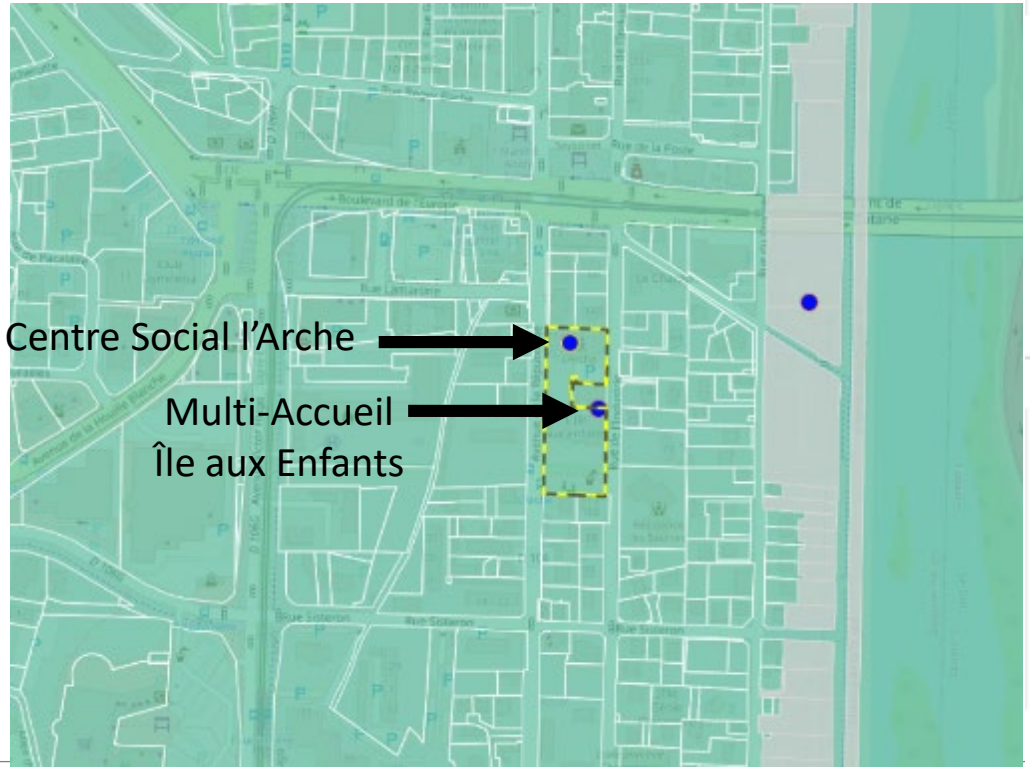
- ✓ Les 2 Bâtiments Ile aux Enfants et centre social l'Arche sont proches l'un de l'autre
- ✓ 2 forages de puisage, et un commun pour la réinjection en aval de la nappe (à la limite Nord du terrain)
- ✓ La détermination de la position du 2e forage n'a pu se faire que suite à la réalisation et le test du 1er forage

Systèmes sur ENR

REX Geocooling Seyssinet Pariset

Indications sur le cadastre géothermie de GAM

✓ Cette zone proche du Drac est plutôt favorable, les analyses d'eau ont montré de bonnes propriétés



Installation géothermique existante
cliquez pour voir les informations détaillées

Informations de la parcelle
Seyssinet-Pariset
Parcelle n°AD758

- Potentiel de la ressource des roches du sous-sol :

Limité | Modéré | Fort

Convient à tout type de projet, dont les projets de grande taille comme les équipements sportifs, immeubles de bureaux, centres commerciaux. A confirmer par une étude de faisabilité adaptée à votre projet.

Cliquez pour accéder aux informations détaillées

- Potentiel de la ressource de la nappe d'eau souterraine

Limité | Modéré | Moyen | Fort

Convient aux projets de taille modérée, comme les projets de particuliers, maisons de santé, petite commerces. A confirmer par une étude de faisabilité adaptée à votre projet.

Cliquez pour accéder aux informations détaillées

Débit

Productivité : 10-30 m3/h

Niveau de la nappe

Profondeur du substratum : 11 - 20 m

Épaisseur des alluvions mouillées : 11 - 20 m

Caractéristiques de la nappe

Type de nappe : nappe libre

Perméabilité : 10^-3 - 10^-2 m/s

Qualité des eaux souterraines

Qualité des eaux souterraines : Non impactante

Température de l'eau souterraine

Température hivernale : 11-15°C

Température estivale : 12-15°C

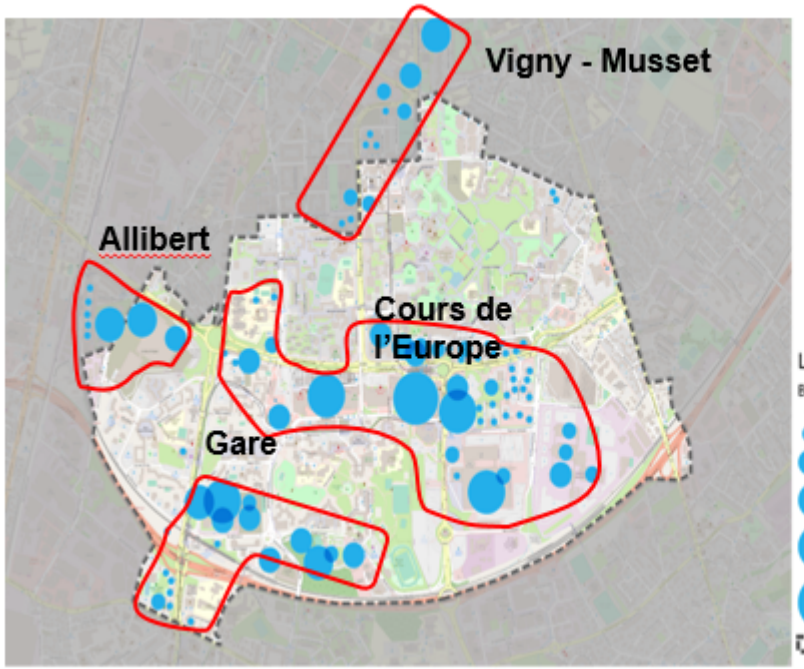
Systèmes sur ENR

Etude Réseau de Froid Géothermique à Grand Alpes:

- ✓ **Quels outils pour limiter le recours à l'aérothermie ?**

Nuisances : participation aux îlot de chaleur, bruit importants, efficacité calorifique faible lors de conditions météo extrêmes (canicules)

- ✓ **Comment promouvoir le recours à la nappe pour les besoins de froid ET le raccordement au réseau de chaleur pour les besoins de chaud ?**
- ✓ Un réseau existant dans le secteur grand Place
- ✓ Etude d'opportunité d'un **réseau de froid plus étendu**



Secteur ALLIBERT : La densité thermique théorique est moyenne, **A vérifier lors de l'avancée du projet .**

Secteur GARE : La densité thermique est intéressante mais **dégradée par les coups partis Atos et Arthélia.** A vérifier dans le cadre du projet Linkcity.

Secteur COURS de l'EUROPE : La densité thermique est intéressante, **l'extension du réseau de froid existant est pertinente dans la zone étudiée.**

Légende
Besoins de Froid [MWh]
5 - 55
55 - 120
120 - 250
250 - 380
380 - 820
820 - 2800
Périmètre de l'étude

Secteur VIGNY MUSSET : La densité thermique est faible

Systèmes sur ENR

Etude Réseau de Froid Géothermique à Grand Alpes:

✓ Quel(s) systèmes(s) de production pour le réseau de froid ?

	Domaine d'application	Contribution ilot de chaleur	Performance énergétique	Application décentralisée	Application centralisée réseau froid	Opportunité pour GrandAlpe
Freecooling simple	🔴	🟠	🟢	🟢	🔴	🔴
Freecooling adiabatique direct	🔴	🟠	🟢	🟢	🔴	🔴
Freecooling adiabatique indirect	🟠	🟠	🟢	🟢	🔴	🟠
Géocooling	🟠	🟢	🟢	🟢	🔴	🟠
Hydrocooling	🟢	🟢	🟢	🟢	🔴	🟢
Compression électrique sur air	🟢	🔴	🟠	🟢	🟢	🟠
Machine à sorption sur air	🟢	🔴	🔴	🟢	🟢	🔴
Compression électrique sur nappe, sonde	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
Machine à sorption sur nappe, sonde	🟢	🟢	🟠	🟢	🟢	🟢
Système à dessication	🟠	🟠	🟢	🟢	🔴	🟢

Systèmes présentant la meilleure performance globale pour GrandAlpe

Systèmes sur ENR

Etude Geo-cooling ALPES Congrés :

ALEC
AGENCE LOCALE DE L'ÉNERGIE ET DU CLIMAT
Grande Région Grenobloise
Société Publique Locale

GRENOBLEALPES MÉTROPOLE

✓ Forage : réactiver un bien endormi, déjà existant

Pompe de surface avec clapet et vanne de sectionnement

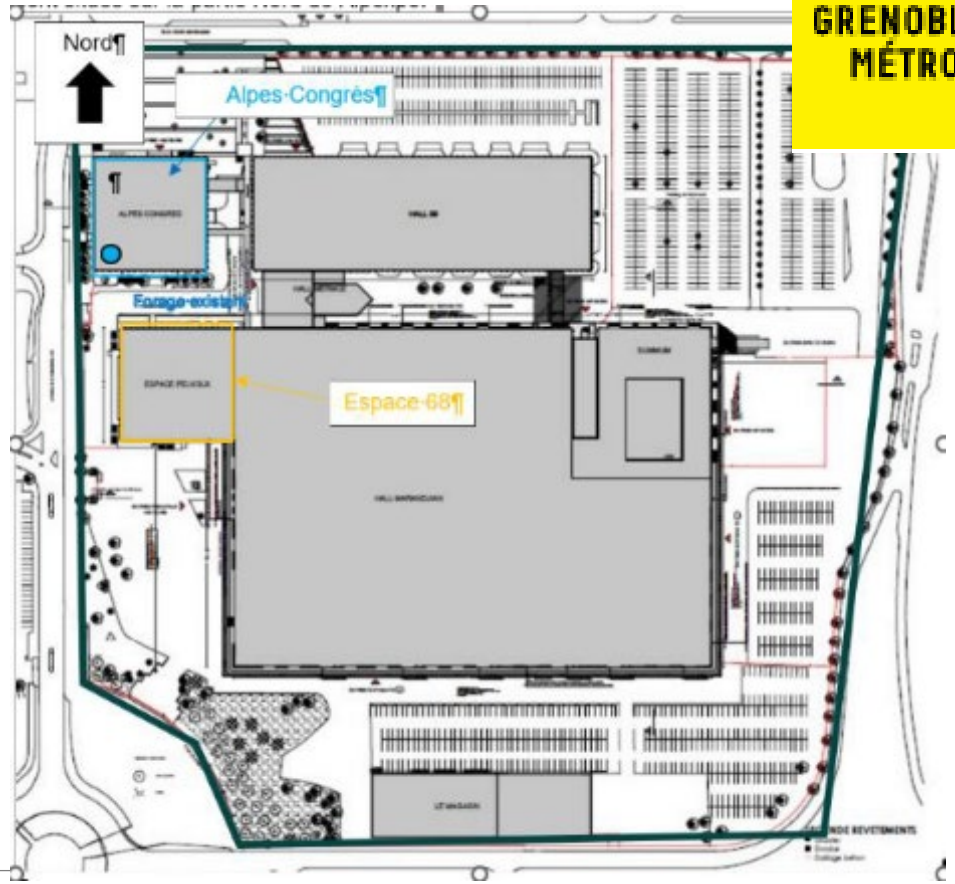
Cuve

Atelier de pompage

✓ Etude orientée « rafraichissement par géocooling en base, plutôt que climatisation

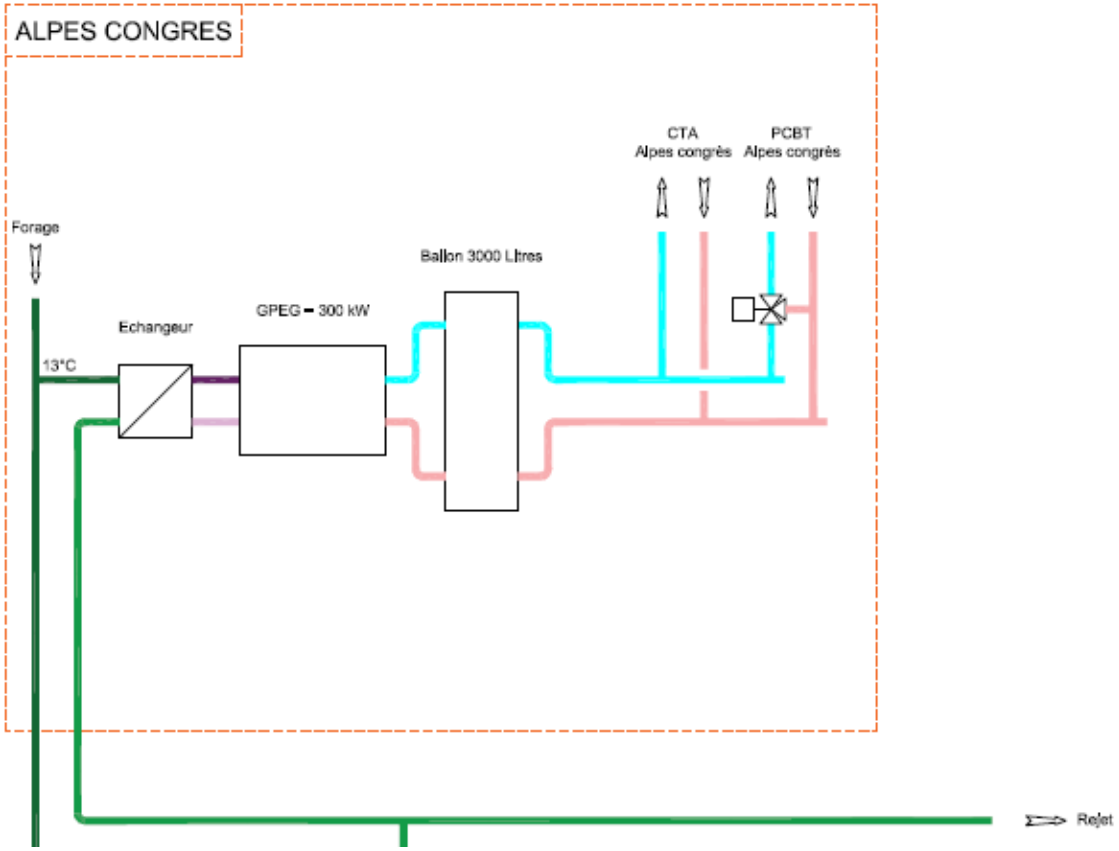
100% clim → **70% géocooling**

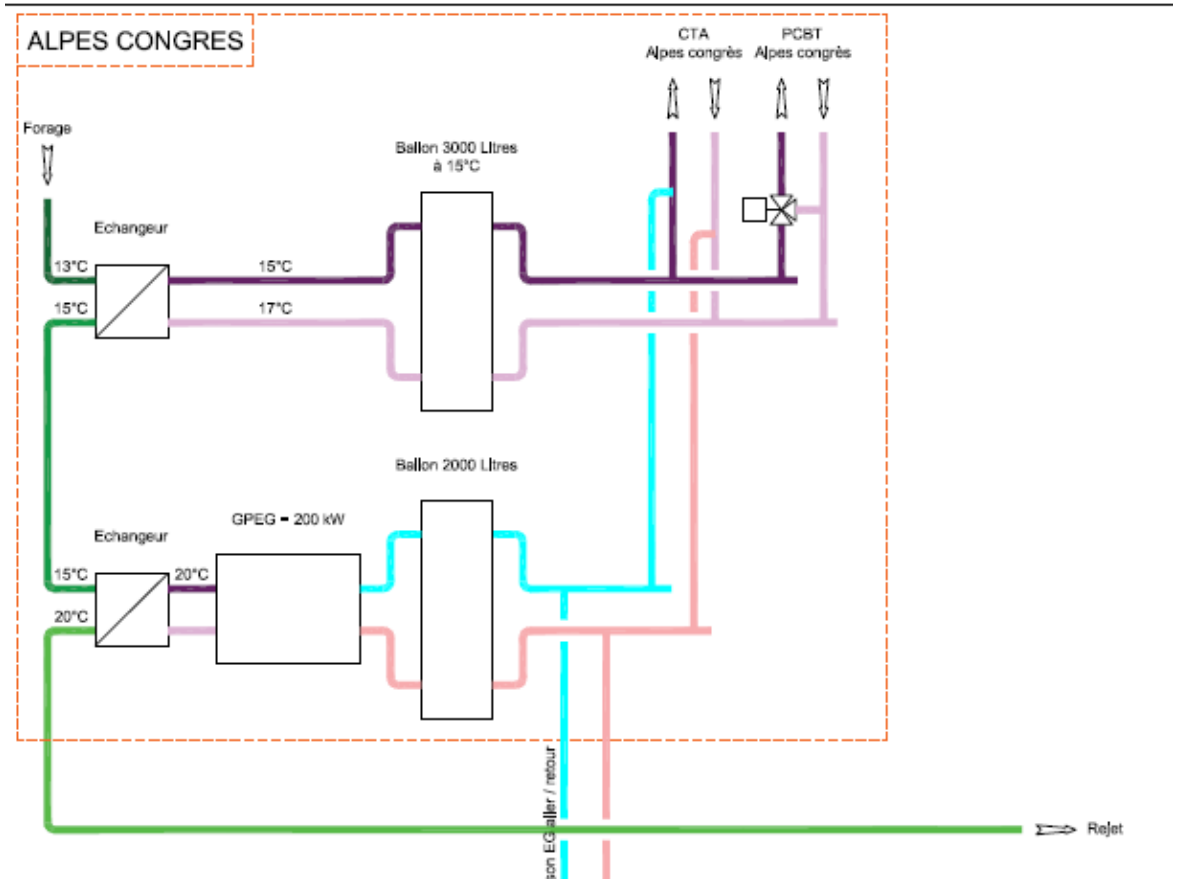
Conso / Facture = diviser par deux !



Systèmes sur ENR

Etude Geo-cooling ALPES Congrés :





Systèmes sur ENR

AIDES du Fonds Chaleur

Solaire thermique

Géothermie

Biomasse

Depuis 2017 un dispositif de soutien pour tous porteurs de projets de production de chaleur renouvelable *(hors maisons individuelles)*

- Un accompagnement technique *de l'aide à la décision jusqu'au suivi des performances*

- **Des aides financières importantes**

- **Contacts SPL ALEC sur GAM , AGEDEN hors GAM**

Systeme	Aide fonds chaleur Nouveaux forfaits juin 2022 +25%
Pac sur Nappe	500€/MWh chaud (amont PAC)
Pac sur Sonde	1000€/MWh chaud (amont PAC)
Geocooling	260€/MWh

Questions/Partage ?

FOCUS : Systèmes de rafraichissement adiabatiques

Adiabatique

Principe : **deux types de rafraîchissement adiabatique**

- **par brumisation d'eau**

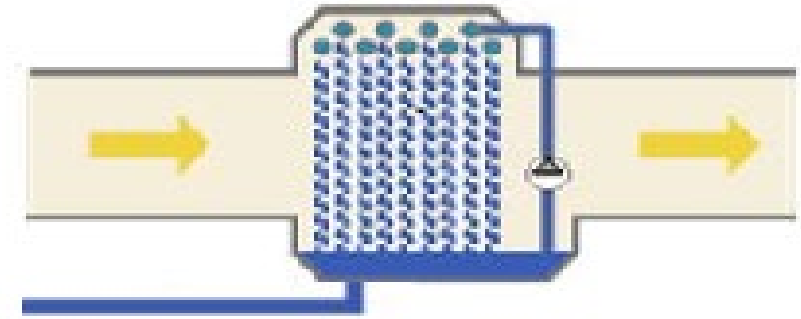
Risque de légionnelle

Les gouttelettes d'eau sont directement pulvérisées dans l'air à rafraîchir.
L'air humide prend la forme d'un « brouillard ».

- **par évaporation d'eau**

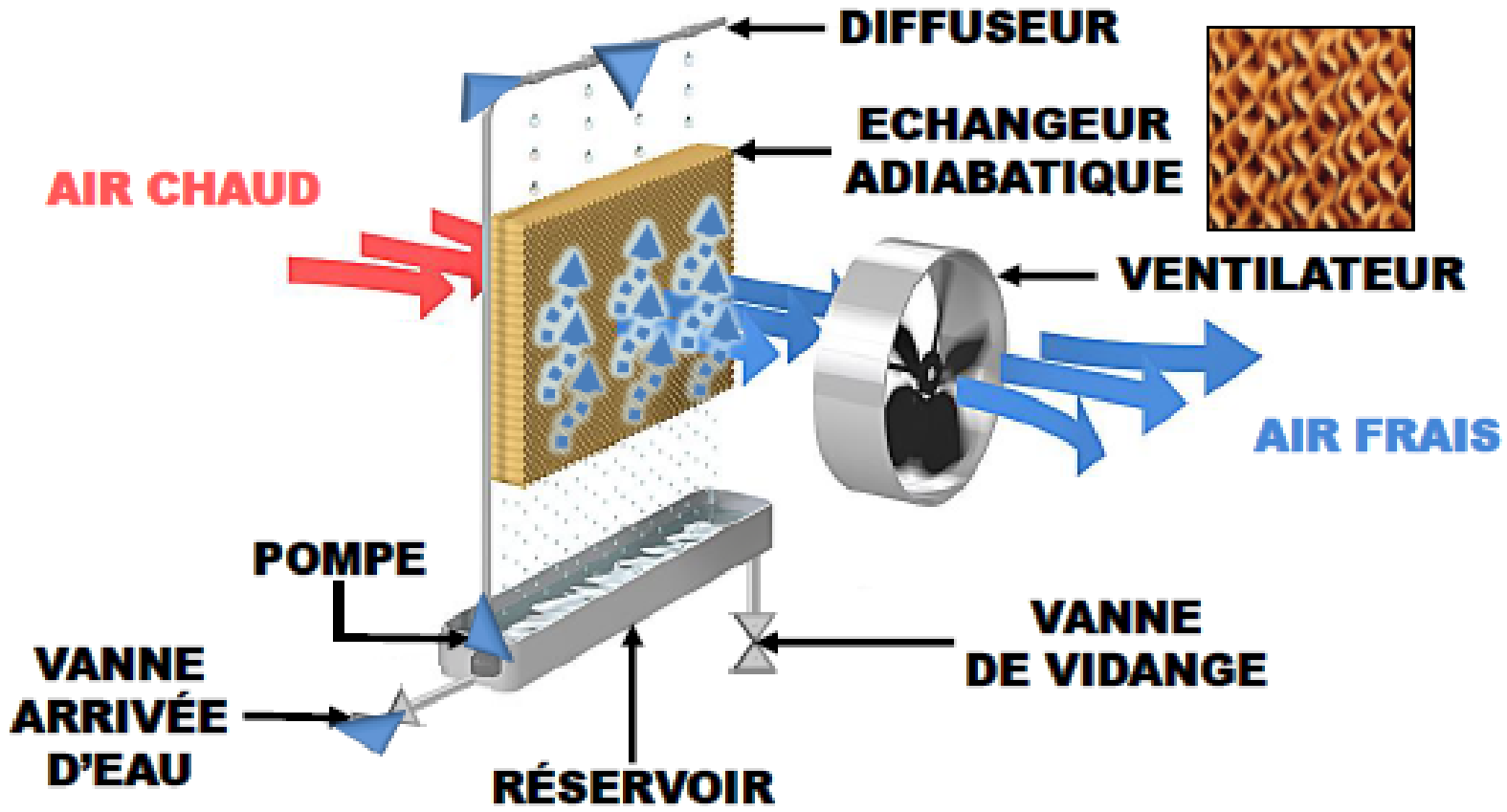
Absence de risque de légionnelle

L'air refroidit se charge en humidité grâce à l'évaporation de l'eau sans entraîner d'eau à l'état liquide dans le flux d'air.



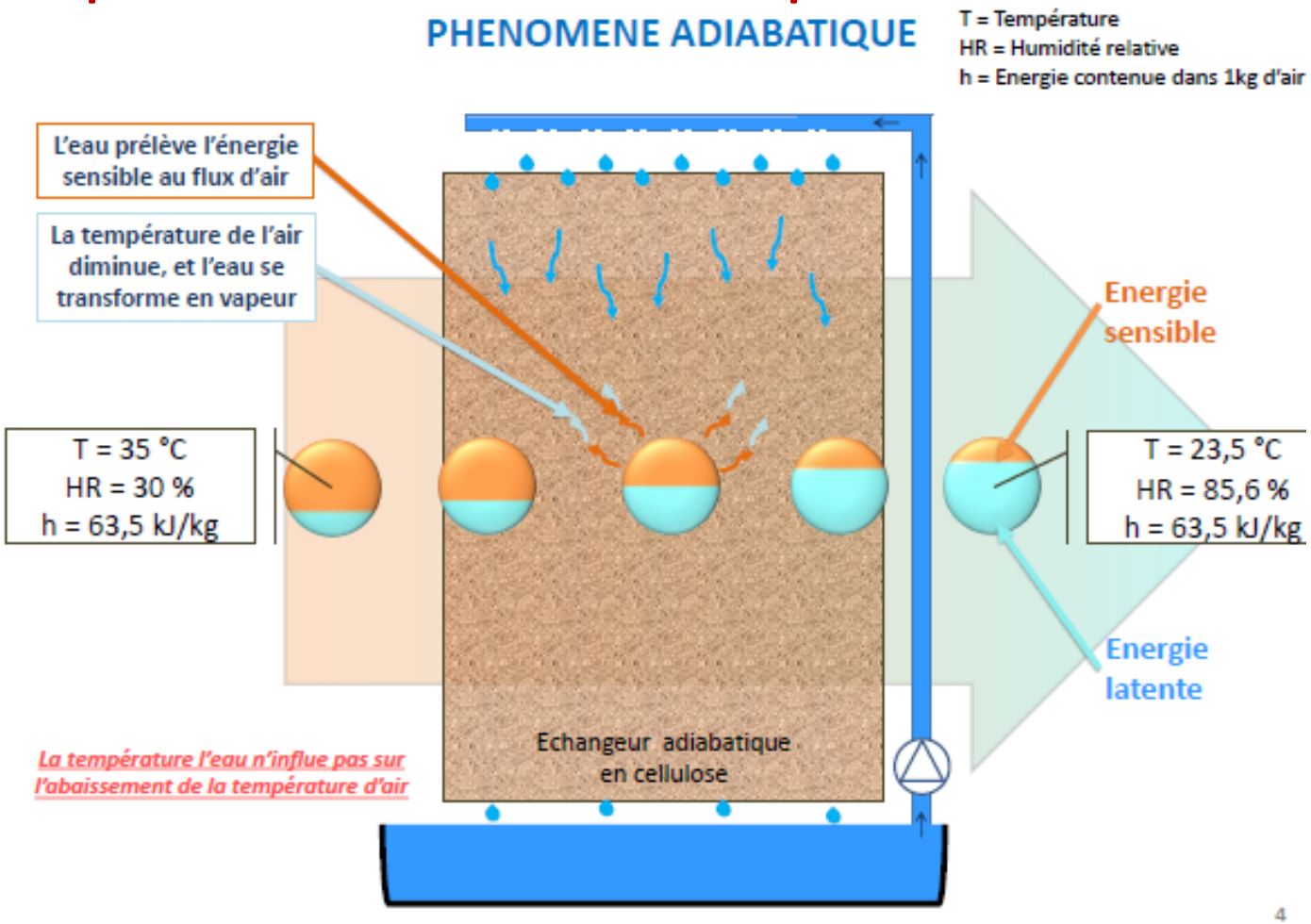
Adiabatique

Principe du phénomène adiabatique



Adiabatique

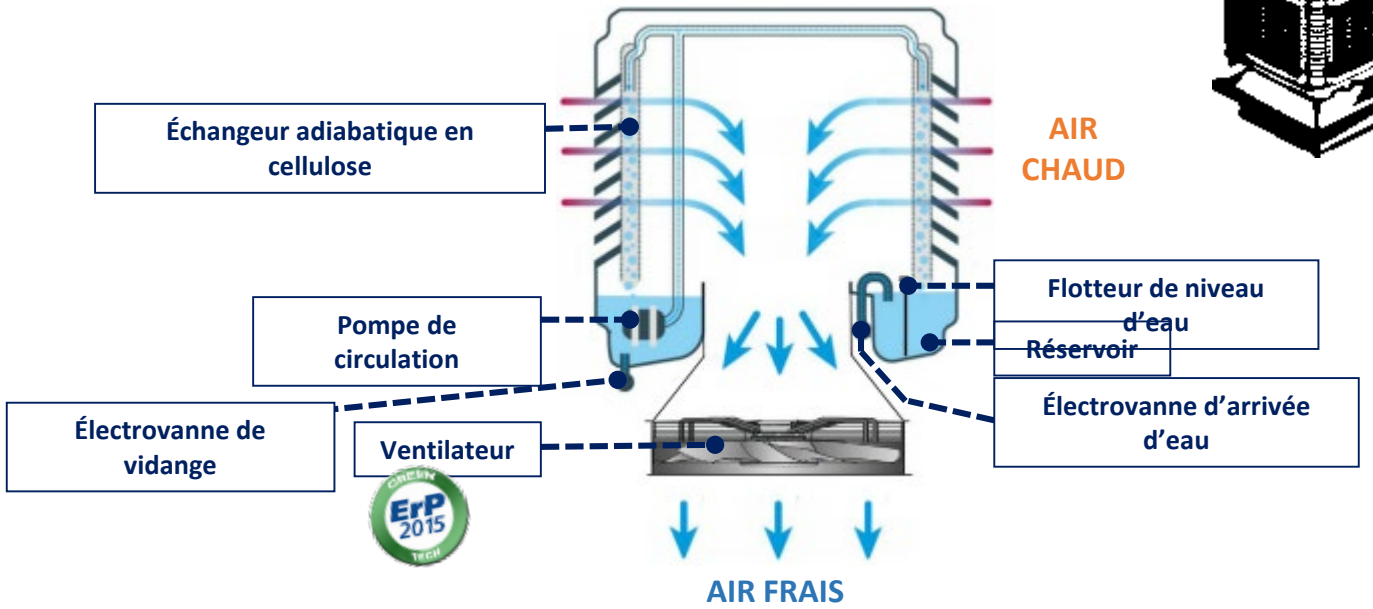
Principe du phénomène adiabatique

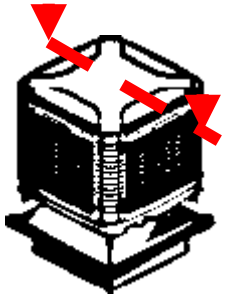


Adiabatique

Exemple de système adiabatique direct

SCHEMA DE PRINCIPE ADIABOX





	ADIABOX V3 WFP 31 000
Débit de fonctionnement	24 000 m³/h
Consommation d'eau moyenne	0,044 m³/h
Puissance absorbée	P_{abs} = 3,8 kW
Puissance frigorifique	$P_{frigo} = q_v/3600*\rho*C_p*(T_e-T_s)$ = … kW
Correspondance	P_{frigo}/P_{abs} = … EER

q_v : Débit de fonctionnement ($0 < q_v < 24\,000$) [m³/h]

ρ : masse volumique de l'air : 1,2 [kg/m³]

C_p : Capacité calorifique massique de l'air = 1,006 [kJ/kg/K]

(T_e-T_s) : Température air chaud - Température air frais [°C]

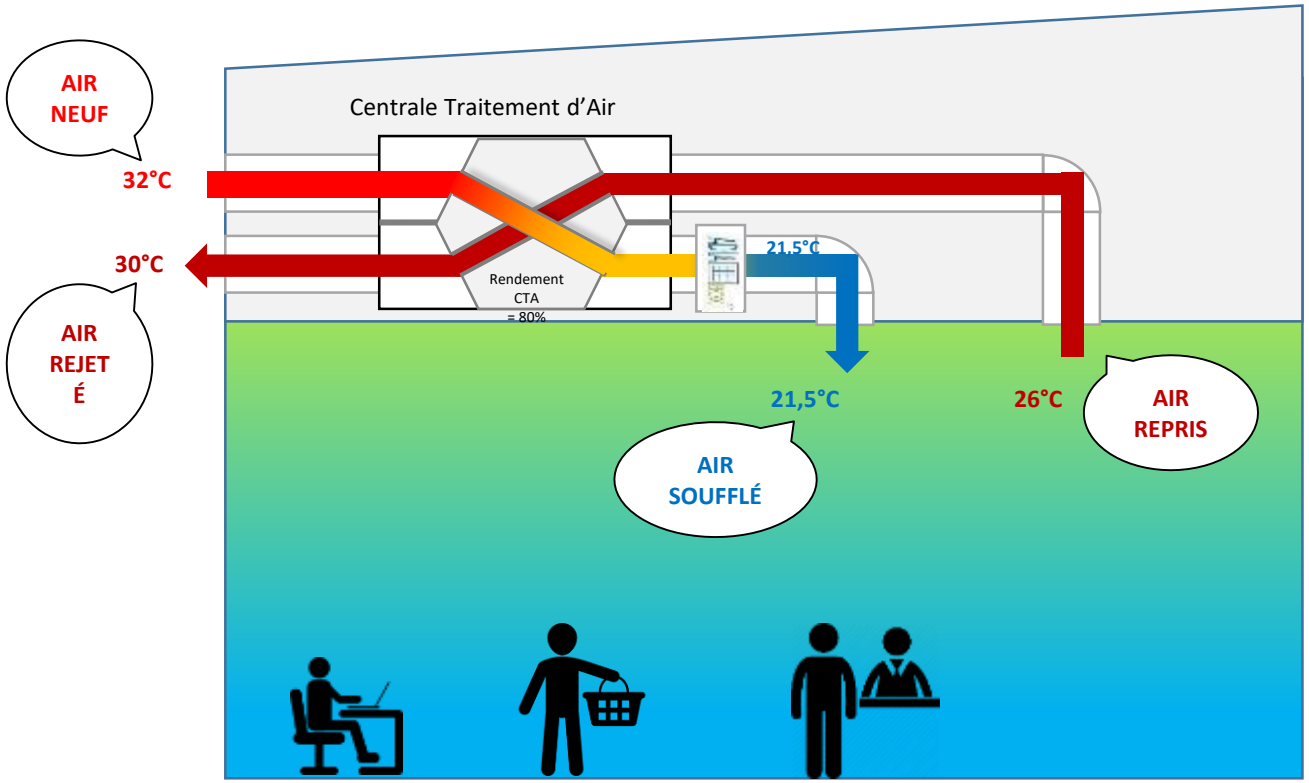
EER : Energy Efficiency Ratio

Adiabatique

Exemple de système adiabatique direct

ADIABOX NFG

DIRECT

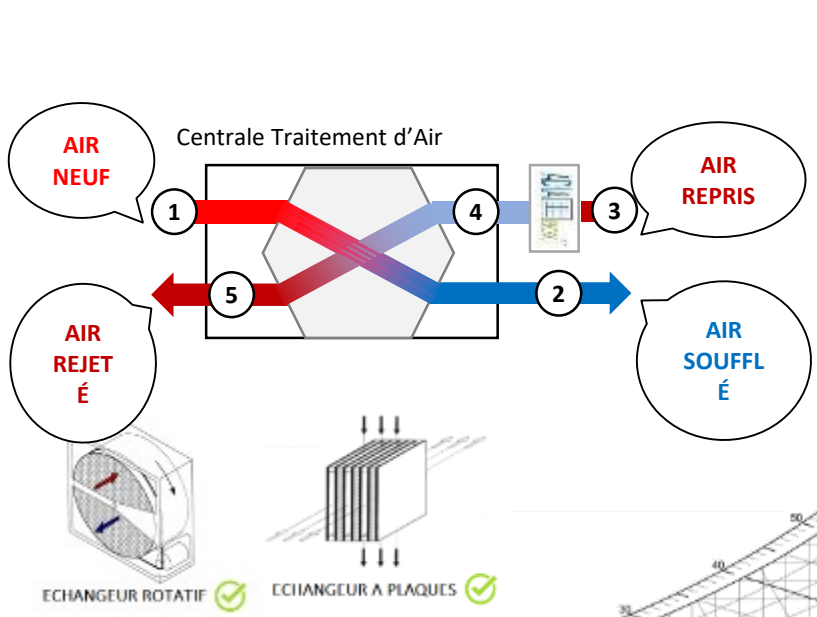


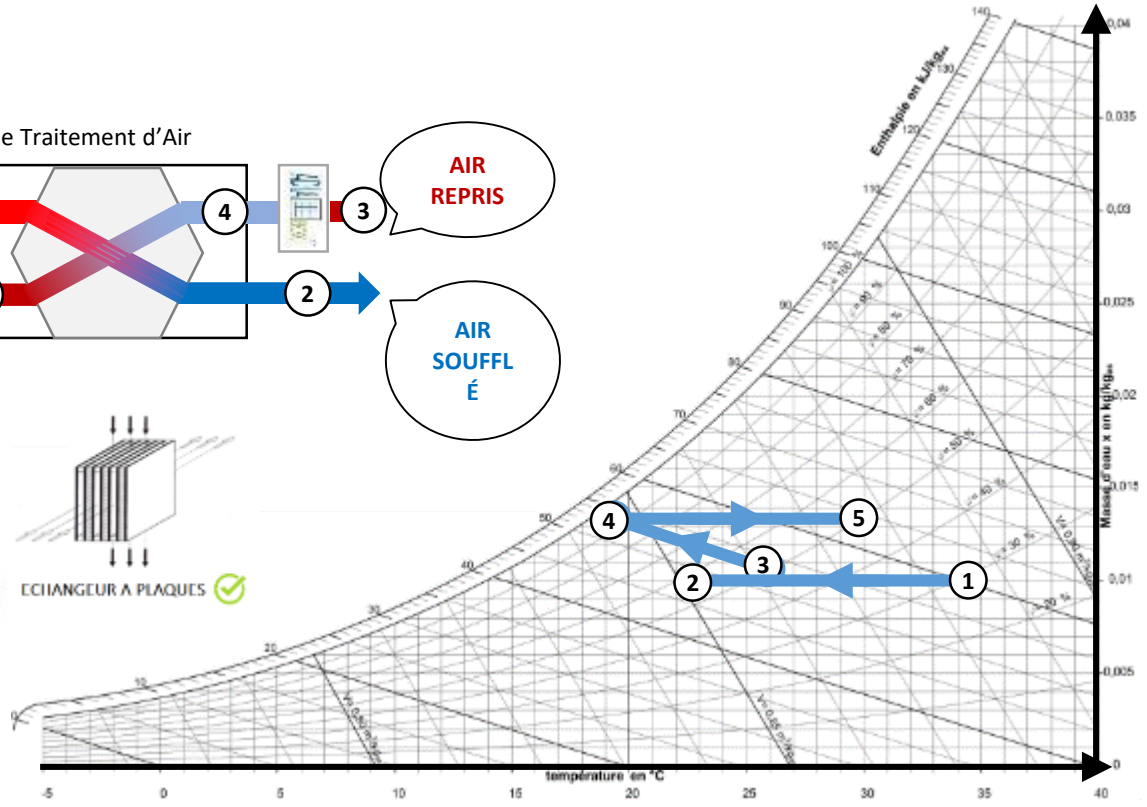
Adiabatique

Exemple de système adiabatique indirect

ADIABOX NFG

INDIRECT

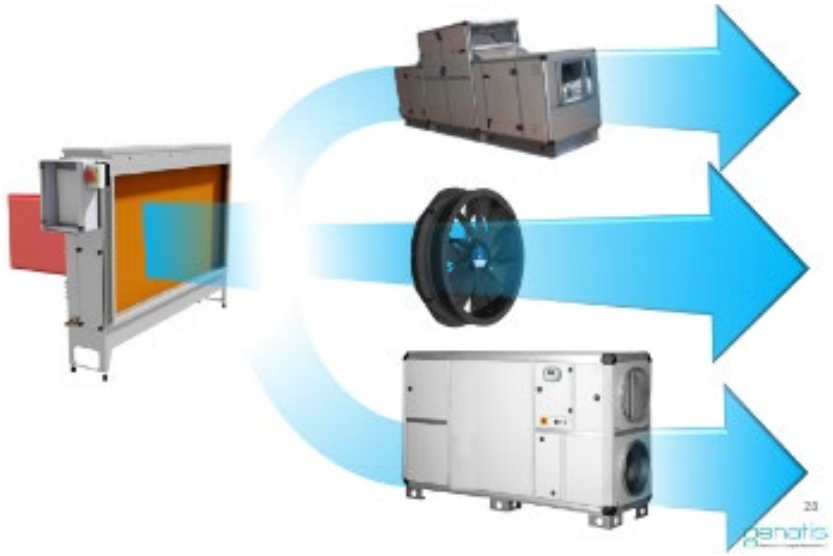




Adiabatique

Exemple de système adiabatique indirect

ADIABOX NFG Gainable sur tout système de ventilation tout air neuf



	ADIABOX NFG
Débit de fonctionnement	Jusqu'à 30 000 m³/h
Consommation d'eau	Dépend de la T°C/HR et du rafraîchisseur (environ 0,03 m³/h)
Puissance absorbée	P_{abs} = 100 W
Puissance frigorifique	P_{frigo} = qv/3600*ρ*Cp*(Te-Ts) = … kW
Correspondance	P_{frigo}/P_{abs} = … EER

qv : Débit de fonctionnement (0 < qv < 30 000) [m³/h]

ρ : masse volumique de l'air : 1,2 [kg/m³]

Cp : Capacité calorifique massique de l'air = 1,006 [kJ/kg/K]

(Te-Ts) : Température air chaud - Température air frais [°C]

EER : Energy Efficiency Ratio

Adiabatique

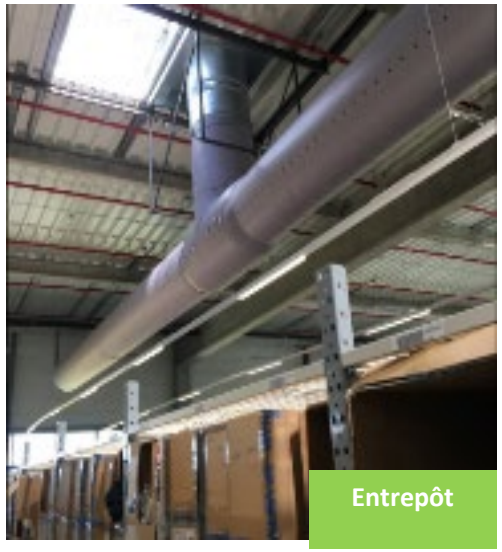
Système adiabatique : mode d'installation

En façade Soufflage latéral	En toiture Soufflage vers le bas	Au sol Soufflage vers le haut

Adiabatique

Système adiabatique : mode de diffusion

Gaines textiles



Entrepôt

Gaines métalliques

Restaurant

Diffuseur 8 voies

Concessionnaire

Buses de soufflage

Atelier

Attention aux obstacles gênants l'installation des gaines (luminaires, ponts roulants, sprinklage …)

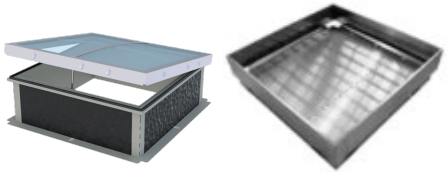
Adiabatique

Système adiabatique : évacuation de l'air chaud

Mouvement d'air : L'air intérieur, plus chaud, s'élève dans le bâtiment et s'échappe en hauteur, par des fenêtres, des bouches de ventilation ou autre

Evacuation naturelle:

Façade



Toiture

Evacuation mécanique :

Centrale Traitement d'Air

Tourelle d'extraction

Adiabatique

Système adiabatique : maintenance

- **Mise en hivernage de l'appareil (arrêt de fonctionnement pour la période hivernale) :**
  - Vidange et isolement du système
  - Bâchage du rafraîchisseur (si extérieur)

- **Maintenance annuelle des modules adiabatiques :**
  - Une vérification du bon fonctionnement des composants
  - Un nettoyage des composants
  - Facultatif : réglage de l'automate en fonction du besoin

La maintenance est réalisée en début de période estivale

Adiabatique

Rex Adiabatique : rafraichisseurs adiabatiques mobiles

- ✓ Questionnement sur plan canicule des écoles de **Seyssinet-Pariset**
- ✓ Acquisition de rafraîchisseurs adiabatiques mobiles et mise en place d'une salle rafraîchie par école à partir de cette année 2022

-> 2 modèles achetés :

- ✓ Le modèle le plus cher est clairement le plus performant, difficultés à gérer la génération d'humidité avec le modèle Eco Fresh
- ✓ Retour d'expérience pas suffisamment concluant pour l'instant

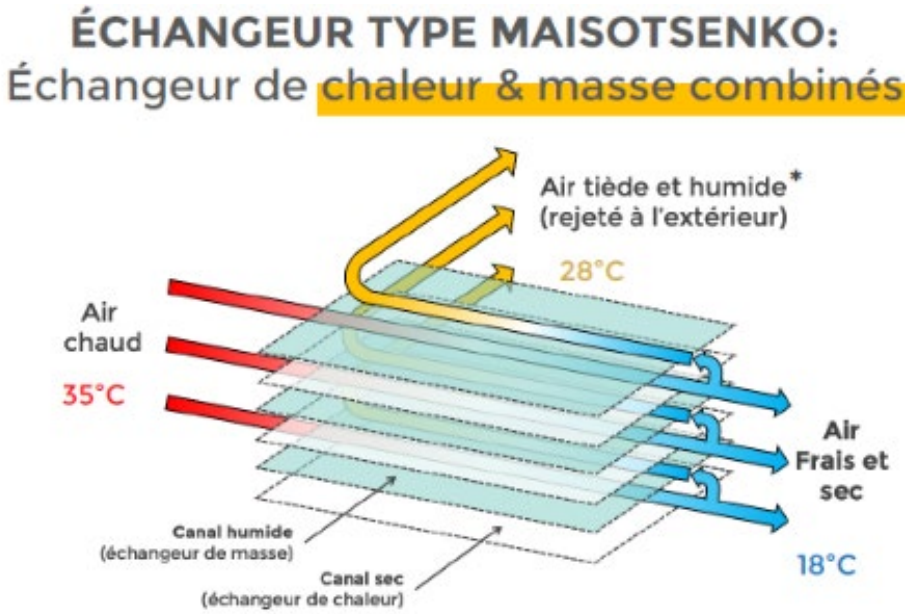
	Bluetek Cool Flow 5000	Eco Fresh Air FRE 5001
Surface rafraîchie	120/130m² environ	
Capacité	35L	90L
Consommation	4-5L/h	3-4L/h
Puissance absorbée	280W	230W
Débit	5000 m3/h maximum	
Niveau sonore	58 dB(A) maximum	
Tarif	1 224 €TTC	516 €TTC

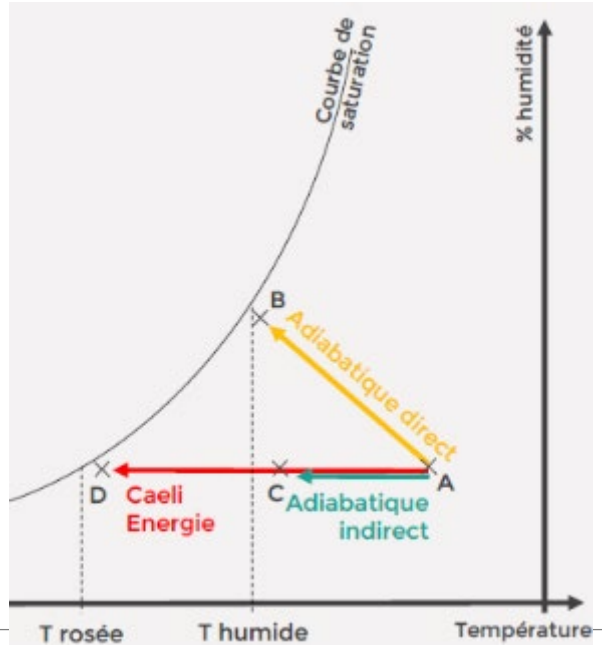
Adiabatique

Adiabatique adiabatique indirect à point de rosée

- ✓ Rupture technologique par l'atteinte du point de rosée
- ✓ 4 brevets en cours de dépôt
- ✓ Phase Expérimentation terrain été 2022 : Prototypes fabriqués à Fontaine, en cours d'installation dans un bureau de Valence Romans Habitat, à Millau Toulon Grenoble Paris

Système gainée pour habitat Passif - Allemagne mai 2022





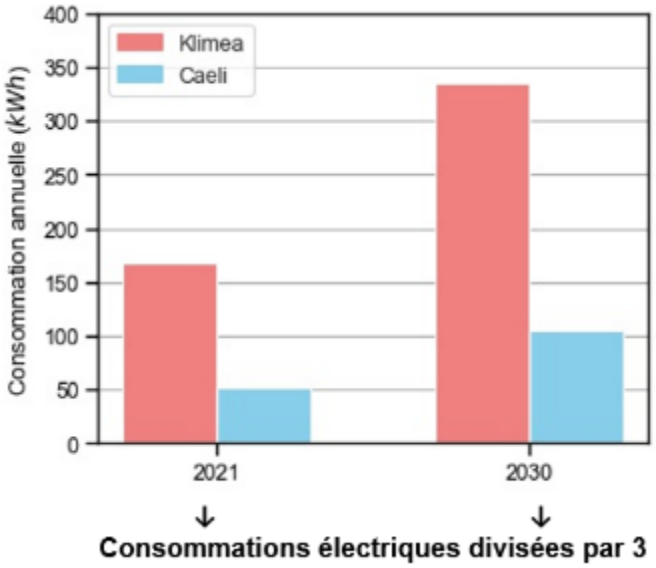
Adiabatique

Adiabatique adiabatique indirect à point de rosée

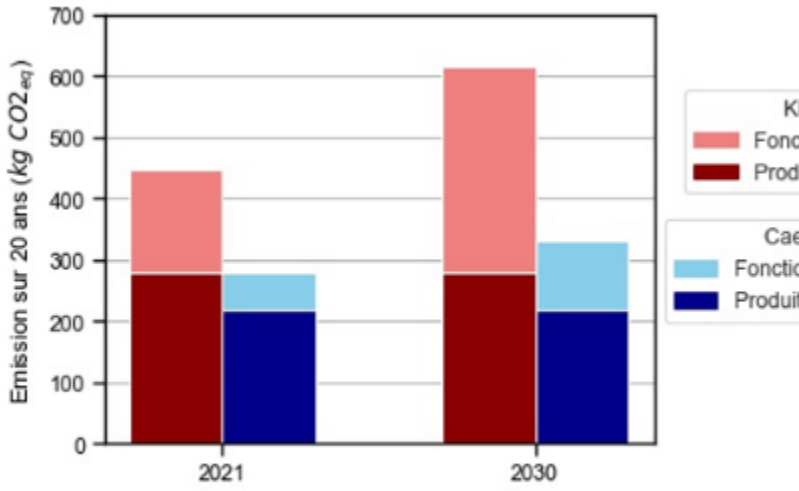
- ✓ Simulation comparative Produit Caeli avec climatiseur monobloc KLIMEA 9HP mini, similaire en termes de puissance et de contrainte d'installation, pour des conditions climatiques 2021 et 2030

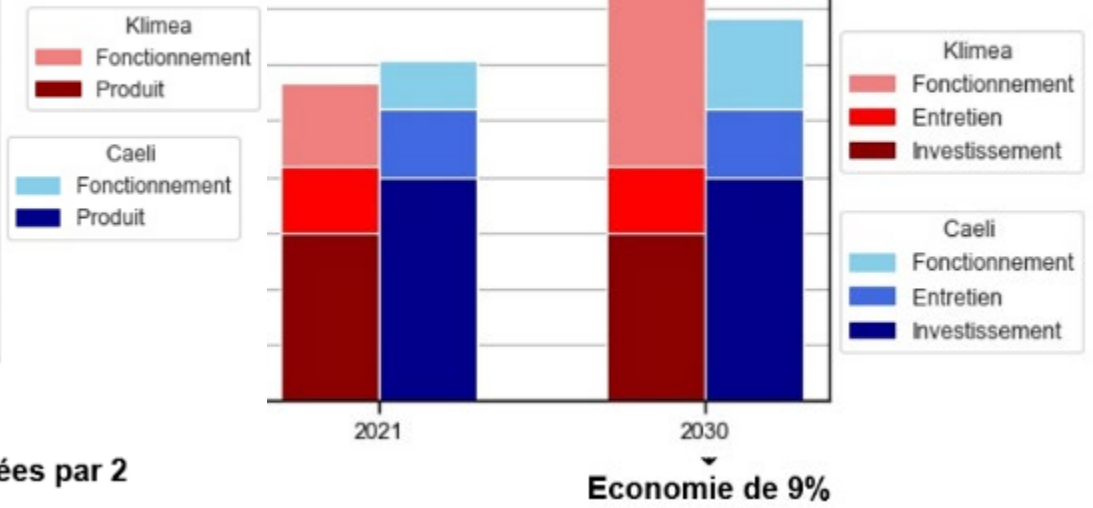
Conso élec /3, Emissions GES /2

Economie cout global investissement à peu prés identique, meilleure de 9% avec données météo 2030



Consommations électriques divisées par 3





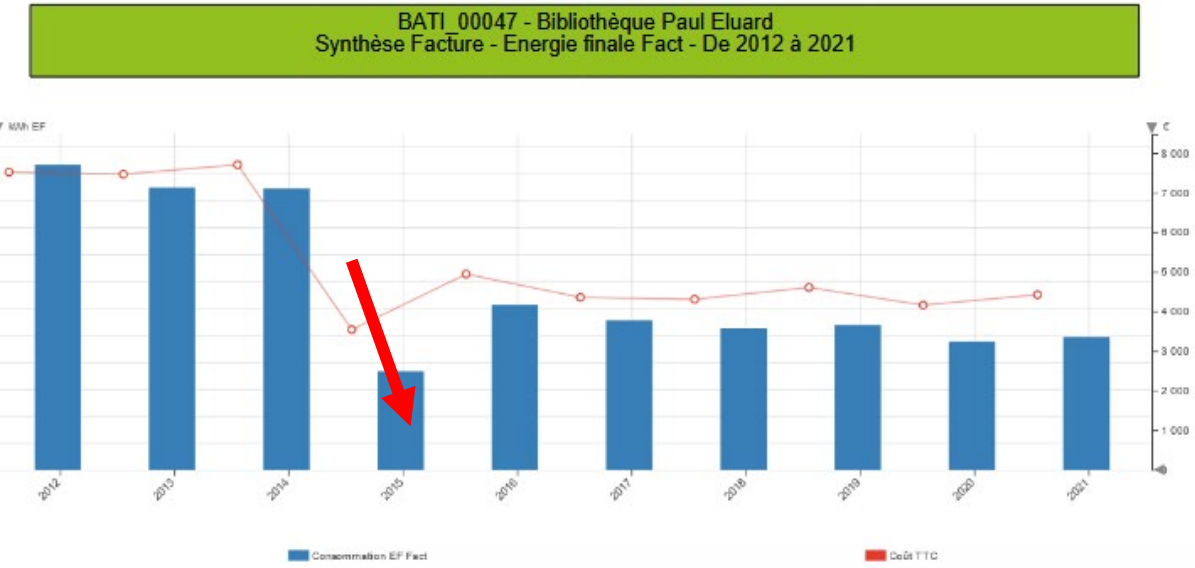
Emissions de CO2eq divisées par 2

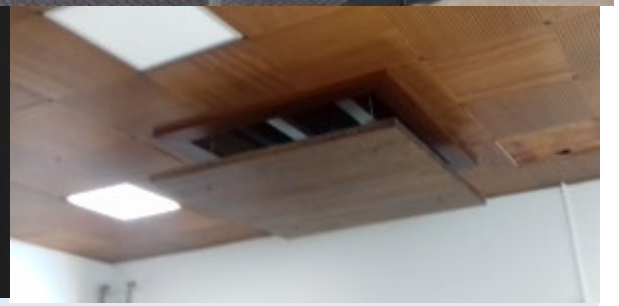
Economie de 9%

Adiabatique

Rex Adiabatique direct : Médiathèque Paul Eluard

- ✓ **Suppression des climatisations entre l'été 2014 et 2015**
- ✓ **Modules adiabatique direct sur air soufflé Adiabox 16000 , LED pour l'éclairage**



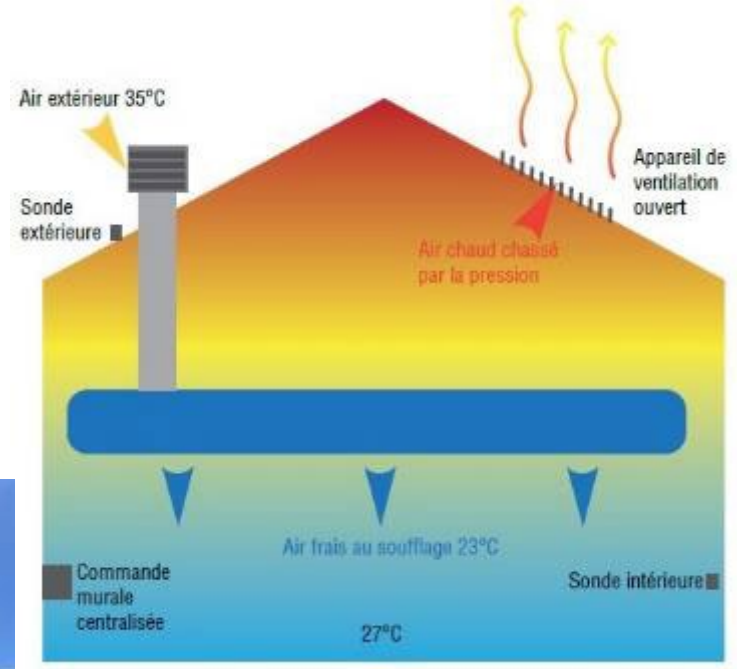


- ✓ L'air rafraichi est mis en mouvement, traverse les zones rafraichies et s'évacue vers l'extérieur via les fenetres ouvertes . Nécessité d'impliquer les occupants pour gérer l'ouverture des fenêtres
- ✓ **Mesures : Air intérieur < 28 °C , par 5 jours consécutifs à 34°C ext en Aout 2017**
- ✓ **Economies d'électricité -60% au global (50 -> 20 MWh/an)**
- ✓ Investissement 10k€ht

Adiabatique

Rex Adiabatique Direct: Blanchisserie ESAT St Agnes

- Salles Propre et salle Lavage : 550m2 / 3300m3
- Renouvellement tout air neuf 13 vol/h soit 45000m3/h
- 30 l d'eau pour 10000m3/h
- Budget de 1,5 à 3,0 euros HT du m3/h selon projet
- Cout du projet 75k€ht. Aide MurMur TPE PME 10%



Témoignage occupant: difficile de faire la part entre la toiture thermo réflective et le système adiabatique, mais récemment la température n'a pas dépassé 29°c par 38°C extérieur

Adiabatique

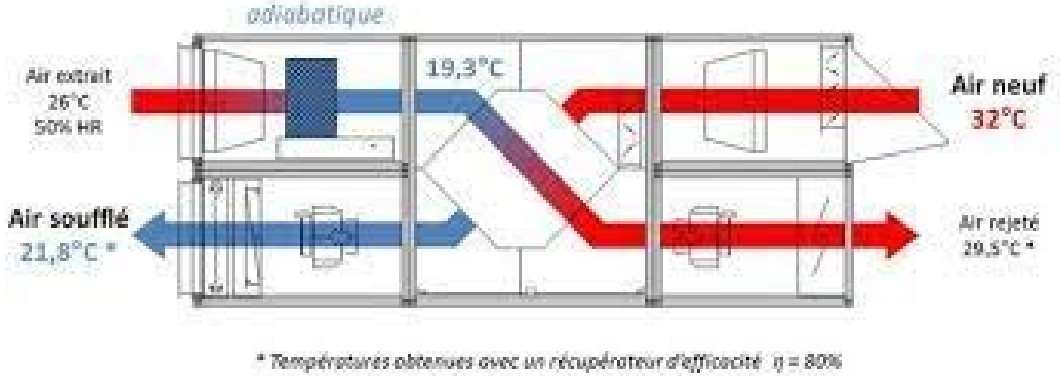
Rex Adiabatique Direct: Industriel (Fonderie)

- Soufflage de 20.000 m3/h dans un grand volume ouvert
- confort localisé aux postes de travail

Adiabatique

Rex adiabatique indirect : Halle formation du CSTB à SMH

- Halle formation du CSTB à SMH , 400m2 zone bureaux rafraichis
- ADIABATIQUE INDIRECT ASSOCIE A LA VENTILATION DOUBLE FLUX
- Puissance adiabatique: 8 kW / Débit de Soufflage: 3.200 m3/h
- Consommation en eau : 16 litres/h (12 à 14 m3/an)
- T int<27°C par Text 32°C



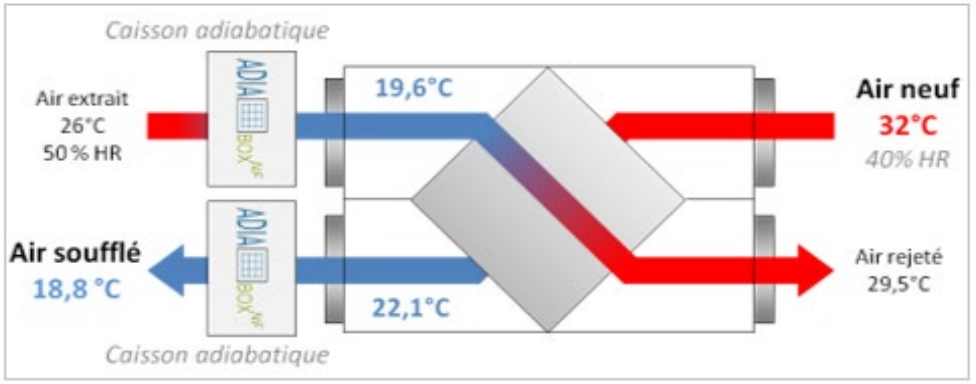
- Cout d'investissement (par système): +10.500 €TTC
- Cout rafraichissement : 200€/an (Electricité 150 €/an Eau env. 50 €/an)
- GES évités: 65 kgeqCO^2/an pour l'électricité, et 2 kgeqCO^2/an pour l'eau

Film descriptif CEGIBAT: https://www.youtube.com/watch?v=uerv5OeDkYE

Adiabatique

Rex Adiabatique indirect : Salle René Proby à SMH

- ✓ **Salle capacité 200 pers, en service depuis 2015**
- ✓ **ADIABOX NF INOX – 12000**
- ✓ **Modules adiabatique sur Air extrait et Air soufflé**
- ✓ **Débit d'air neuf 9800 m³/h**

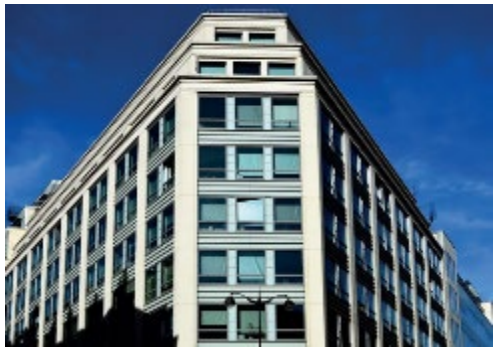


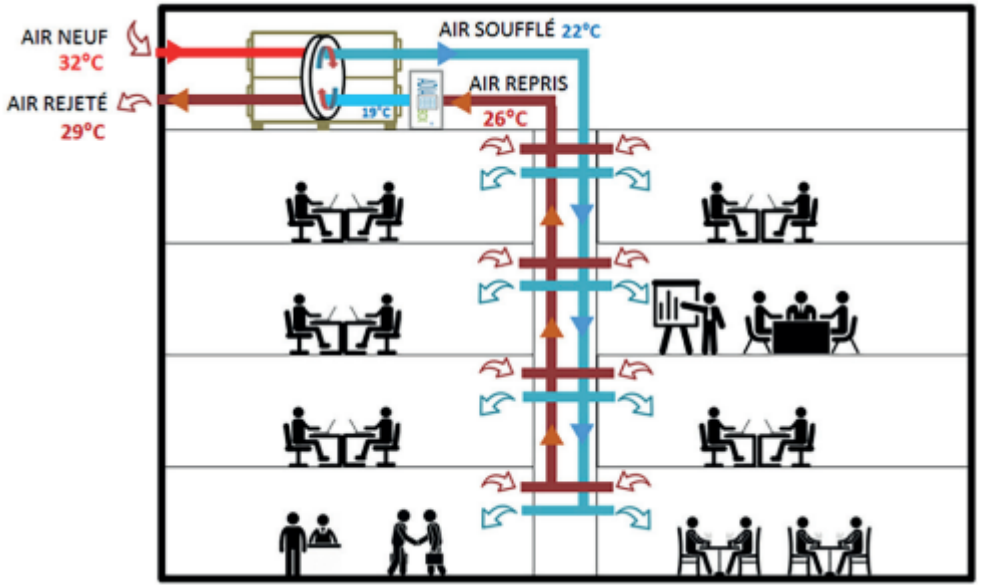
Extrait de l'analyse fonctionnelle
Le module sur l'air repris s'enclenche en premier, puis le module sur l'air neuf vient en complément si besoin. *La CTA doit fonctionner en tout air neuf lors de la mise en route des modules adiabatiques, c'est-à dire que le caisson de mélange soit complètement fermé afin que l'on n'ait pas de recyclage.*

Adiabatique

Système adiabatique : exemple de projet

Immeuble Galliéni GrDF Lyon
Bureaux
Bat R+5 (5600m²)
ADIABOX NFG 30000



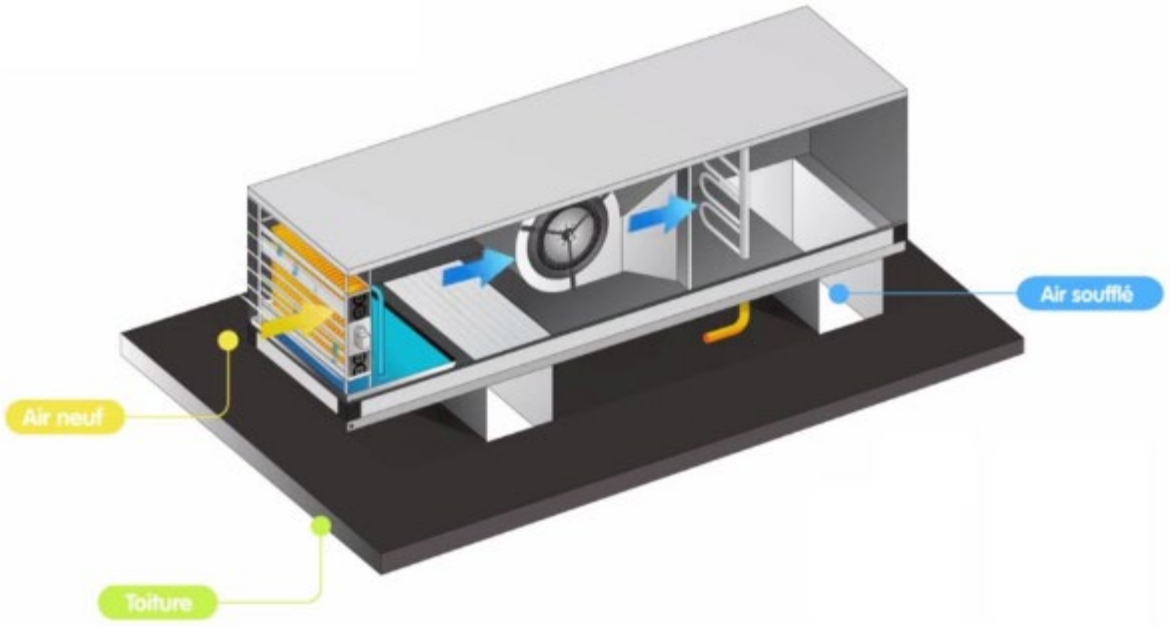


Adiabatique

REX GRDF: le rooftop gaz adiabatique

- Le système adiabatique DIRECT, composé

✓ d'une rampe de brûleurs gaz naturel
✓d'un système adiabatique (bac, pompe et média)
✓ d'un ventilateur
✓ d'un système de régulation



Rooftop Australair

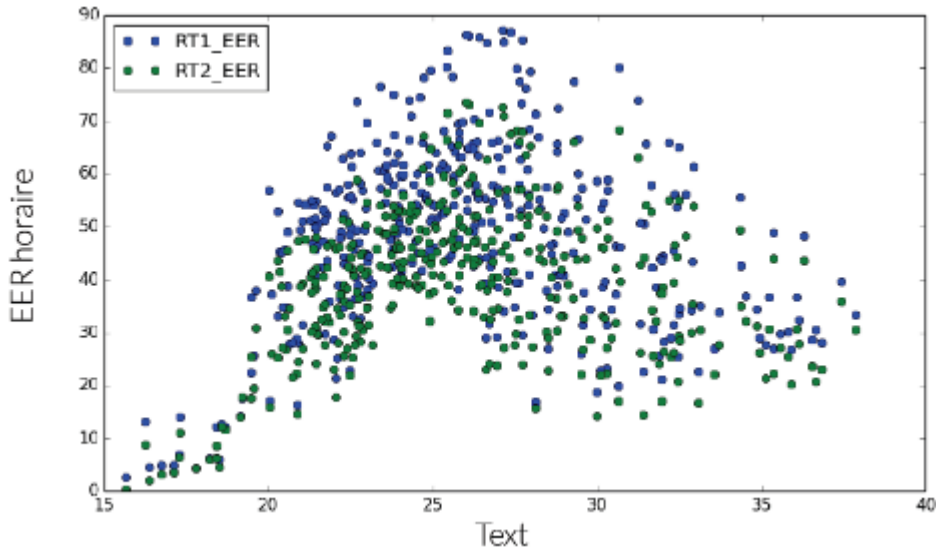
Humidité relative < 70%

Adiabatique

REX GRDF: le rooftop gaz adiabatique

✓ Instrumentation ADEME de 2 REV réalisée à Chenôve (21) sur le hall moto d'une concession BMW en 2014 (300 m² et 4 m de hauteur)

✓Deux rooftops adiabatiques de 50 kW unitaire



RT1 = rooftop 1 & RT2 = rooftop 2

** EER = Energy Efficiency Ratio est le coefficient d'efficacité frigorifique (autrement appelé le COP froid).*

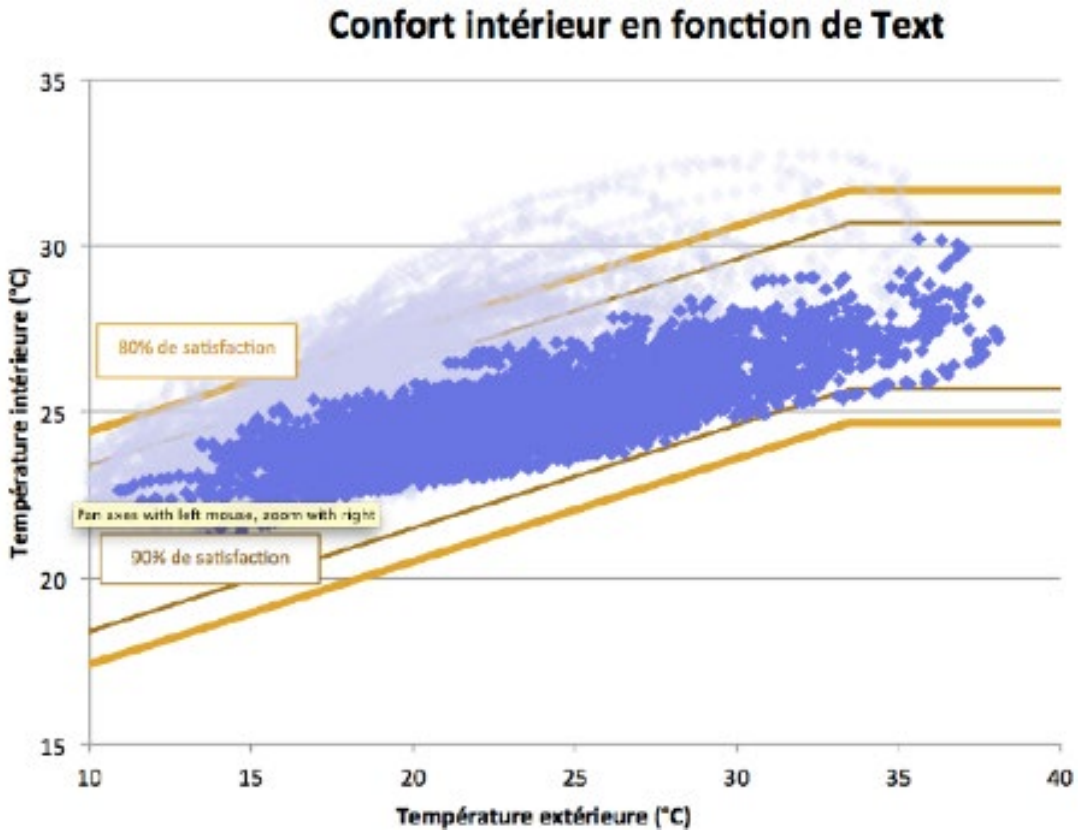
✓Efficacité : la production de froid ne consomme que de l'eau et l'électricité nécessaire pour alimenter la pompe et le ventilateur : **EER moyen mesuré de 30**

Adiabatique

REX GRDF: le rooftop gaz adiabatique

✓ **U**n confort caractérisé

À aucun moment le bâtiment n'est sorti de la zone de confort ressentie par 90 % des gens, et ce même quand Text > 38 °C !



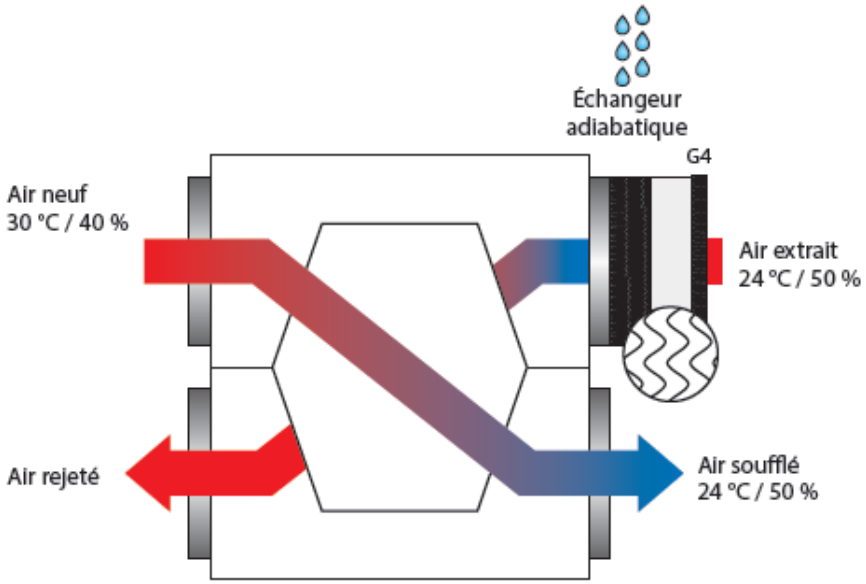
Températures intérieure vs extérieure, au pas de temps 10 min.
En bleu sombre : pendant les heures d'occupation (RT actifs)
En bleu clair : les points où les rooftops ne fonctionnaient pas (weekends, dimanche)

Adiabatique

REX GRDF: l'adiabatique indirect

✓ Échangeur adiabatique indirect sur air extrait avec média adiabatique, module hydraulique et régulation

- ✓ Renouvellement d'air et récupération de chaleur + module de rafraîchissement
- ✓ Débit de soufflage : Gamme disponible de 100 à 5500 m3/h
- ✓ Gain jusqu'à 5°C au soufflage avec une conso de 5L/h d'eau à 1500 m3/h
- ✓ Possibilité de coupler avec une batterie à eau chaude
- ✓ Installation en intérieur



Adiabatique

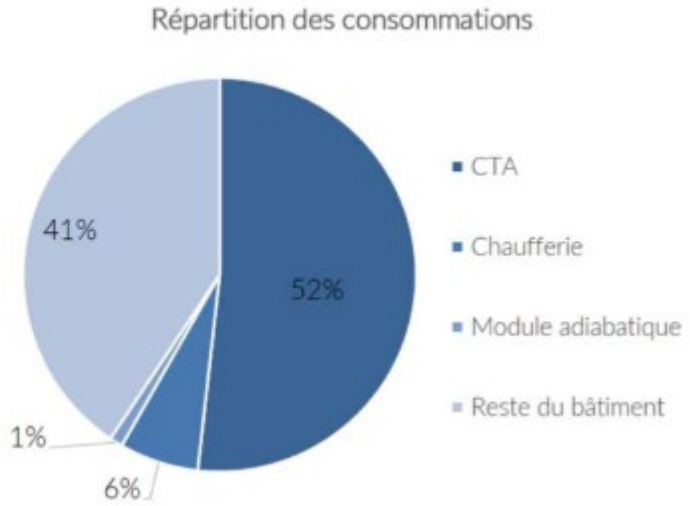
REX GRDF: l'adiabatique indirect

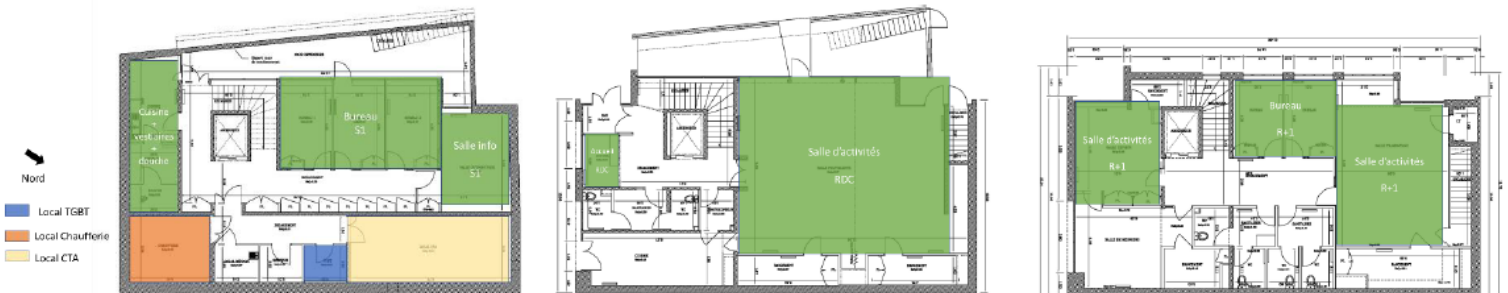
MJC Espace des 4 vents Lyon
Salles d'activités + bureaux
Bat R+1 avec sous-sol (500m²)
1 x ADIABOX NFG 6000
Instrumentation en 2018 et 2019

Consommations énergie (kWh)	
Total Bâtiment	2386,4
CTA	1235,9
Chaufferie	155,6
Module adiabatique	25,6

Rafraichissement adiabatique	
Consommation d'eau	7982 litres
Energie froid produite	3069 kWh
Consommation énergétique	25,6 kWh
Efficacité Froid moyenne (EER)	119

Bilan des consommation de 12 juillet au 8 août 2018

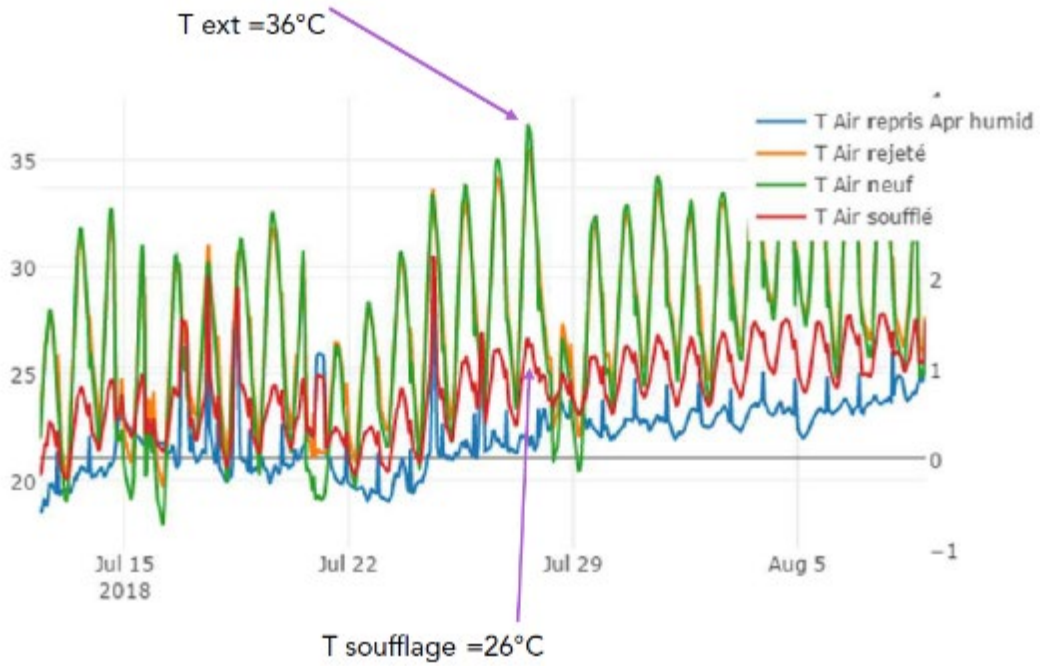




Adiabatique

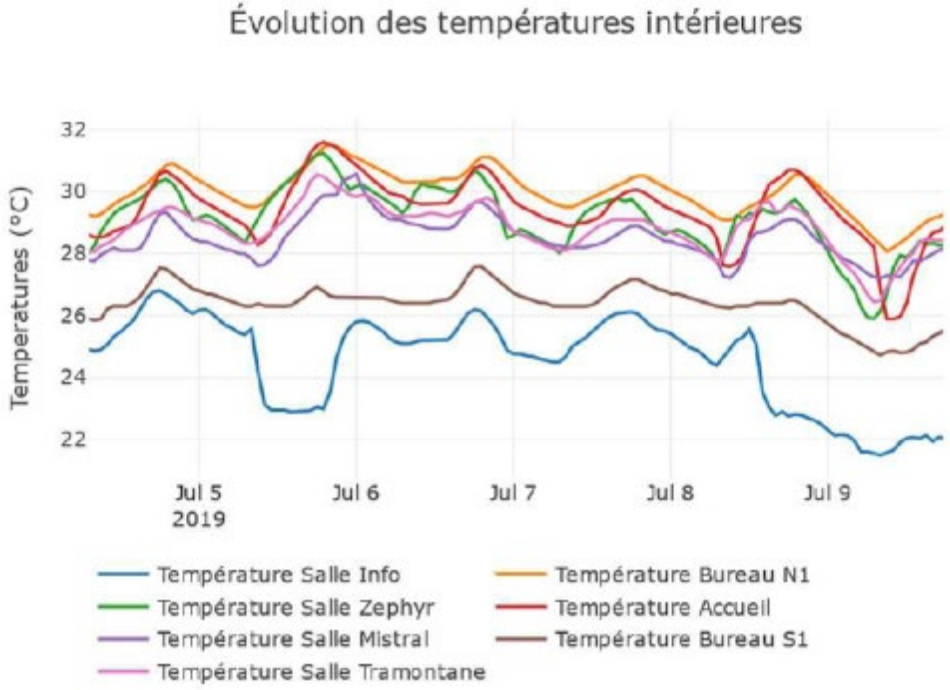
REX GRDF: l'adiabatique indirect

✓**Un abaissement de la Température intérieure réussi**



Lors d'un pic de température extérieure à 36 °C, la température de soufflage de la CTA a été de 26 °C !

✓**Un bâtiment non conçu au départ pour un système adiabatique**



Malgré des températures de soufflages plus faibles, les Températures intérieures dépassent les 30 °C du fait des forts apports solaires et du débit trop faible de la CTA

Adiabatique

REX GRDF: l'adiabatique indirect

MJC 4 vents à Lyon : l'adiabatique indirect, une solution efficace, qui pour encore plus de performance, doit s'accompagner :

- ✓ De solutions bioclimatiques pour réduire le besoin de froid
- ✓ D'une solution de surventilation nocturne efficace
- ✓ Tenir compte de la réelle occupation du bâtiment
- ✓ D'une sensibilisation des occupants

Adiabatique : conclusions

Adiabatique direct

- Soufflage direct de l'air humide dans le bâtiment
- Solution prescrite en bâtiments de grand volume (hors alimentaire, et pas trop près de la mer <1km)

Adiabatique indirect

- Aucun contact entre l'air humide et l'air entrant
- Via centrale double flux automatiquement

Avantages des solutions adiabatiques

- C'est du rafraichissement, pas de la climatisation
- Créer un vrai ΔT entre l'air entrant et l'air extérieur
- Faible consommation d'eau et d'électricité

Une solution à prescrire davantage

- Relations distributeurs/bureau d'études à étoffer : pour montée en compétence , travailler l'argumentaire afin de convaincre les maitres d'ouvrage

Questions/Partage ?

Remerciements aux intervenants.. et au public

- ✓ Luc Gilliot / Dalila Debbar / Jennifer Arabadjian-steffen – Mairie de Fontaine
- ✓ Jérémie Hilaire – Mairie de Seyssinet Pariset
- ✓ Gita Mootoosamy – Mairie de SMH
- ✓ Violaine De Geoffroy – Mairie de Grenoble
- ✓ Delphine Derobert – Grenoble Alpes Métropole GAM DTE

- ✓ Stéphane Oliveira- Entreprise Climlikid
- ✓ Clémence Legros- Entreprise CAELI
- ✓ Antoine Henneron - Entreprise POLYAIR
- ✓ Mathieu Carage - Entreprise ADEXSI - GENATIS
- ✓ Pierre-Mael Gorra - GRDF
- ✓ Paul Cairola – Bureau d'étude CET
- ✓ Christian Cazaux– Bureau d'étude COTIB

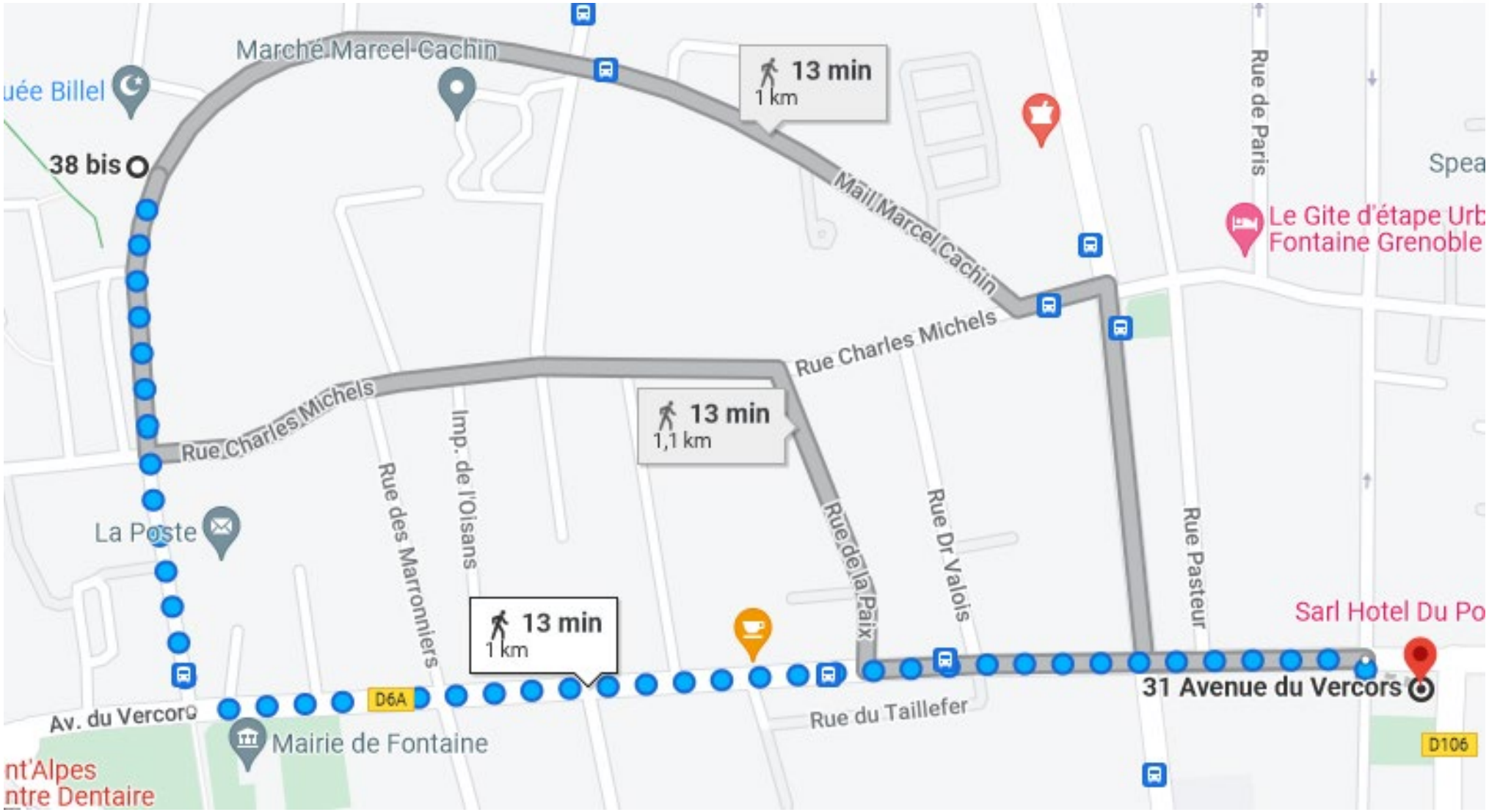
- ✓ Jérôme Buffiere /Vincent Revol / Come Rivier / Sophie le Curieux_Belfond SPL ALEC

Merci de votre attention

Les rencontres énergies de l'ALEC
30 Juin 2022

Contacts ALEC :
Jérôme BUFFIERE
Jerome.buffiere@alec-grenoble.org

VOTRE PARTENAIRE PUBLIC EN ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

ALEC
AGENCE LOCALE
DE L'ÉNERGIE ET DU CLIMAT
Grande Région Grenobloise
Société Publique Locale

Acces Visite Médiathèque Paul Eluard