

COLLECTION GUIDE TECHNIQUE

2024



**CATALOGUE
DES SYSTÈMES
DE RAFRAÎCHISSEMENT
ET DE CLIMATISATION
POUR LES BÂTIMENTS
DU TERRITOIRE**

LISTE DES SOLUTIONS TECHNIQUES FAISANT L'OBJET D'UNE FICHE

Systèmes conventionnels	Systèmes performants	Innovations
- Machine frigorifique à compression - avec tour adiabatique - de type split système - de type débit de Réfrigérant Variable – DRV - Roof-top ou unité de climatisation de toiture	- Pompes à chaleur ou thermofrigopompes géothermiques - forage sur aquifère - champs de sondes - fondations thermoactives - Machine frigorifique à absorption pour la valorisation de chaleur fatale - Raccordement à un réseau de froid urbain - Géothermie sur pieux sans pompe à chaleur - Géocooling - Géothermie sur aquifère ou rivière sans pompe à chaleur - Hydrocooling - Rafrachissement adiabatique - Indirect - direct - Brasseur d'air - Puits canadiens ou provençaux	- Solaire thermique et machine frigorifique à absorption - Groupe froid fonctionnant à l'eau (fluide frigorigène) - Rafrachissement évaporatif par dessiccation sur source renouvelable

LÉGENDE

USAGE			
☒ La solution fonctionne pour l'usage en question.			
☐ La solution ne remplit pas cette fonction.			
APERÇU ÉCONOMIQUE GÉNÉRAL			
Coût d'investissement			
Coût d'exploitation	Supérieures à un SCC ¹	Équivalents à un SCC	Inférieure à un SCC
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES			
Complexité	High-Tech	Intermédiaire	Low-tech
Confort	-	Rafrachissement	Climatisation
Gain énergétique*2	Équivalents à un SCC	Positifs comparés à un SCC	Pas de consommation énergétique
Nuisances sonores	Supérieures à un SCC	Équivalents à un SCC	Inférieures à un SCC
DURÉE DE VIE			
Durée de vie	<15 ans	15 à 20 ans	>20 ans
IMPACT ENVIRONNEMENTAL			
	Impact	Impact	Impact
Émissions de CO2 eq.*3	Supérieures à un SCC	Équivalentes à un SCC	Inférieures à un SCC
Fluide frigorigène	Strict respect de la loi	Anticipation du palier législatif suivant	PRG*4 nul
Contribution aux îlots de chaleur	Supérieure à un SCC	Équivalente à un SCC	Absente
Impact spécifique	Risque d'impact	Risque maîtrisé	Risque absent

*1 Système de Climatisation Conventionnel (SCC)

*2 Gain comparé à un système de climatisation conventionnel

*3 Émissions de CO2 eq. sur la phase d'usage, la principale phase responsable des impacts carbone.

*4 Pouvoir de Réchauffement Global (PRG)

DESCRIPTION

TYPE DE Soluton

Écogeste

Conception bioclimatique

Système : guide technique "CATALOGUE DE SOLUTIONS"



En mettant en avant les écogestes pour diminuer la consommation énergétique, puis en intégrant la conception bioclimatique pour réduire les besoins énergétiques des bâtiments, une priorisation judicieuse est établie. Ces actions préalables permettent une utilisation optimale des systèmes de production d'énergie.

USAGE

Refroidissement

Rafrachissement

Chauffage



Décrit les usages auxquels répond le système de production d'énergie. La mise en place d'un système de production d'énergie répondant à plusieurs usages offre une gamme d'avantages, allant de l'efficacité énergétique à la réduction des coûts, en passant par la réduction de l'empreinte environnementale et la simplicité de gestion.

Coût d'investissement

Coût d'exploitation



La compréhension des coûts d'investissement et d'exploitation des systèmes énergétiques par rapport à la climatisation conventionnelle est cruciale pour guider des décisions stratégiques en faveur de la durabilité financière, environnementale et sociale. Cette connaissance facilite des choix éclairés ayant des retombées positives à long terme.

USAGE

Complexité

Confort

Gain énergétique

Nuisance sonore

Individuel

Mutualisé



Comprendre la complexité du système révèle s'il privilégie une approche simple et sobre ou une technologie pointue et complexe.

Il faut distinguer si le système vise à maintenir une température confortable (rafrachissement) ou à atteindre une température précise selon les besoins spécifiques (refroidissement).

L'efficacité avec laquelle l'appareil convertit l'énergie en refroidissement, influence les coûts opérationnels et l'impact carbone de la solution.

Les nuisances sonores d'un climatiseur sont un indicateur crucial pour évaluer son impact sur le confort des occupants et sur celui des occupants voisins.

Le mode de chauffage, collectif ou individuel, est choisi en fonction des besoins et contraintes propres à chaque bâtiment et ses occupants. Les solutions partagées sont économiques et éco-responsables, mais manquent de contrôle. Les solutions individuelles offrent contrôle et adaptabilité, mais à un coût environnemental et financier supérieur.

DESCRIPTION

CONDITIONS D'INTÉGRATION

Localisation

Profils

Limites



Le choix d'un système d'énergie renouvelable dépend de conditions locales telles que :

- les ressources naturelles et le climat locaux
- les caractéristiques du projet et les besoins en froid.

Une approche spécifique est nécessaire, car l'applicabilité varie sur le territoire métropolitain.

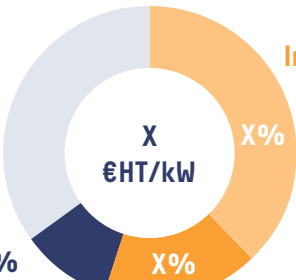
Il est important de prendre en compte les limites des systèmes de production de froid en termes de sécurité d'approvisionnement, d'efficacité énergétique, d'adaptation aux besoins réels, etc.

COÛT GLOBAL

Électricité X%

Investissement X%

Exploitation X%



Lorsque la technologie est mature et étudiée en profondeur, clarifier le coût total devient essentiel. La visualisation des dépenses sur la durée de vie du système permet une stratégie financière solide à long terme pour toutes les parties impliquées, renforçant ainsi la prise de décision éclairée.

DURÉE DE VIE

Composant 1

Composant 2

ans

ans

Il est important de choisir des systèmes de refroidissement durables pour maximiser les avantages économiques et environnementaux à long terme.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq

Fluide frigorigène

Contribution aux îlots de chaleur

Impact spécifique



CO2

Texte

Texte

Texte

Les émissions de CO2eq. pendant l'usage dominant l'empreinte carbone des solutions froid sur leur cycle de vie.*1

Le fluide frigorigène, impactant significativement le climat, requiert une sélection attentive.

Les climatiseurs amplifient les îlots de chaleur urbains en renforçant le réchauffement par rétroaction thermique.

Cette section énonce les effets particuliers de chaque solution, excluant les répercussions habituelles des climatiseurs conventionnels

Cet indicateur facilite la comparaison des impacts environnementaux entre solutions.

Des fluides à très faible impact sont essentiels pour la soutenabilité et la conformité aux réglementations des solutions.

Les choix de refroidissement doivent rompre ce cycle pour améliorer le confort citoyen.

1 ADEME, Engie, Tractebel, Solininen (2020). Analyse du cycle de vie de systèmes renouvelables de production de chaleur et de froid de grande puissance"

01

SYSTÈME CONVENTIONNEL

Machine frigorifique à compression avec tour de refroidissement adiabatique

Le groupe frigorifique, placé à l'extérieur, est connecté par des conduites flexibles à une **Centrale de Traitement d'Air** ou à des **ventiloconvecteurs** à l'intérieur. L'eau réfrigérée est pompée vers les unités intérieures, où elle circule dans des **échangeurs thermiques** avant de revenir au groupe. La **tour de refroidissement adiabatique** refroidit le fluide, utilisant l'air ambiant en **mode sec**, et en **mode humide** par évaporation d'eau lorsque la température atteint des niveaux élevés.

- Chauffage
- ☐
- Rafrachissement
- ☐
- Climatisation
- ☒
- Coût d'investissement
- ☐●●
- Coût d'exploitation
- ☐●●

CONDITIONS D'INTÉGRATION

- ✓ Localisation
- ✓ Profils
- ✗ Limites

Nécessite une **source d'eau** disponible en quantité suffisante et de manière durable.

Ne correspond pas à des travaux de rénovation thermique légère. Adapté au refroidissement d'**espaces de grande dimension**.

Nécessite de l'**espace** en extérieur ainsi qu'un **entretien régulier**. Efficacité réduite de la tour en **climat humide**.

COÛT GLOBAL

Investissement	
Groupe froid monobloc	320 €/kW
Tour adiabatique	200 à 300 €/kW
Installation et étude	200 à 850€
Exploitation	5 000 €/installation
Électricité	140€ à 230€ TTC/an (En fonctionnement 5 heures par jour pendant 90 jours au tarif Bleu 6 kVA option Base pour un climatiseur monosplit)



DURÉE DE VIE

- ❄ Groupe froid
- 15 à 20 ans
- 💧 Tour de refroidissement
- 20 à 30 ans

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- 🎲 Complexité
-
- 🔧 Confort
-
- ⚡ Gain énergétique*1
-
- 🔊 Nuisance sonore
-
- 🔗 Individuel ☒ Mutualisé ☒

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

La performance de ces groupes **eau/eau** est **meilleur** que celle des groupes avec refroidissement à air (dry cooler).

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq	Fluide frigorigène	Contribution aux îlots de chaleur	Impact spécifique
☁ CO2	❄	🏙	💧
~8 gCO2eq./kWh froid +5% d'émissions fugitives fluide frigorigène	Émissions au cours de la vie du système : 6% d'émission de fluides dans l'atmosphère par rapport à la charge totale de l'équipement	Rejet d'air chaud et humide. Température d'air rejeté plus basse que celle des tours classiques	Économie d'eau et d'énergie comparée aux tours de refroidissement traditionnelles.

02

SYSTÈME CONVENTIONNEL

Machine frigorifique à compression de type split système

Le système est composé de **deux éléments** distincts, à savoir une unité de **condensation (extérieur)** et une unité d'**évaporation (intérieur)**. Ces unités sont reliées par des conduites à travers lesquelles circule un **fluide frigorigène en circuit fermé**. En **changeant d'état** à mesure qu'il traverse les différents composants, ce fluide permet un **abaissement de la température** entre la source chaude et la source froide.

- Chauffage
- ☒
- Rafrachissement
- ☐
- Climatisation
- ☒
- Coût d'investissement
- ☐●●
- Coût d'exploitation
- ☐●●

CONDITIONS D'INTÉGRATION

- ✓ Localisation
- ✓ Profils
- ✗ Limites

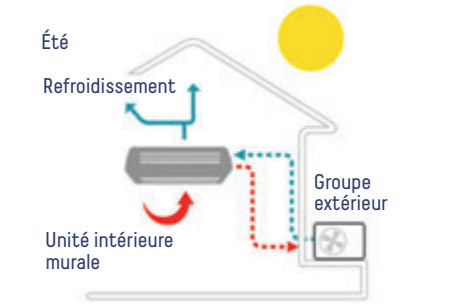
Espace disponible pour l'**unité extérieure**.

Profil type : Appartements, bureaux, magasins, restaurants. Fortement déconseillé en projet neuf et rénovation lourde. Déconseillé en rénovation thermique légère.

Grande quantité de fluide frigorigène stocké dans les systèmes. Ne convient pas à certains bâtiments classés et aux grands espaces.

COÛT GLOBAL

	Monosplit	Quadrisplit
Investissement	700 à 1200€ TTC	1600 à 2500€ TTC
Exploitation	120 à 200€ TTC/an - prix moyen d'un contrat d'entretien annuel pour un système monosplit	
Électricité	140 à 230€ TTC/an (En fonctionnement 5 heures par jour pendant 90 jours au tarif Bleu 6 kVA option Base pour un climatiseur monosplit)	



DURÉE DE VIE

- 🌀 Système SPLIT
- 15 ans

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- 🎲 Complexité
-
- 🔧 Confort
-
- ⚡ Gain énergétique
-
- 🔊 Nuisance sonore
-
- 🔗 Individuel ☒ Mutualisé ☐

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Souplesse d'installation. Importance de l'**étiquette performance**. **Entretien régulier** à effectuer.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq	Fluide frigorigène	Contribution aux îlots de chaleur	Impact spécifique
☁ CO2	❄	🏙	🔊
~12 gCO2eq./kWh froid +5% d'émissions fugitives fluide frigorigène	Émissions au cours de la vie du système : 4% d'émission de fluides dans l'atmosphère par rapport à la charge totale de l'équipement	Rejet de chaleur important	Source de nuisance sonore

03

SYSTÈME CONVENTIONNEL

Machine frigorifique de type climatisation à Débit de Réfrigérant Variable – DRV ou VRV

La climatisation VRV/DRV est un système de climatisation réversible, permettant d’ajuster le débit de réfrigérant pour chaque zone. L’évaporateur refroidit directement l’air dans le caisson de traitement d’air, la détente directe donc s’effectue dans chaque local grâce au fluide réfrigérant circulant jusqu’à l’échangeur local, éliminant ainsi le besoin de conduits pour l’air ou l’eau. Ce système offre une régulation précise de la température, réduit les coûts d’installation et d’entretien en utilisant un seul groupe extérieur pour alimenter plusieurs unités intérieures.

- Chauffage
- Rafrachissement
- Climatisation
- Coût d’investissement
- Coût d’exploitation

CONDITIONS D’INTÉGRATION

✓ Localisation

✓ Profils

✗ Limites

Hauteur sous plafond adéquate pour les unités intérieures. Espace extérieur requis pour l’unité extérieure du système.

Particulièrement adapté pour de vastes superficies : hôtels (chambres avec unités individuelles), musées, établissements médicaux, éducatifs, bureaux, résidences spacieuses.

Grande quantité de fluide frigorigène stocké dans les systèmes. Système complexe à installer et à entretenir.

COÛT GLOBAL

Investissement	
Pose et fourniture - DRV réversible	800 €/kW
Exploitation	
Entretien et de maintenance du système	1000€/an (selon puissance)
Électricité	90€ à 150€ TTC/an (En fonctionnement 5 heures par jour pendant 90 jours au tarif Bleu 6 kVA option Base pour un climatiseur monosplit)

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq

CO2

~1 gCO2eq./kWh +5% d’émissions fugitives fluide frigorigène

Fluide frigorigène

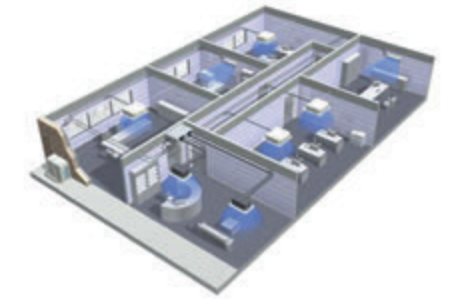
Émissions au cours de la vie du système : 5% d’émission de fluides dans l’atmosphère par rapport à la charge totale de l’équipement

Contribution aux îlots de chaleur

Rejet d’air chaud

Impact spécifique

Entretien régulier requis en raison de l’utilisation spécifique des fluides frigorigènes



DURÉE DE VIE

DRV/VRV

< 15 ans

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Complexité

Confort

Gain énergétique

Nuisance sonore

Individuel

Mutualisé

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Bon rendement à charge partielle.

04

SYSTÈME CONVENTIONNEL

Roof-top ou unité de climatisation de toiture

Le Roof Top est une unité de climatisation monobloc installée en toiture, comprenant un circuit frigorifique. Il permet un fonctionnement en cycle réversible pour le chauffage et le refroidissement, principalement en utilisant le cycle air-air. Les composants clés du circuit incluent le compresseur, l’évaporateur, le condenseur, le détendeur et le réfrigérant. Les ventilateurs extérieurs régulent les paramètres de l’air, tandis que les ventilateurs et l’économiseur acheminent l’énergie thermique et l’air extérieur dans la pièce. Des filtres à air assurent la purification de l’air extérieur et recyclé.

- Chauffage
- Rafrachissement
- Climatisation
- Coût d’investissement
- Coût d’exploitation

CONDITIONS D’INTÉGRATION

✓ Localisation

✓ Profils

✗ Limites

Exigence d’une surface solide et accessible en toiture. Conforme à la réglementation concernant l’installation de systèmes de climatisation en toiture.

Majoritairement adapté aux larges espaces non cloisonnés (commerces, logistique, hospitalité, bureaux, santé, loisirs, réunissant magasins, entrepôts, bureaux, hôtels, sports, santé).

Exposé aux intempéries ce qui peut les endommager. Système volumineux.

COÛT GLOBAL

Investissement	
Étude thermique	Négligeable
Pose et fourniture Rooftop	800 €/kW
Exploitation	
Entretien et de maintenance du système	
Électricité	190€ à 310€ TTC/an (En fonctionnement 5 heures par jour pendant 90 jours au tarif Bleu 6 kVA option Base pour un climatiseur monosplit)

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq

CO2

~2 gCO2eq./kWh +5% d’émissions fugitives fluide frigorigène

Fluide frigorigène

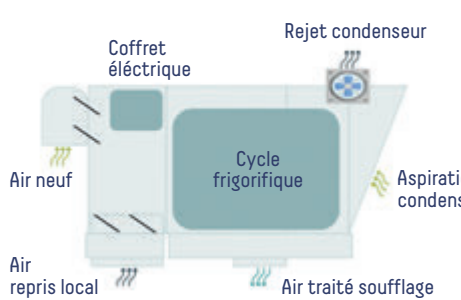
Émissions au cours de la vie du système : 5% d’émission de fluides dans l’atmosphère par rapport à la charge totale de l’équipement

Contribution aux îlots de chaleur

Rejet de chaleur

Impact spécifique

Consommation énergétique particulièrement élevée



DURÉE DE VIE

Roof-top

15 ans

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Complexité

Confort

Gain énergétique

Nuisance sonore

Individuel

Mutualisé

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Entretien facile et peu fréquent. Rapide à mettre en œuvre. Bonnes performance à charge partielle.

05

SYSTÈME PRÉCONISÉ

Pompes à chaleur ou thermofrigopompes géothermiques - forage sur aquifère

La géothermie sur aquifère consiste à **pomper** de l'eau d'une **nappe souterraine** par l'intermédiaire d'un ou plusieurs forages pour l'acheminer (via un **échangeur**), jusqu'à la pompe à chaleur afin d'en **décharger les calories** durant la réinjection dans l'aquifère par l'intermédiaire d'un second ou de plusieurs forages. En raison de la **fraîcheur relative de l'eau souterraine par rapport à l'air ambiant pendant la période estivale**, l'échange de chaleur s'effectue de manière **plus efficace** par rapport à un système conventionnel.

- Chauffage
- Rafrachissement
- Climatisation
- Coût d'investissement
- Coût d'exploitation

06

SYSTÈME PRÉCONISÉ

Pompes à chaleur ou thermofrigopompes géothermiques champs de sondes

La géothermie sur champ de sondes implique le passage d'un liquide caloporteur, généralement de l'**eau glycolée**, à travers un réseau de **tubes en résine** disposés **verticalement** dans des forages. Ce système fonctionne en **circuit fermé** et permet d'**échanger de l'énergie et de la transférer jusqu'à la pompe à chaleur**. De cette manière, les calories provenant du bâtiment sont **injectées dans le sol**.

- Chauffage
- Rafrachissement
- Climatisation
- Coût d'investissement
- Coût d'exploitation

CONDITIONS D'INTÉGRATION

Localisation

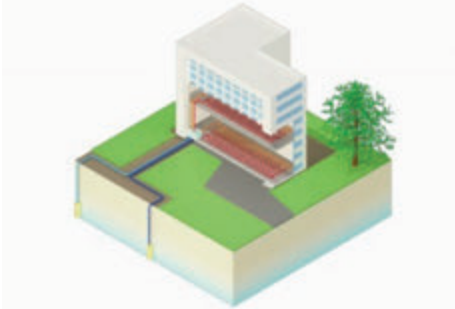
Profils

Limites

Dépend de la **disponibilité et de la pérennité** de la ressource en eau souterraine et de sa qualité physicochimique.

Particulièrement adapté aux lotissements, bureaux, hôtels, maisons de retraite, centres commerciaux, piscines, patinoires ou hôpitaux

Ne convient pas pour une consommation **intermittente importante**. Non adapté aux **rénovations thermiques légères**.



DURÉE DE VIE

- PAC géothermique
- Circuit thermique souterrain
- 20 ans
- 40 ans

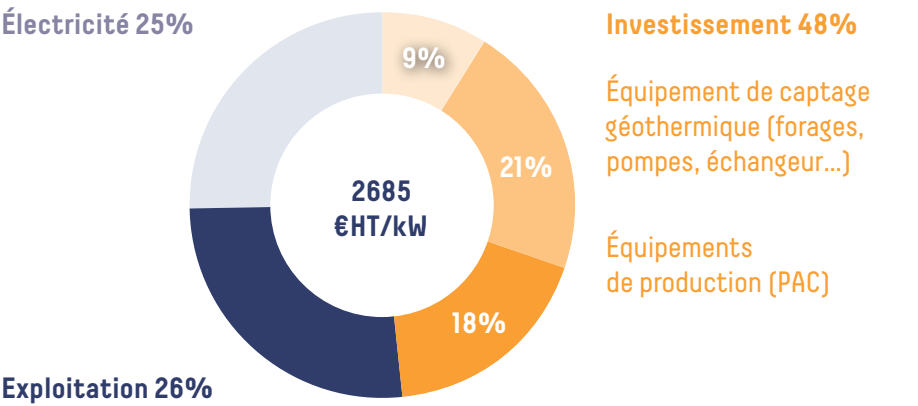
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- Complexité
- Confort
- Gain énergétique
- Nuisance sonore
- Individuel
- Mutualisé

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Particulièrement adapté aux **projets de grande puissance**. COP/EER stable.

COÛT GLOBAL



IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq

Fluide frigorigène

Contribution aux îlots de chaleur

Impact spécifique

CO2

Eau

Pas de rejet de chaleur

Impact sur les eaux souterraines et superficielles à évaluer.

~1 gCO2eq./kWh froid

CONDITIONS D'INTÉGRATION

Localisation

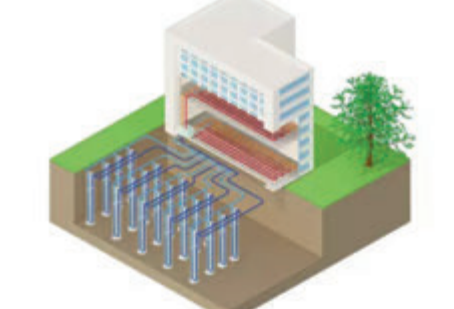
Profils

Limites

Le champs de sonde doit être située à **proximité**, avec **espace souterrain disponible** et une **conductivité** du sol suffisante.

Hôtels, maisons de retraite, bureaux, logements. Hypermarchés, hôpitaux, tertiaire, groupes sportifs optent pour des thermofrigopompes.

Emprise au sol importante. Attention à la nature du sous-sol. Non adapté aux bâtiments de **charge intermittente importante**.



DURÉE DE VIE

- PAC géothermique
- Circuit thermique souterrain
- 20 ans
- 40 ans

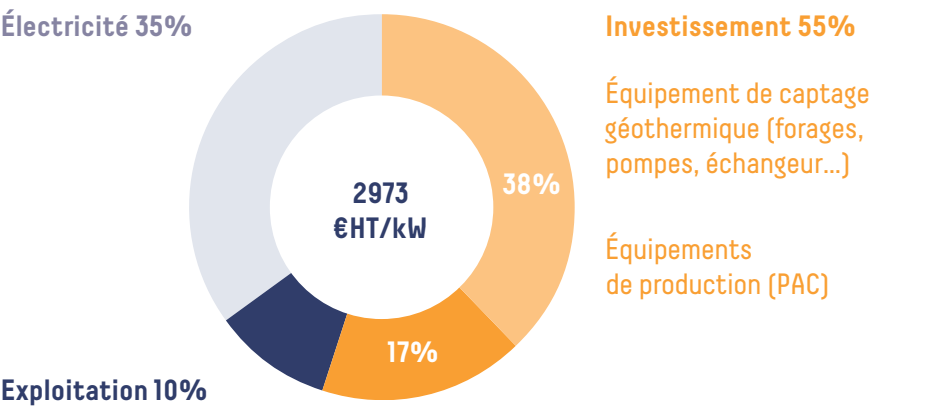
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- Complexité
- Confort
- Gain énergétique
- Nuisance sonore
- Individuel
- Mutualisé

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Stabilité en terme de **rendement**. Peu d'entretien de maintenance.

COÛT GLOBAL



IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq

Fluide frigorigène

Contribution aux îlots de chaleur

Impact spécifique

CO2

Eau glycolée

Pas de rejet de chaleur

Risque de modification des écosystèmes et perte de biodiversité

~1 gCO2eq./kWh froid

07

SYSTÈME PRÉCONISÉ

Pompes à chaleur ou thermofrigopompes géothermiques fondations thermoactives

La géothermie sur des fondations thermoactives ou pieux énergétiques implique le passage d'un liquide caloporteur, généralement de l'eau glycolée. Les tubes échangeurs de chaleur sont intégrés aux fondations du bâtiment. Ce système fonctionne en **circuit fermé** et permet d'**échanger de l'énergie et de la transférer jusqu'à la pompe à chaleur**. De cette manière, les calories provenant du bâtiment sont **injectées dans le sol**.

- Chauffage
- Rafrachissement
- Climatisation
- Coût d'investissement
- Coût d'exploitation

CONDITIONS D'INTÉGRATION

✓

Localisation

Les tubes échangeurs de chaleur sont intégrés aux fondations du bâtiment, si tant est que celles-ci soient suffisamment profondes et une **conductivité** du sol suffisante.

✓

Profils

Tous types de besoins

✗

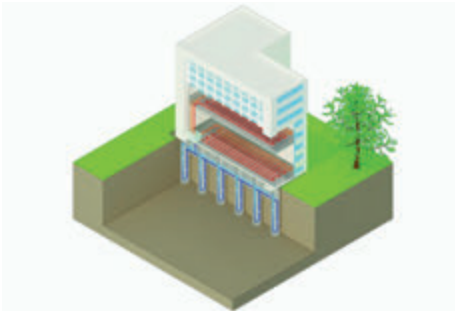
Limites

Emprise au sol importante.
Attention à la nature du sous-sol.
Non adapté aux bâtiments **de charge intermittente importante**.

COÛT GLOBAL

L'investissement varie de façon importante en fonction du type de fondations

En effet, on distingue trois familles de fondations thermoactives : les pieux, les parois et les dalles.



DURÉE DE VIE

- 🏠

PAC géothermique

20 ans
- 🔌

Tubes échangeurs fondations

40 ans

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- 🧩

Complexité

●
- 🌡️

Confort

●
- ⚡

Gain énergétique

●
- 🔊

Nuisance sonore

●
- 🔗

Individuel

✓

Mutualisé

✓

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Stabilité en terme de rendement.

Peu d'entretien de maintenance.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq*2

☁️

CO2

~1 gCO2eq./kWh froid

Fluide frigorigène

❄️

Eau glycolée

Contribution aux îlots de chaleur

🏙️

Pas de rejet de chaleur

Impact spécifique

💧

Pas de risque spécifique

08

SYSTÈME PRÉCONISÉ

Machine frigorifique à absorption pour la valorisation de chaleur fatale

Pour un groupe à absorption, le processus de compression mécanique utilisé dans les systèmes conventionnels est substitué par une **compression thermochimique**. Cette méthode repose sur l'**absorption de chaleur à des températures élevées** (d'au moins 80°C), généralement provenant de sources de **chaleur fatale**. En conséquence, ce système présente une **consommation électrique réduite**.

- Chauffage
- Rafrachissement
- Climatisation
- Coût d'investissement
- Coût d'exploitation

CONDITIONS D'INTÉGRATION

✓

Localisation

Proche d'une source de **chaleur fatale** et raccordement à la température souhaitée possible. **Espace** requis pour les dispositifs de refroidissement...

✓

Profils

Hôtels, les hôpitaux, centres commerciaux, bureaux. Nécessité de **bien identifier les besoins**.

✗

Limites

Le **volume** et le **poids** des installations sont élevés. Peu de **capacité de modulation** du système. Nécessité d'une disponibilité à **bas coût et bas CO2** de la source de chaleur.

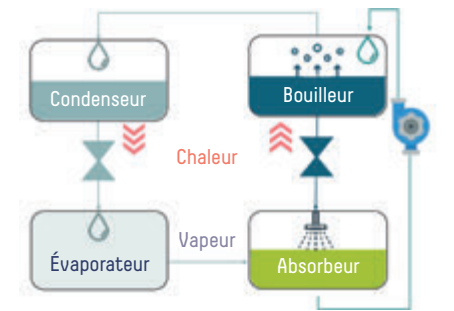
COÛT GLOBAL

La technologie n'a pas été suffisamment mise en œuvre pour permettre une évaluation généralisée de son poids économique global.

Retours d'expériences ADEME sur les coûts d'investissement

Clinique Saint-Roch à Montpellier **1924 €HT/kW**

Centre hospitalier de Perpignan **1920 €HT/kW**



DURÉE DE VIE

- 🏠

groupe à absorption

20 ans

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- 🧩

Complexité

●
- 🌡️

Confort

●
- ⚡

Gain énergétique

●
- 🔊

Nuisance sonore

●
- 🔗

Individuel

✓

Mutualisé

✓

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

COP simple effet = 0,7 ; COP double effet = 1,4. Hormis la pompe, **pas de pièces en mouvement**.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq

☁️

CO2

Émissions de CO2e négligeables en fonctionnement

Fluide frigorigène

❄️

ammoniac-eau
eau-bromure de lithium

Contribution aux îlots de chaleur

🏙️

Si exutoire air :
évacuation de la chaleur dans l'air par ventilation forcée

Impact spécifique

💧

Si exutoire eau :
Consommation conséquente d'eau de refroidissement

09

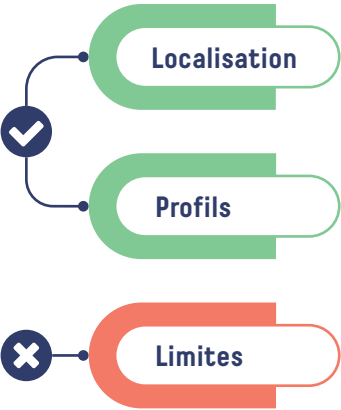
SYSTÈME PRÉCONISÉ

Raccordement à un réseau de froid urbain

Le raccordement a un réseau de froid urbain se fait par le biais d'un échangeur.

Le réseau de froid refroidit l'eau d'un circuit fermé relié à des infrastructures, pour aider à dissiper leur chaleur. Ce type de projet est généralement déployé à l'échelle d'un quartier.

- Chauffage
- ☐
- Rafratchissement
- ☐
- Climatisation
- ☒
- Coût d'investissement
- ☐☒☒
- Coût d'exploitation
- ☐☐☒



CONDITIONS D'INTÉGRATION

À proximité d'un réseau de froid urbain existant/ en projet

Hôtels, les hôpitaux, centres commerciaux, bureaux. Nécessité de bien identifier les besoins. de froid

Nécessite un réseau secondaire et des terminaux adaptés



DURÉE DE VIE

échangeur

20 ans

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

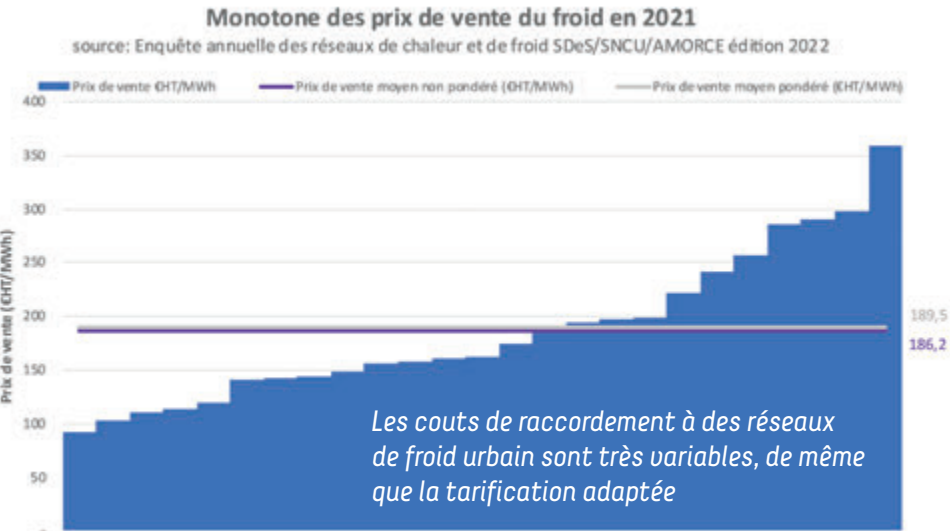
- Complexité
- ☒
- Confort
- ☒
- Gain énergétique
- ☒
- Nuisance sonore
- ☒
- Individuel ☒ Mutualisé ☒

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Sécurité d'approvisionnement

Pas de maintenance associée aux installations de froid du bâtiment

COÛT GLOBAL



IMPACT ENVIRONNEMENTAL

- Émissions de CO2eq
-
- Émissions de CO2 liés à l'approvisionnement du réseau
- Fluide frigorigène
-
- Sans objet
- Contribution aux îlots de chaleur
-
- Pas de rejet de chaleur propre au bâtiment
- Impact spécifique
-
- Sans objet

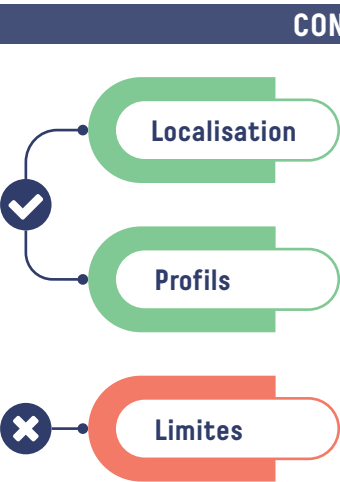
10

SYSTÈME PRÉCONISÉ

Géothermie sur pieux sans pompe à chaleur - Géocooling

Le géocooling fait partie des techniques de **rafratchissement naturel**. Il consiste en l'utilisation "directe" de la température du sous-sol pour assurer le rafraîchissement d'un bâtiment, **sans fonctionnement de la pompe à chaleur** géothermique (qui est contournée). Son principe est de faire circuler, grâce à une pompe de circulation et via un échangeur thermique, un **fluide caloporteur** dans un **échangeur géothermique** améliorant ainsi le confort d'été.

- Chauffage
- ☐
- Rafratchissement
- ☒
- Climatisation
- ☐
- Coût d'investissement
- ☒☒☒
- Coût d'exploitation
- ☐☐☒

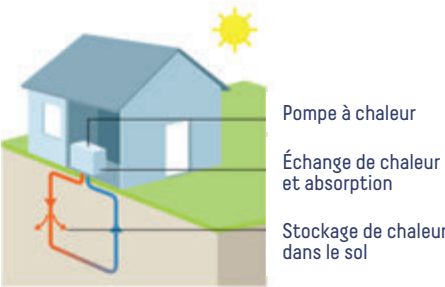


CONDITIONS D'INTÉGRATION

Nécessité que la **température du sous-sol soit inférieure** à la température de production

Particulièrement adapté aux hôtels, hôpitaux, centres commerciaux, bureaux

Convient pour des **demandes de froid limitées**. Adapté pour les **intersaisons**.



DURÉE DE VIE

Circuit thermique souterrain

40 ans

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- Complexité
- ☒
- Confort
- ☒
- Gain énergétique
- ☒
- Nuisance sonore
- ☒
- Individuel ☒ Mutualisé ☒

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Stabilité en terme de rendement.

Peu d'entretien de maintenance.

COÛT GLOBAL

L'inclusion du géocooling dans l'analyse des coûts d'une solution géothermique consolide son avantage économique par rapport aux alternatives fossiles. Les retours d'expérience soulignent la **prévalence de cette combinaison**, plutôt que de projets indépendants de géocooling, notamment dans le contexte de projets d'envergure.

- Investissement
- Surcoût d'investissement géocooling sur un projet de géothermie : 5000 €HT
- Surcoût minime en comparaison à un système de climatisation traditionnel.
- Électricité
- Efficacité frigorifique saisonnière très élevée
- Réduction considérable de la consommation électrique

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

- Émissions de CO2eq
-
- Émissions de CO2e négligeables en fonctionnement
- Fluide frigorigène
-
- Eau
- Contribution aux îlots de chaleur
-
- Pas de rejet de chaleur
- Impact spécifique
-
- Risque de modification des écosystèmes et perte de biodiversité

11

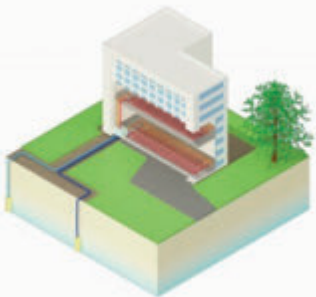
SYSTÈME PRÉCONISÉ

Géothermie sur forage aquifère ou rivière sans pompe à chaleur

Hydrocooling

L'hydrocooling est une méthode qui implique l'utilisation "directe" de la température des rivières ou des nappes phréatiques afin de fournir un système de refroidissement pour un bâtiment, sans recourir à une pompe à chaleur géothermique. Il repose simplement sur l'utilisation d'une pompe pour extraire l'eau de la source, la faire circuler au sein du bâtiment, puis la réinjecter dans la même source.

- Chauffage
- ☐
- Rafratchissement
- ☒
- Climatisation
- ☐
- Coût d'investissement
-
- Coût d'exploitation
-



DURÉE DE VIE

 Circuit thermique souterrain

40 ans

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

-  Complexité
-
-  Confort
-
-  Gain énergétique
-
-  Nuisance sonore
-
-  Individuel ☒ Mutualisé ☒

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Stabilité en terme de rendement.

CONDITIONS D'INTÉGRATION

- ☒

Localisation
- ☒

Profils
- ☒

Limites

Nécessité que la température du sous-sol soit inférieure à la température de production

Particulièrement adapté aux hôtels, hôpitaux, centres commerciaux, bureaux;

Convient pour des demandes de froid limitées. Adapté pour les intersaisons.

COÛT GLOBAL

L'inclusion de l'hydrocooling dans l'analyse des coûts d'une solution géothermique consolide son avantage économique par rapport aux alternatives fossiles. Les retours d'expérience soulignent la prévalence de cette combinaison, plutôt que de projets indépendants de géocooling, notamment dans le contexte de projets d'envergure.

Investissement

Surcoût d'investissement géocooling sur un projet de géothermie : 5000 €HT

Surcoût minime en comparaison à un système de climatisation traditionnel.

Électricité

Efficacité frigorifique saisonnière très élevée

Réduction considérable

de la consommation électrique

IMPACT ENVIRONNEMENTAL



Émissions de CO2e négligeables en fonctionnement



Eau glycolée



Pas de rejet de chaleur



Impact sur les eaux souterraines et superficielles à évaluer.

12

SYSTÈME PRÉCONISÉ

Rafratchissement adiabatique indirect

Le système requiert l'intégration d'une Centrale de Traitement d'air à double flux (DCTA). L'air provenant de la ventilation est humidifié afin de réaliser le refroidissement adiabatique. Ce processus exploite l'énergie libérée lors de la transformation de l'eau liquide en vapeur. Pendant son fonctionnement, le système nécessite une connexion à la fois à une source d'eau et à l'électricité pour son bon fonctionnement.

- Chauffage
- ☐
- Rafratchissement
- ☒
- Climatisation
- ☐
- Coût d'investissement
-
- Coût d'exploitation
-



DCTA

DURÉE DE VIE

 CTA, ventilateur

20 ans

CONDITIONS D'INTÉGRATION

- ☒

Localisation
- ☒

Profils
- ☒

Limites

DCTA nécessite une source d'eau suffisante, un espace pour l'échangeur humide et un accès à l'air extérieur.

DCTA : Particulièrement adapté aux bâtiments tertiaires et industriels.

Système volumineux et bridé par le volume d'air admissible dans le bâtiment. (DCTA)

COÛT GLOBAL

Répartition coût global d'un ajout du dispositif sur une CTA existante (DCTA)



Achat et mise en œuvre

Exploitation

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

-  Complexité
-
-  Confort
-
-  Gain énergétique
-
-  Nuisance sonore
-
-  Individuel ☒ Mutualisé ☐

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Diminue les besoins en matière de refroidissement tout en offrant une maintenance aisée mais régulière.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL



DCTA ~4g CO2eq./kWh froid



Absence de fluide frigorigène



Pas de contribution



Consommation d'eau

13

SYSTÈME PRÉCONISÉ

Rafraichissement adiabatique direct

Le système requiert l'intégration d'un **système autonome (SA)** de **rafraichissement adiabatique** (innovation). L'air provenant de l'extérieur est humidifié afin de réaliser le refroidissement adiabatique. Ce processus **exploite l'énergie libérée lors de la transformation de l'eau liquide en vapeur**. Pendant son fonctionnement, le système nécessite une connexion à la fois à une **source d'eau** et à l'**électricité** pour son bon fonctionnement.

- Chauffage
- ☐
- Rafrachissement
- ☒
- Climatisation
- ☐
- Coût d'investissement
- ☐☐☒
- Coût d'exploitation
- ☐☐☒

CONDITIONS D'INTÉGRATION

✓

Localisation

Nécessite l'accès à une source d'eau et un accès à l'air extérieur (par exemple, implantation en façade).

✓

Profils

Adapté aux logements et a certains types de locaux tertiaires

✗

Limites

Surface de rafraîchissement limitée par unité



SA

DURÉE DE VIE

 Cœur vapo-échangeur

5 ans

 Ventilateur

25 ans

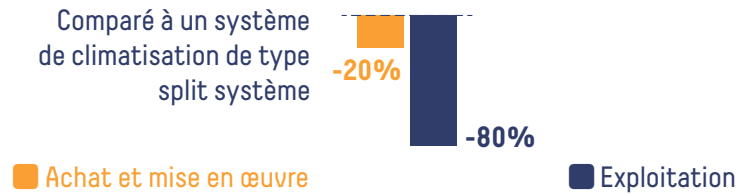
Toutes les pièces réparable en france

COÛT GLOBAL

La technologie n'a pas été suffisamment mise en œuvre pour permettre une évaluation généralisée de son poids économique global.

Retours d'expériences

Ajout d'un système autonome (SA)



IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq*2



SA ~0,3 g CO2eq./kWh froid

Fluide frigorigène



Absence de fluide frigorigène

Contribution aux îlots de chaleur



Pas de contribution

Impact spécifique



Consommation d'eau (possibilité usage eau non potable en cours d'étude)

14

SYSTÈME PRÉCONISÉ

Brasseur d'air

Les brasseurs d'air favorisent l'**uniformisation** des températures en hiver et le **rafraîchissement** en été. En fonction du **climat**, il est avantageux d'exploiter la fraîcheur nocturne et de la préserver pour **réduire les besoins en climatisation** le jour suivant. La ventilation joue un rôle polyvalent en assurant à la fois un débit **d'air sain** et en contribuant au **confort estival**. Deux utilisations spécifiques sont distinguées : la ventilation de **confort diurne** et la **sur ventilation nocturne**, qui permet un rafraîchissement passif du bâtiment.

- Chauffage
- ☐
- Rafrachissement
- ☒
- Climatisation
- ☐
- Coût d'investissement
- ☐☐☒
- Coût d'exploitation
- ☐☐☒

CONDITIONS D'INTÉGRATION

✓

Localisation

Pas de condition d'intégration particulière.

✓

Profils

Grands bâtiments industriels, installations logistiques, usines de production/manutention, ateliers, garages, entrepôts et les locaux professionnels, logements

✗

Limites

Efficacité très dépendante des **conditions météorologiques locales** et peut varier fortement d'un site à l'autre.

COÛT GLOBAL

En général, un brasseur d'air peut rafraîchir une surface allant **jusqu'à 40 m²**, mais cela peut varier en fonction de la **puissance** et de la **taille** du brasseur d'air.

Coût global pour par unité

Investissement

100 à 1000 €

Exploitation

Coûts de maintenance négligeables

Électricité

Coûts de l'énergie négligeable



DURÉE DE VIE

 Brasseur d'air 25 ans

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

 Complexité

☒

 Confort

☐

 Gain énergétique

☒

 Nuisance sonore

☐

 Individuel

☒

 Mutualisé

☐

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Une attention particulière doit être apportée aux **périodes d'ouvertures** des fenêtres, ainsi qu'à la **limitation des apports solaires**.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq



<1gCO2eq./kWh froid

Fluide frigorigène



Aucun

Contribution aux îlots de chaleur



Pas de rejet de chaleur

Impact spécifique



Le niveau sonore émis est conditionné par la qualité intrinsèque du système.

15

SYSTÈME PRÉCONISÉ

Puits canadiens ou provençaux

Le puits climatique est un dispositif **géothermique** qui exploite la **chaleur** ou la **fraîcheur** du sol pour **réguler la température de l'air** dans un bâtiment. Son fonctionnement est simple : il aspire l'air extérieur, le fait circuler dans des **conduits souterrains**, puis le distribue à l'intérieur du bâtiment à l'aide d'un **ventilateur**. En combinant le puits climatique avec une ventilation mécanique double flux, on peut **améliorer l'efficacité de ces systèmes**. La **stabilité de la température du sol**, qui reste globalement constante entre 2 et 3 mètres de profondeur tout au long de l'année, rend cette technique possible.

- Chauffage
- Rafrachissement
- Climatisation
- Coût d'investissement
- Coût d'exploitation

CONDITIONS D'INTÉGRATION

✓ Localisation

✓ Profils

✗ Limites

Nécessité d'un **espace souterrain disponible**. Adapté aux zones où les **variations de température** sont **modérées**

Bâti ancien à forte inertie thermique dont **maisons individuelles**

Ne remplace pas le système de chauffage. L'utilisation dans des régions très **humides** ou **rocailleuses** n'est absolument pas recommandée

COÛT GLOBAL

Valable pour des projets de petite envergure.

Investissement	
Équipement puits climatique classique	à partir de 1500 €
Équipement puits climatique + ByPass	2000 à 3000 €
Équipement puits climatique + VMC	7 000 à 12 000 €
Étude thermique	2 500 €
Terrassement	25 €/m3
Exploitation	
Changement des filtres	300 €/an
Électricité Coûts de l'énergie	Négligeable

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq

C02

<1gCO2eq./kWh froid

Fluide frigorigène

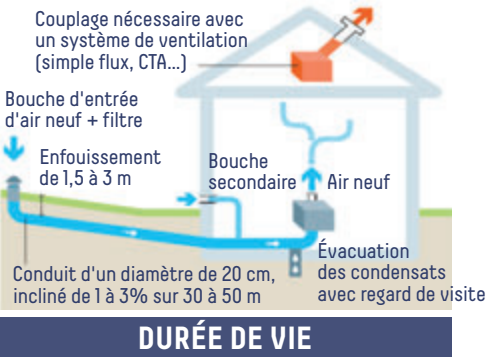
Aucun

Contribution aux îlots de chaleur

Pas de rejet de chaleur

Impact spécifique

Risque de modification des écosystèmes et perte de biodiversité



- Monobloc ventilation DF
- Pièces mobiles peu coûteuses
- 50 ans
- 25 ans
- Circuit souterrain
- >50 ans

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Complexité

Confort

Gain énergétique

Nuisance sonore

Individuel

Mutualisé

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Nécessite une **installation professionnelle** et un **entretien régulier**.

16

SYSTÈME PRÉCONISÉ

Solaire thermique et machine frigorifique à absorption

La chaleur récupérée par les **capteurs solaires** réchauffe un fluide de compression. Il alimente le circuit fermé d'une machine à absorption et les cycles **réfrigérant** et solvant permettent de refroidir l'air intérieur en sortie d'**évaporateur**. Le transfert de froid a lieu par évaporation directe ou par un liquide intermédiaire vers différents systèmes d'émission possibles (refroidisseurs d'air, ventilo-convecteurs...).

- Chauffage
- Rafrachissement
- Climatisation
- Coût d'investissement
- Coût d'exploitation

CONDITIONS D'INTÉGRATION

✓ Localisation

✓ Profils

✗ Limites

Ensoleillement adéquat, **Espace disponible** pour les capteurs solaires et les dispositifs de refroidissement

Bâtiments commerciaux, industriels et résidentiels collectifs

Encombrement, source de chaleur d'**appoint** à considérer. **Stockage** nécessaire pour palier l'intermittence

COÛT GLOBAL

La mise en œuvre insuffisante de la technologie limite l'évaluation globale de son poids économique. Malgré son coût d'investissement élevé, son association avec une production d'eau chaude sanitaire ou de chauffage annuelle la rend rentable.

Retours d'expériences		
	Investissement (€HT/kWf installé) *	Ratio capteurs (m2/kWf prod)
Quartier Arche Jacques Cœur, Montpellier	11 900	6,9
CEA-INES, Le Bourget-du-Lac	19 177	6,7
Siège Général Solar Systems, Haguenau	6 750	6,6

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq

C02

Émissions de CO2e négligeables en fonctionnement

Fluide frigorigène

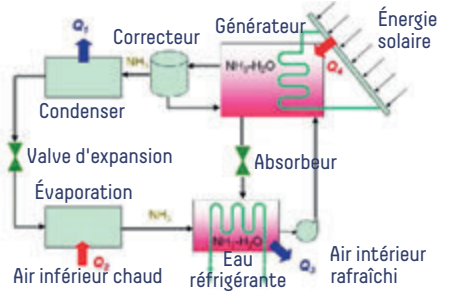
Couple absorbant/réfrigérant : ammoniac/eau ou bromure de lithium/eau

Contribution aux îlots de chaleur

Pas de rejet de chaleur avec ventilation forcée

Impact spécifique

Importante consommation d'eau de refroidissement



- DURÉE DE VIE
- Machine à absorption
- 20 ans
- Capteurs solaires
- 25 ans

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Complexité

Confort

Gain énergétique

Nuisance sonore

Individuel

Mutualisé

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

L'usage coïncide avec la ressource solaire, quasi **autonome** en énergie. Bonnes performances à partir de **70°C**.

17

SYSTÈME PRÉCONISÉ

Machine frigorifique fonctionnant à l'eau

Cette technologie se distingue des technologies conventionnelles en utilisant de l'eau comme réfrigérant naturel dans un processus de compression mécanique de vapeur. Contrairement aux réfrigérants polluants et dangereux utilisés habituellement, cette approche permet de réduire l'impact environnemental de la production de froid. Le développement des compresseurs qui permettent une utilisation économique et compacte du cycle frigorifique de l'eau sont en cours.

- Chauffage
- Rafrachissement
- Climatisation
- Coût d'investissement
- Coût d'exploitation

CONDITIONS D'INTÉGRATION

Localisation

Profils

Limites

Accès adéquat à un approvisionnement en eau

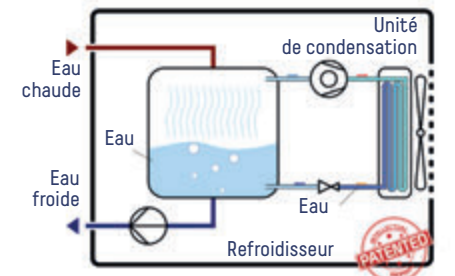
Bureaux, locaux professionnels et bâtiments industriels

Compresseur centrifuge multi-étage augmente la **complexité** du système et ses **coûts**. Pas adapté pour de **très basses températures**

COÛT GLOBAL

La mise en œuvre insuffisante de la technologie limite l'évaluation globale de son poids économique.

Le système est en phase de développement et de test. Il est donc probable que le coût du système soit encore élevé à ce stade de développement.



DURÉE DE VIE

La technologie étant de développement récent, il est encore prématuré d'estimer sa durée de vie moyenne.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- Complexité
- Confort
- Gain énergétique
- Nuisance sonore
- Individuel
- Mutualisé

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Conçu pour produire du froid à température positive.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq

Fluide frigorigène

Contribution aux îlots de chaleur

Impact spécifique

CO2

Eau

Rejet de chaleur

Sollicitation d'une ressource soumise à une pression croissante

~2 gCO2eq./kWh froid

18

SYSTÈME PRÉCONISÉ

Rafrachissement évaporatif par dessiccation sur source renouvelable

Le dessiccant cooling utilise l'eau pour rafraîchir l'air dans un espace donné grâce à son changement de phase. Un flux d'air ventilé est asséché dans une roue à dessiccation, éliminant ainsi l'humidité de l'air pour maximiser l'effet de la chaleur latente de vaporisation de l'eau. Après cela, l'air sec est refroidi dans un échangeur de chaleur et humidifié adiabatiquement dans un laveur d'air. Le bon fonctionnement du système nécessite un flux d'air de régénération qui refroidit l'air du processus dans l'échangeur et régénère le matériau dessiccant après l'avoir réchauffé à l'aide d'une source renouvelable.

- Chauffage
- Rafrachissement
- Climatisation
- Coût d'investissement
- Coût d'exploitation

CONDITIONS D'INTÉGRATION

Localisation

Profils

Limites

Climats chauds et secs.

Accessibilité à l'eau. Espace requis pour tours de refroidissement et échangeurs de chaleur.

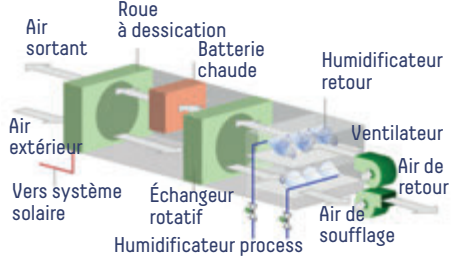
Bâtiments de grands volumes type entrepôts, salles de sport et salles polyvalentes.

Climats chauds et humides.

Pas envisageable pour de grands refroidissements. Système encombrant.

COÛT GLOBAL

Les coûts d'installation sont extrêmement fluctuants en fonction du type de bâtiment, d'application et de la demande du client.



DURÉE DE VIE

- CTA
- Matériaux dessiccants
- 20 ans
- <10 ans
- Dépend largement de la quantité et du type d'écoulement qu'ils dessèchent

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- Complexité
- Confort
- Gain énergétique
- Nuisance sonore
- Individuel
- Mutualisé

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Température de l'air soufflé généralement inférieure de 10°C à la température extérieure. Maintenance régulière essentielle.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Émissions de CO2eq

Fluide frigorigène

Contribution aux îlots de chaleur

Impact spécifique

CO2

Eau

Air rejeté plus haut en température et plus chargé en humidité

Dans le cas d'utilisation d'eau de ville, ampleur impact environnemental à évaluer

~4g CO2eq./kWh froid



**GRENOBLE ALPES
MÉTROPOLE**

PLUS D'INFORMATIONS :

GRENOBLE ALPES MÉTROPOLE

04 76 59 59 59

Accueil du public :

1 place André Malraux à Grenoble

Adresse postale :

3 rue Malakoff, 38031 Grenoble, France



[grenoblealpesmetropole.fr](https://www.grenoblealpesmetropole.fr)

Réalisation : Grenoble Alpes Métropole - Février 2024
dans le cadre d'une prestation confiée à Egis et soutenue
par l'ADEME.

Crédit illustrations : © Andrews Sykes,
© Conseil Thermiques, © Interclima, © ADEM BRGM,
© AICVF, © Reno Info Maison, © Researchgate,
© Team for the planet, © Energieplus

Document imprimé sur papier recyclé.

