

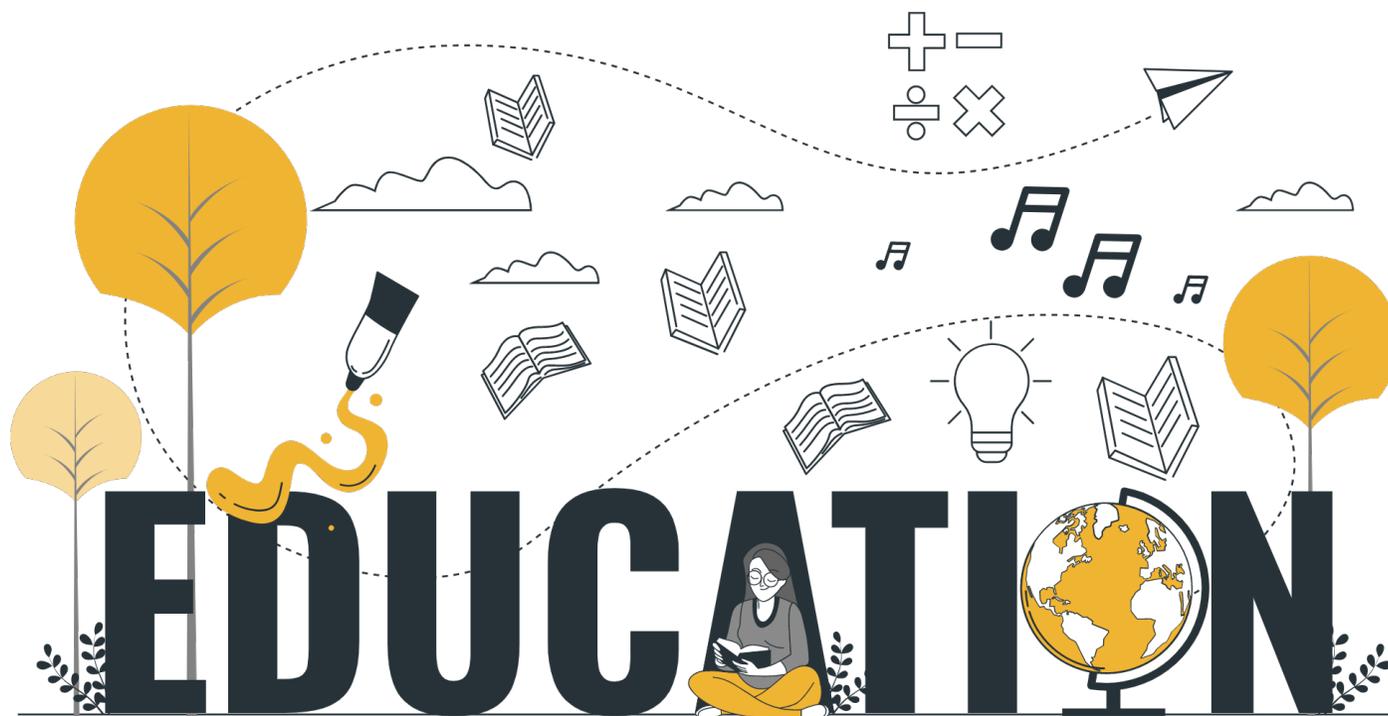
# ATELIER DE TERRITOIRE

## LE CONFORT D'ÉTÉ DANS LES ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES



# LE CONTEXTE

En 2017, le bâti scolaire représentait 157 millions de m<sup>2</sup> de surface de plancher, soit environ 30% du patrimoine public, répartis entre :



4 150 lycées

7 230 collèges

50 130 écoles

# LE CONTEXTE



**Ce patrimoine doit être adapté en permanence pour suivre les tendances démographiques, mieux répondre aux usages et à l'évolution de la pédagogie.**

**Cette évolution est nécessaire pour garantir un cadre de qualité aux élèves et aux équipes qui occupent ces établissements.**

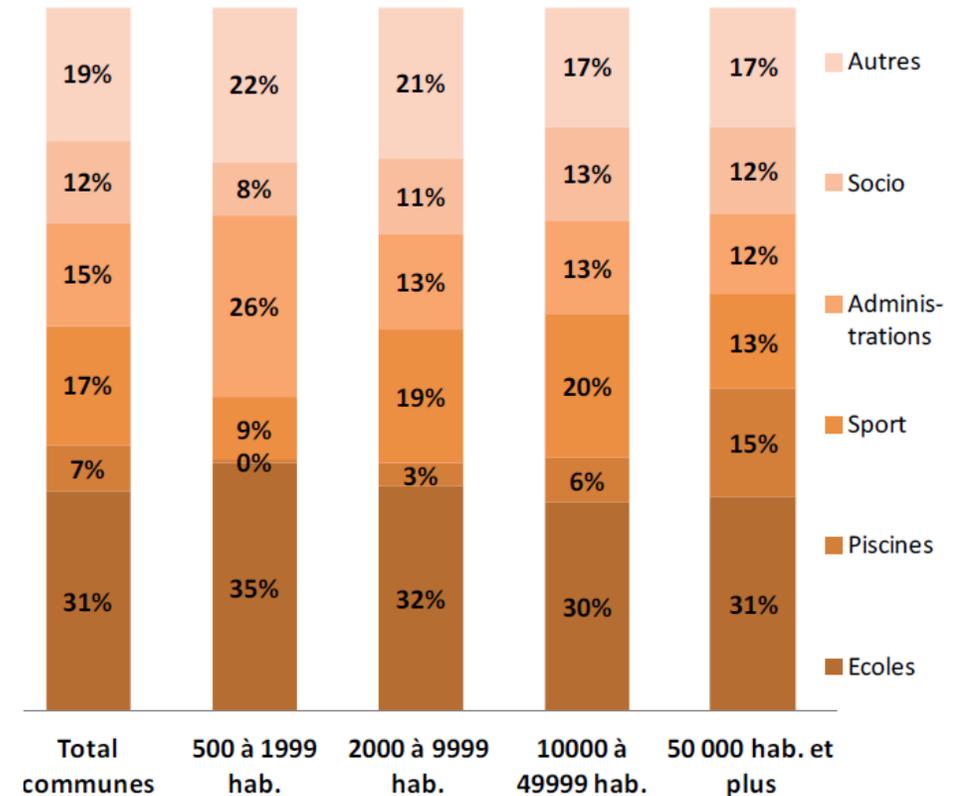
# LES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES

## Les consommations et dépenses énergétiques

Les bâtiments scolaires sont les premiers consommateurs d'énergie du patrimoine communal, devant les bâtiments sportifs et les bâtiments administratifs.

Les écoles, toutes énergies confondues, consomment en moyenne **135 kWh/m<sup>2</sup>/an** en énergie primaire.

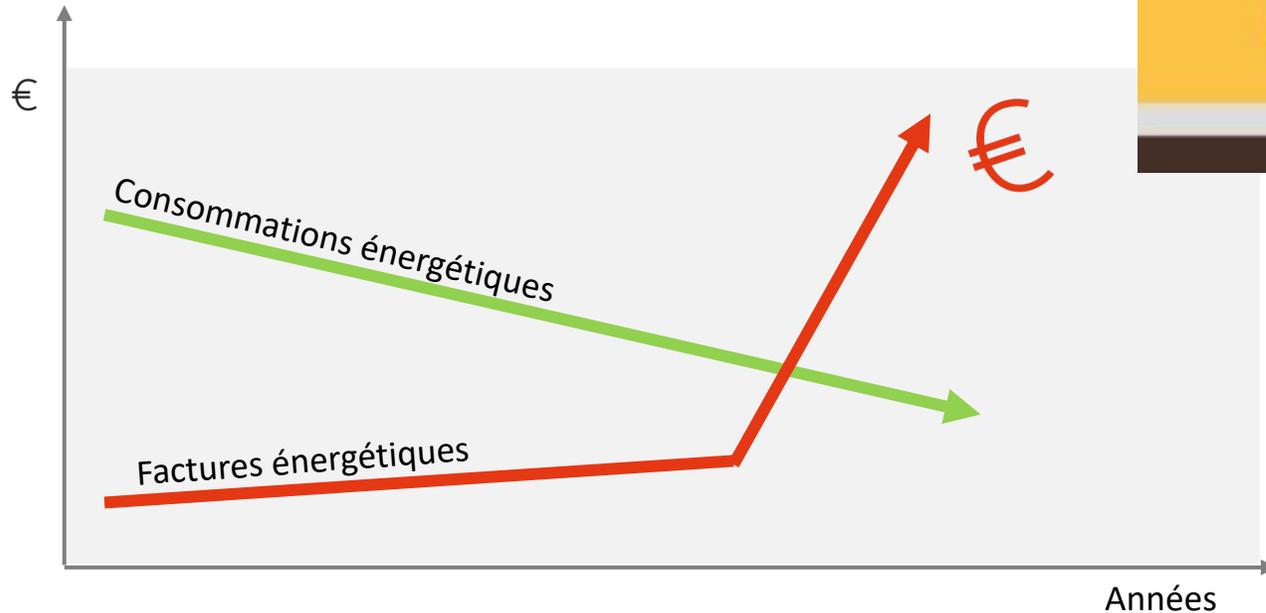
Elles pèsent à elles seules plus de **30 %** des **dépenses énergétiques** liées aux bâtiments municipaux.



ADEME, Caisse des Dépôts, FNCCR, AITF et « Conseil en énergie partagé »  
Dépenses énergétiques des collectivités locales –  
Etat des lieux en 2017 – sept. 2019

# LES DÉPENSES ÉNERGÉTIQUES

Bien que la consommation d'énergie des communes soit en baisse régulière depuis plusieurs années, le montant de la facture ne cesse de progresser à cause de l'augmentation des prix d'achat.





# LE CONTEXTE

**Le parc de bâtiments scolaires est un grand réservoir d'économies d'énergie** sur lequel de multiples actions peuvent être menées pour le rendre plus efficient :

- Isolation thermique des bâtiments (réduction des besoins d'énergie)
- Recours à des systèmes performants (chauffage, programmation/régulation)
- Déploiement d'énergies renouvelables (biomasse, géothermie, solaire...).

La combinaison de ces 3 axes permet de réduire significativement les consommations énergétiques **mais ne répond pas toujours à la problématique de confort d'été.**

# LA PROBLÉMATIQUE

Les bâtiments scolaires, conçus par le passé sans intégration de notion de confort d'été sont aujourd'hui de par leurs usages très impactés par les effets du changement climatique et remettent en cause :

- **La continuité des services publics**
  - d'enseignement scolaire
  - d'accueil périscolaire
- **Les conditions d'apprentissage optimales**



Si l'atteinte du confort estival dans des bâtiments neufs, sans recours à la climatisation, est accessible moyennant un travail sur son implantation et sa conception, **l'exercice est autrement plus complexe dans le cas de bâti existant.**



# LE BON ÉQUILIBRE

Une rénovation thermique performante se traduit par la combinaison de **5 objectifs**.

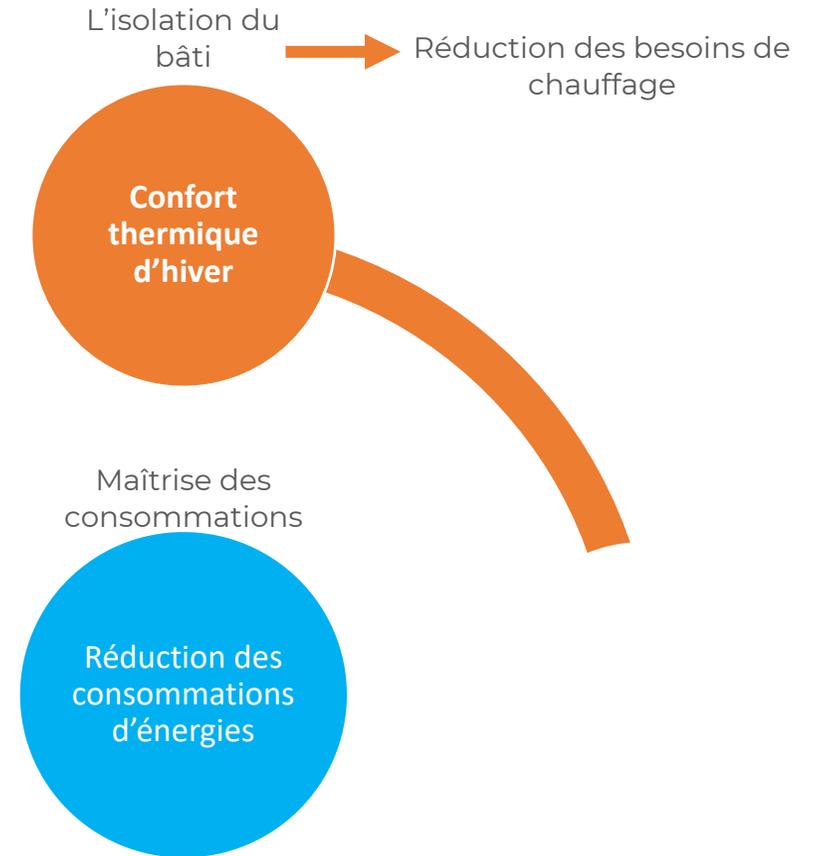
Maîtrise des  
consommations



Réduction des  
consommations  
d'énergies

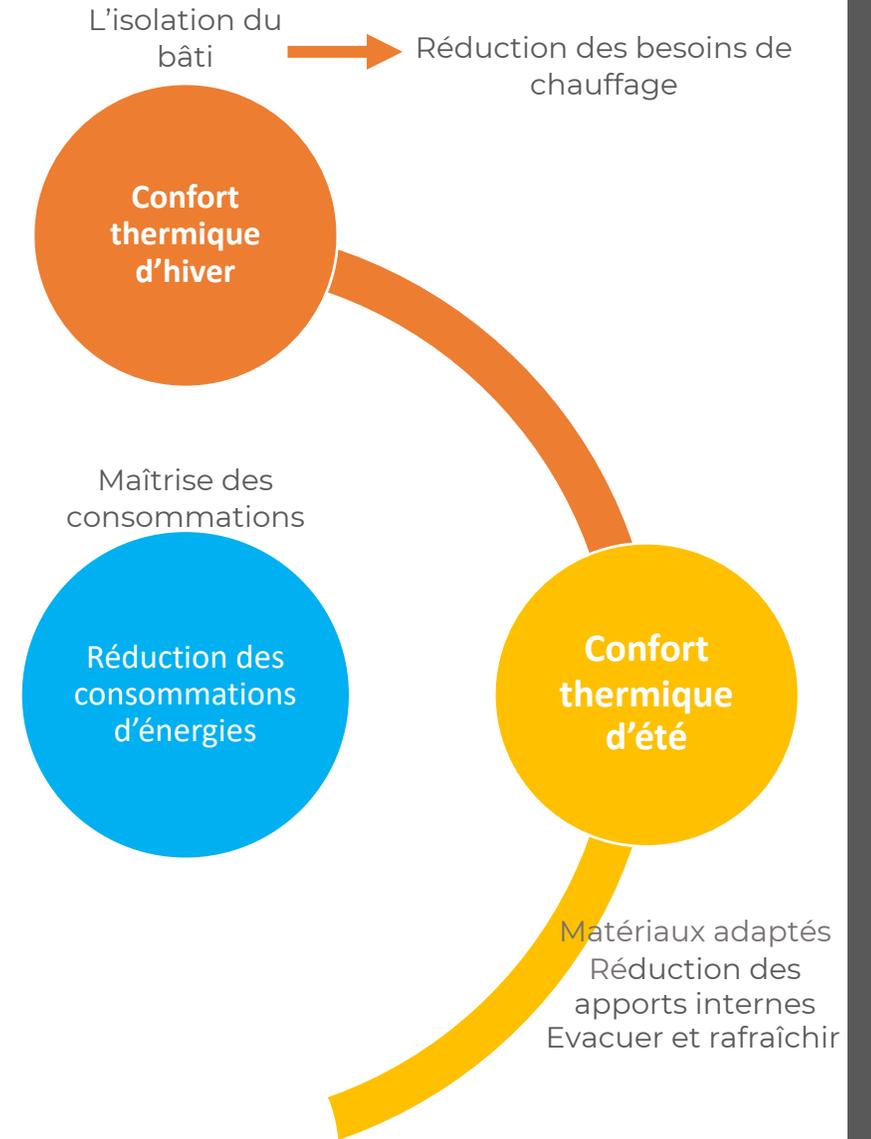
# LE BON ÉQUILIBRE

Une rénovation thermique performante se traduit par la combinaison de **5 objectifs**.



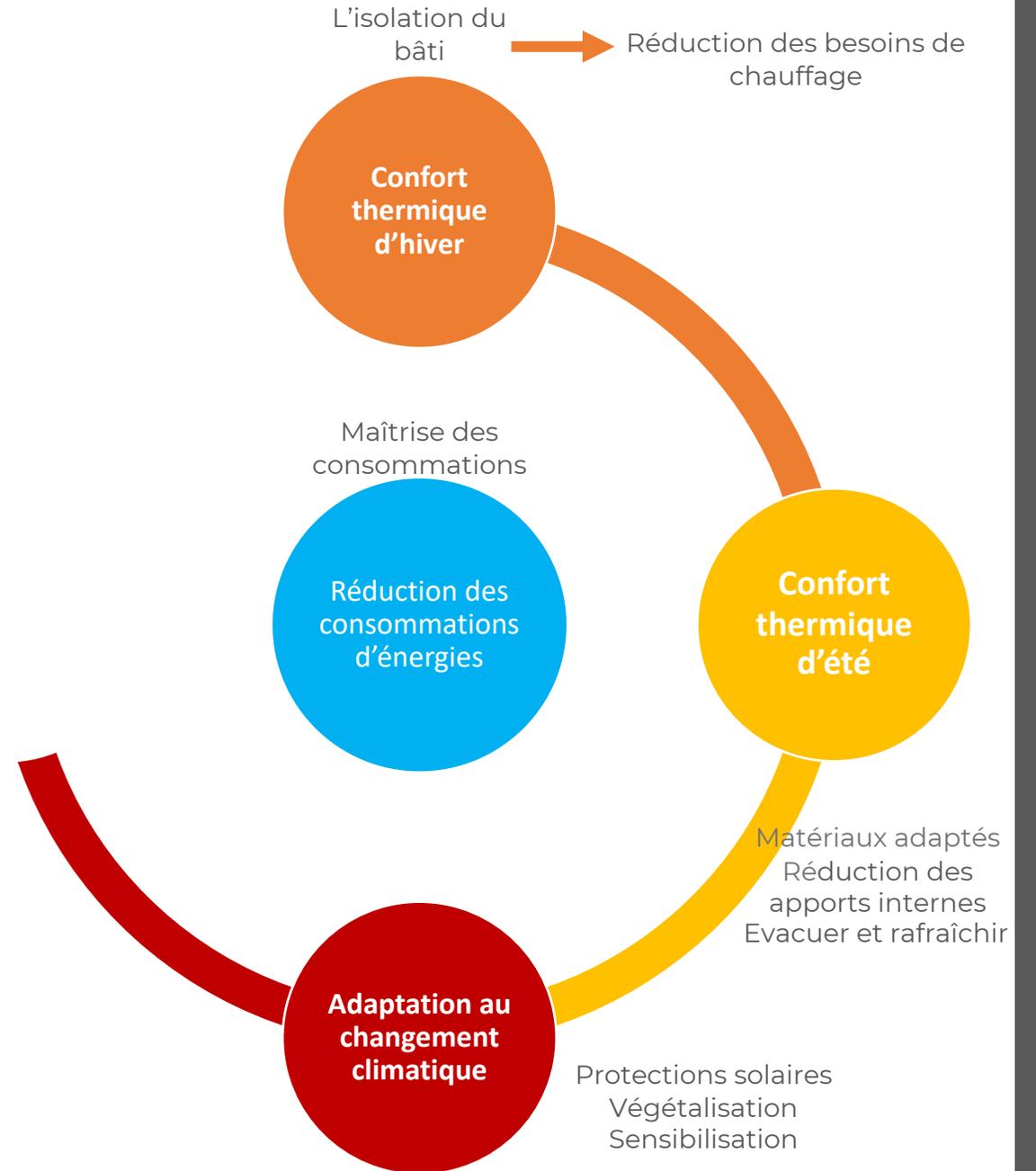
# LE BON ÉQUILIBRE

Une rénovation thermique performante se traduit par la combinaison de **5 objectifs**.



# LE BON ÉQUILIBRE

Une rénovation thermique performante se traduit par la combinaison de **5 objectifs**.



# LE BON ÉQUILIBRE

Une rénovation thermique performante se traduit par la combinaison **de 5 objectifs**.

Choix de matériaux et  
des équipements

Faible impact  
environnemental

Maîtrise des  
consommations

Réduction des  
consommations  
d'énergies

Adaptation au  
changement  
climatique

Protections solaires  
Végétalisation  
Sensibilisation

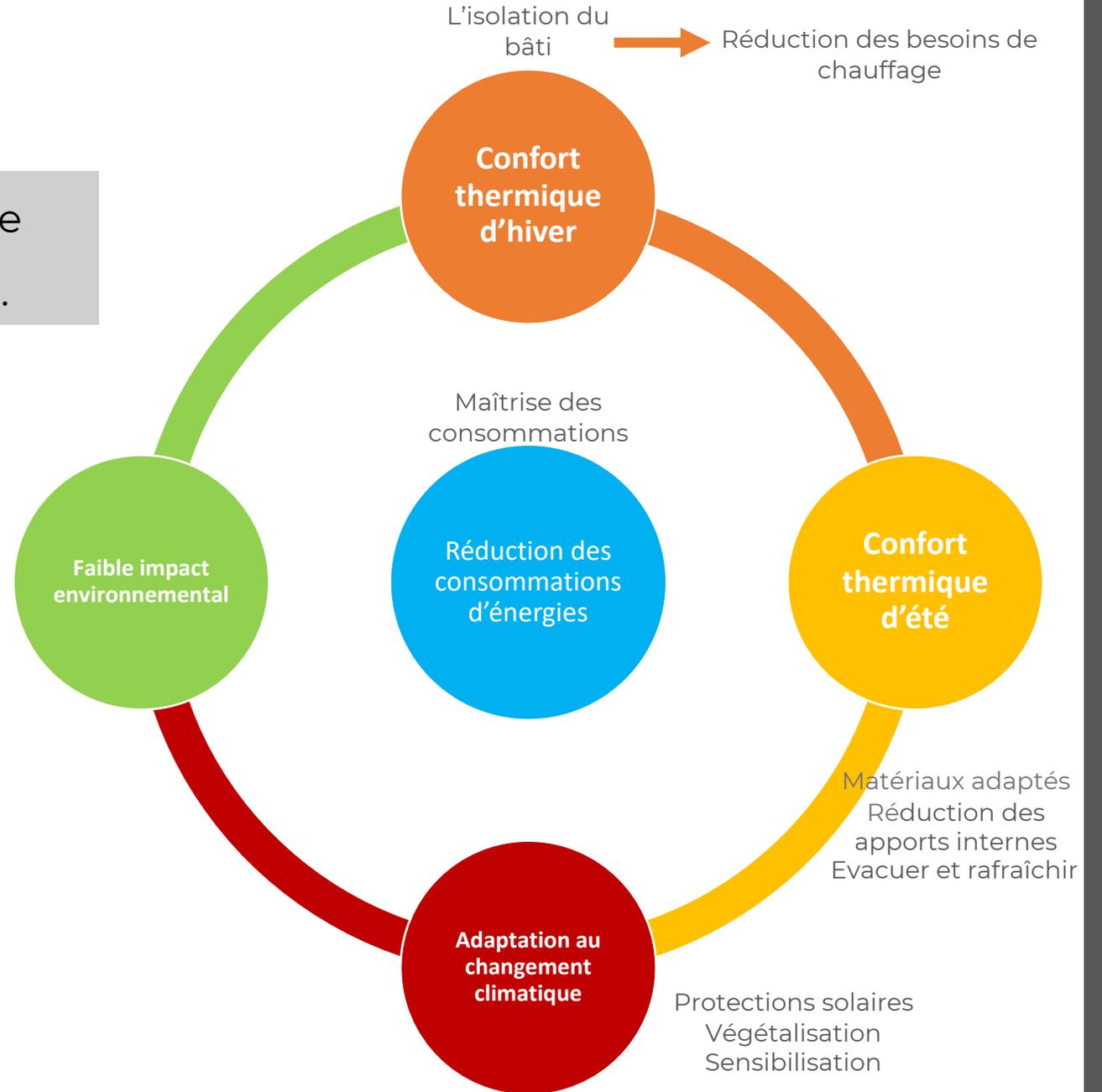
Matériaux adaptés  
Réduction des  
apports internes  
Evacuer et rafraîchir

Confort  
thermique  
d'été

Confort  
thermique  
d'hiver

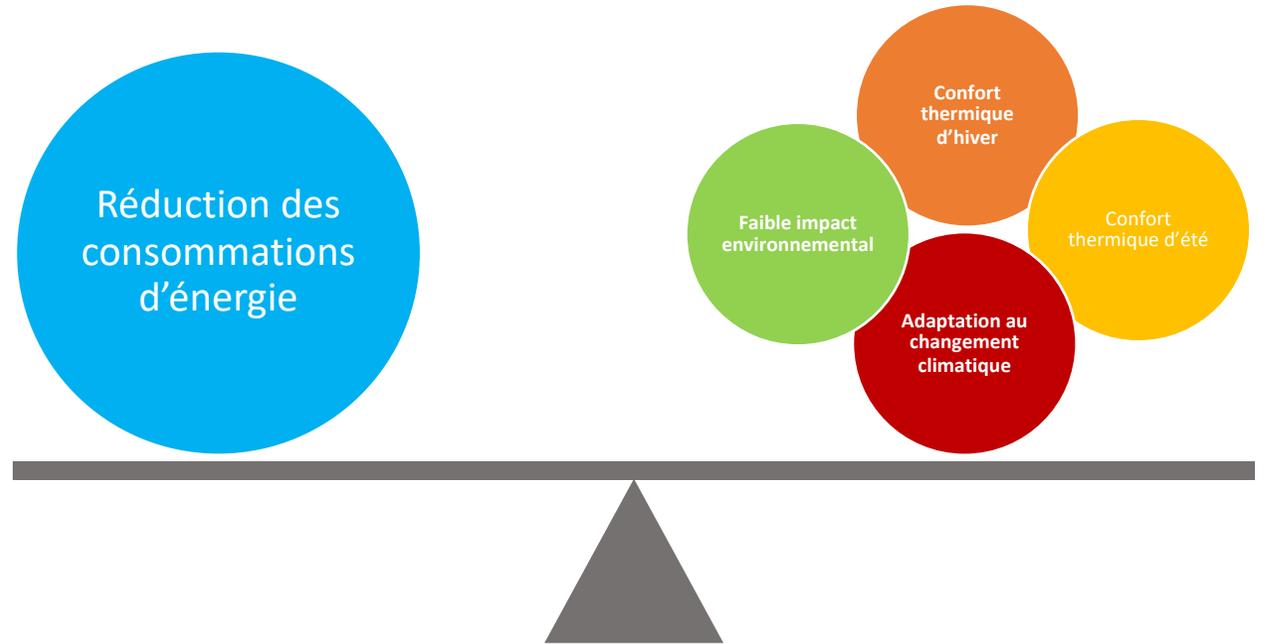
L'isolation du  
bâti

Réduction des besoins de  
chauffage



# LE BON ÉQUILIBRE

Dans un projet de rénovation, il faut veiller à ce que les solutions techniques retenues restent respectueuses de l'objectif de maîtrise des consommations tout en respectant **l'équilibre avec les 4 autres**.



# EN RÉSUMÉ

Pour trouver cet équilibre il est important en premier lieu de faire réaliser un diagnostic de

l'existant :



- **Connaître le bâti** pour conserver ses points forts et traiter ses points faibles
- Identifier les **points critiques**
- Garder une **cohérence** sur les interventions - *pas seulement en fonction des aides*

Recourir à des études spécifiques pour obtenir des préconisations « sur mesure ».



- **Audit énergétique et métrologie**
- **Simulation thermique dynamique** (STD)

Mobiliser tous les acteurs et usagers autour du projet

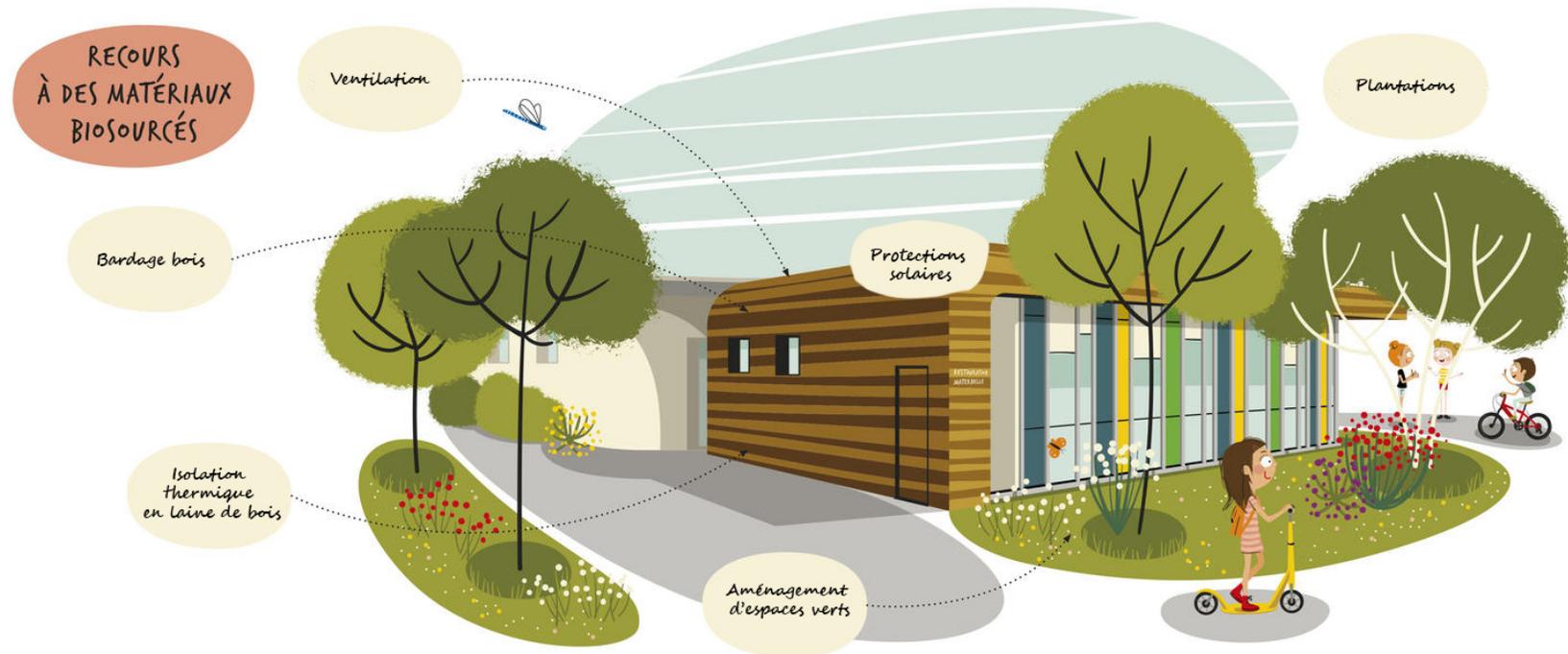


- **Coopération** (réunions participatives, visites de chantier...).
- **Sensibilisation sur le confort d'été** (ateliers)

# LE CONFORT D'ÉTÉ DANS LES ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES

## LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

Présentée par  
**Jérôme MARMOT**





# SOMMAIRE

- La notion de confort d'été,
- Le principe de la simulation thermique dynamique (STD),
- STD : Les données d'entrée,
- STD : Les données de sortie,
- Le confort thermique passif,
- Conclusion.



# LA NOTION DE CONFORT D'ÉTÉ

Le confort d'été passe par la maîtrise des paramètres sur lesquels il est possible d'agir sans avoir forcément recours à la climatisation.

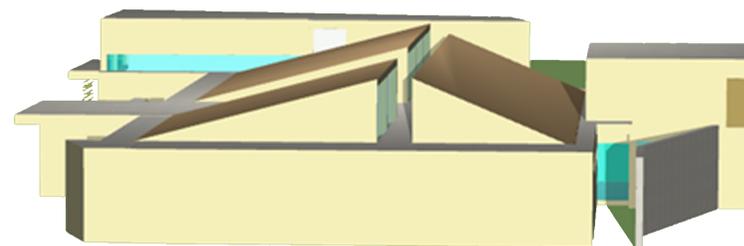
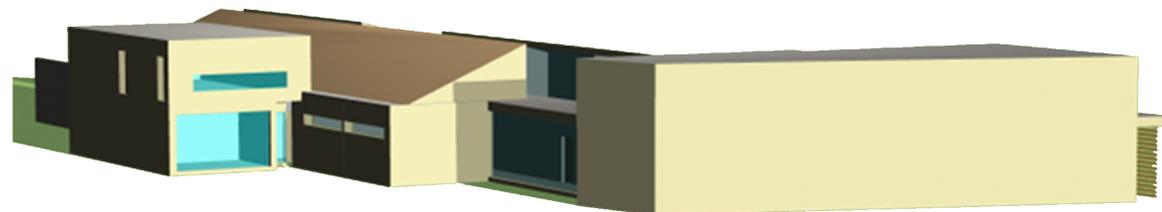
Ces paramètres sont liés à la conception, la gestion du bâtiment et à certains éléments physiologiques.

# PRINCIPE DE LA STD

## Comment ça marche ?

La **STD** est un outil de simulation qui permet de modéliser un bâtiment **dans son environnement** et d'analyser son **comportement en utilisation réelle**.

Utilisé pour déterminer les besoins de chauffe en hiver, il a aussi la capacité de calculer heure par heure les températures atteintes dans les locaux pendant les jours les plus chauds.



# LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE (STD)

La simulation thermique dynamique est un outil qui offre de nombreuses possibilités :

**Détermination du confort d'hiver** : besoin de chauffage

**Détermination du confort d'été et quantification des surchauffes**

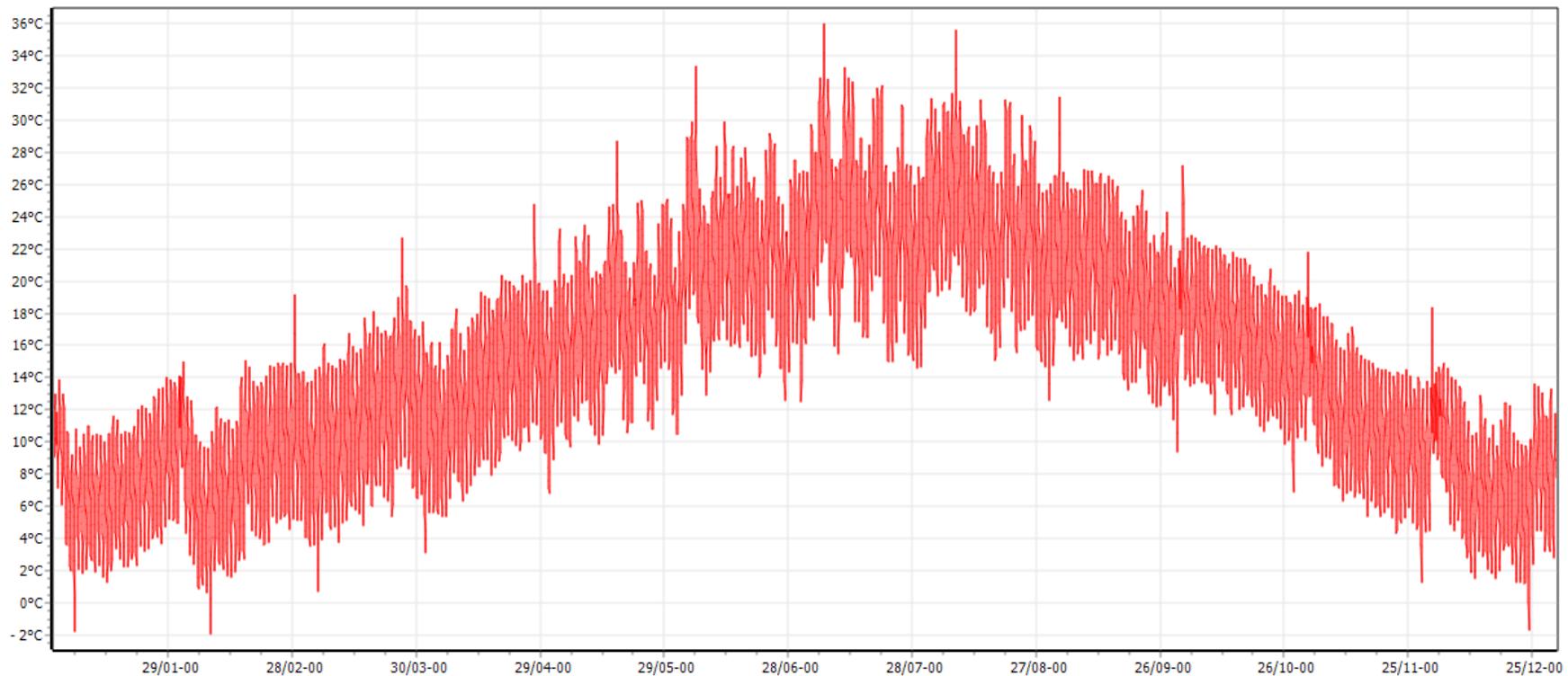
**Simulation de solutions passives et optimisation du projet**

**Faire apparaître les paramètres** à prendre en compte par les concepteurs pour ne pas dégrader l'existant.

# STD : LES DONNEES D'ENTREE

A partir de plans, des zones thermiques sont modélisées puis des scénarios de fonctionnement leurs sont attribués :

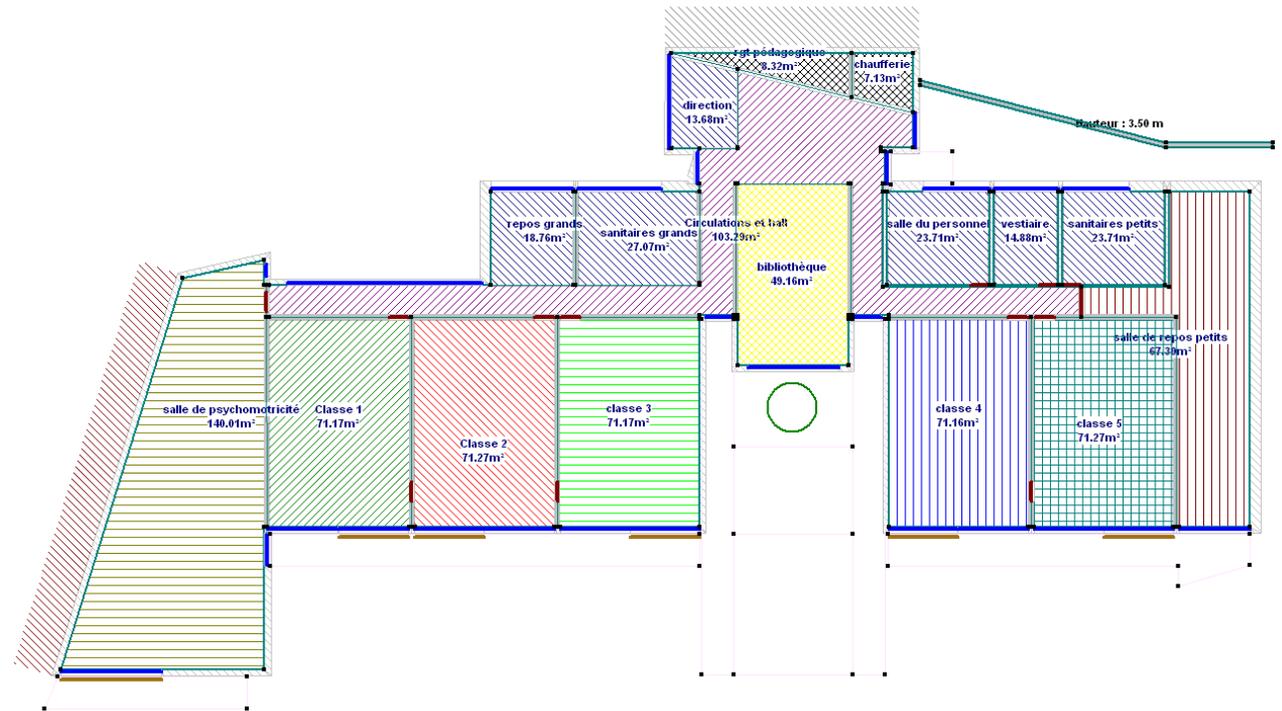
- **Données météorologiques**



# STD : LES DONNEES D'ENTREE

A partir de plans, des zones thermiques sont modélisées puis des scénarios de fonctionnement leurs sont attribués :

- Données météorologiques
- **Modélisation des zones thermiques**



Modélisation des zones thermiques

# STD : LES DONNEES D'ENTREE

A partir de plans, des zones thermiques sont modélisées puis des scénarios de fonctionnement leurs sont attribués :

- Données météorologiques
- Modélisation des zones thermiques
- **Constitution du bâti de la zone**

Conductivité ( $\lambda$ )	0.042	W/(m.K)
Masse volumique ( $\rho$ )	140	kg/m <sup>3</sup>
Chaleur spécifique ( $c$ )	2100	J/(kg.K)
	0.583	Wh/(kg.K)
Effusivité	111	J/(K.m <sup>2</sup> .√s)
Diffusivité	1.429E-7	m <sup>2</sup> /s

Paramètres thermiques pouvant être pris en compte dans la STD  
(Ex : Laine de bois)

# STD : LES DONNEES D'ENTREE

A partir de plans, des zones thermiques sont modélisées puis des scénarios de fonctionnement leurs sont attribués :

- Données météorologiques
- Modélisation des zones thermiques
- Constitution du bâti de la zone
- **Modélisation de l'environnement**

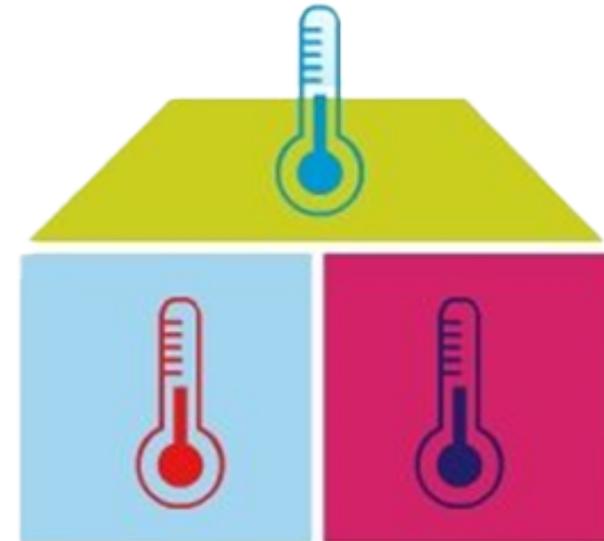


Modélisation des masques proches et lointains

# STD : LES DONNEES D'ENTREE

A partir de plans, des zones thermiques sont modélisées puis des scénarios de fonctionnement leurs sont attribués :

- Données météorologiques
- Modélisation des zones thermiques
- Constitution du bâti de la zone
- Modélisation de l'environnement
- **Consignes de température**



Calendrier annuel des consignes de chauffage

# STD : LES DONNEES D'ENTREE

A partir de plans, des zones thermiques sont modélisées puis des scénarios de fonctionnement leurs sont attribués :

- Données météorologiques
- Modélisation des zones thermiques
- Constitution du bâti de la zone
- Modélisation de l'environnement
- Consigne de température
- **Nombre d'occupants**
- **Planning d'occupation**



# STD : LES DONNEES D'ENTREE

A partir de plans, des zones thermiques sont modélisées puis des scénarios de fonctionnement leurs sont attribués :

- Données météorologiques
- Modélisation des zones thermiques
- Constitution du bâti de la zone
- Modélisation de l'environnement
- Consignes de température
- Nombre d'occupants
- Planning d'occupation
- **Apports internes**



# STD : LES DONNEES D'ENTREE

A partir de plans, des zones thermiques sont modélisées puis des scénarios de fonctionnement leurs sont attribués :

- Données météorologiques
- Modélisation des zones thermiques
- Constitution du bâti de la zone
- Modélisation de l'environnement
- Consignes de température
- Nombre d'occupants
- Planning d'occupation
- Apports internes
- **Occultations**



# STD : LES DONNEES D'ENTREE

A partir de plans, des zones thermiques sont modélisées puis des scénarios de fonctionnement leurs sont attribués :

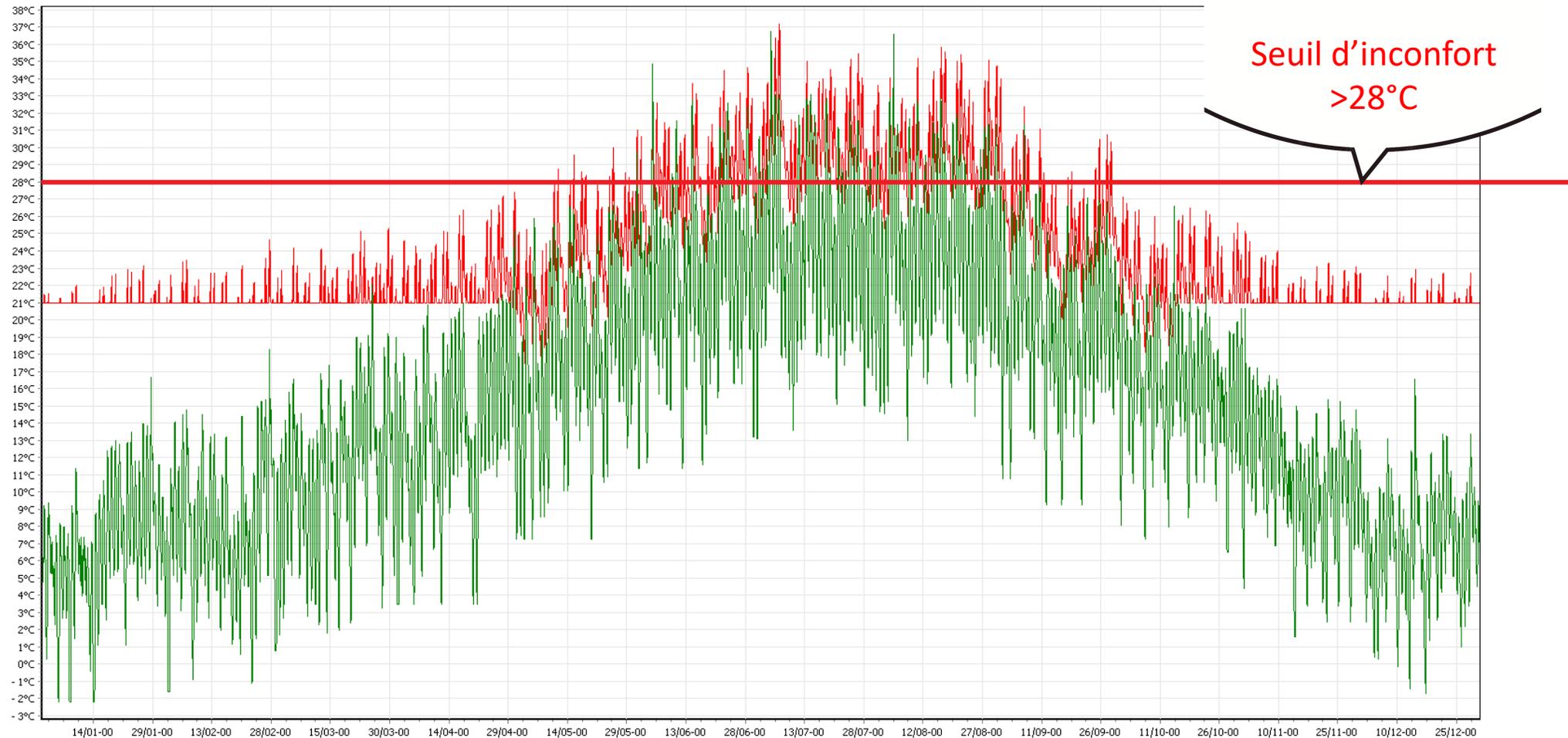
- Données météorologiques
- Modélisation des zones thermiques
- Constitution du bâti de la zone
- Modélisation de l'environnement
- Consigne de température
- Nombre d'occupants
- Planning d'occupation
- Apports internes
- Occultations
- **Ventilation des locaux...**



Ventilation naturelle, mécanique  
et infiltrations d'air

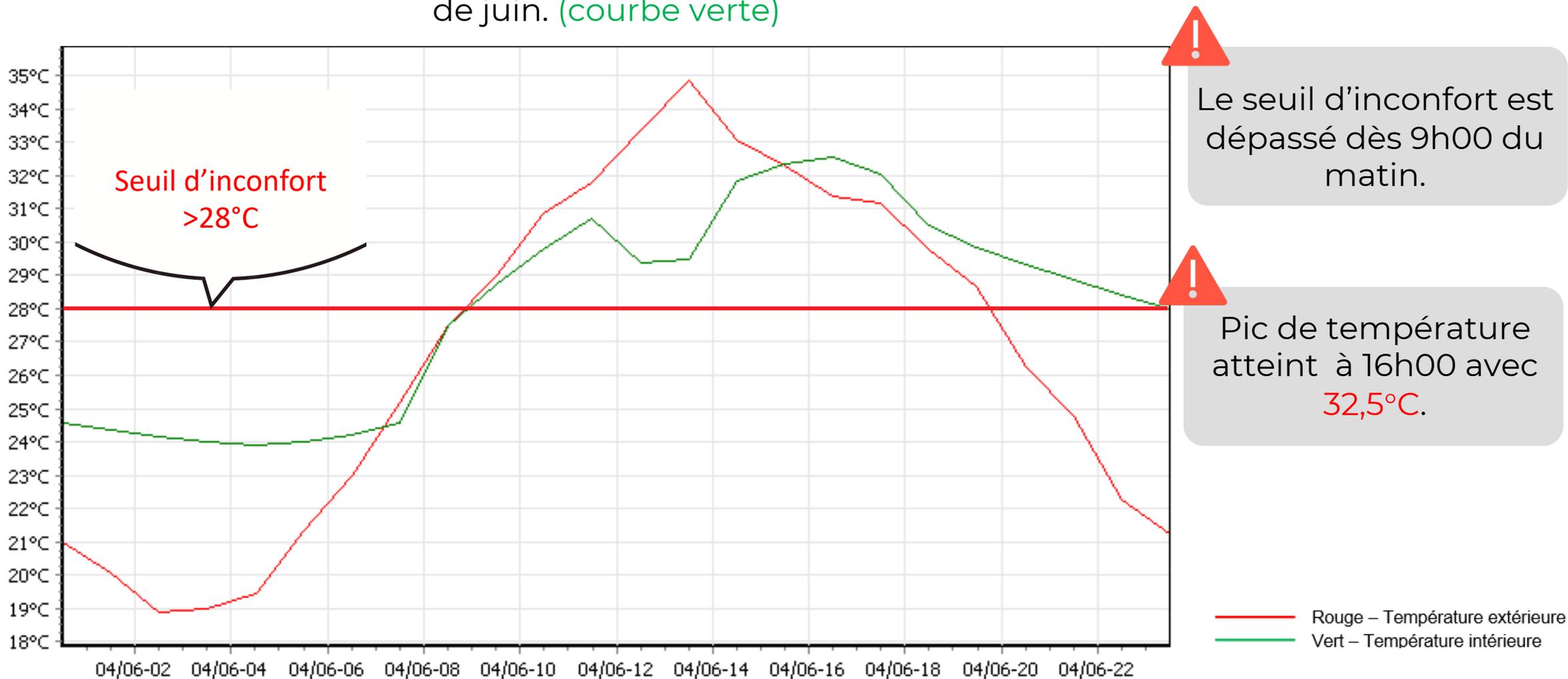
# STD : LES DONNEES DE SORTIE

Avec ces données d'entrées, il est possible de déterminer le comportement du bâtiment en simulant par pas horaire les températures atteintes dans les locaux.



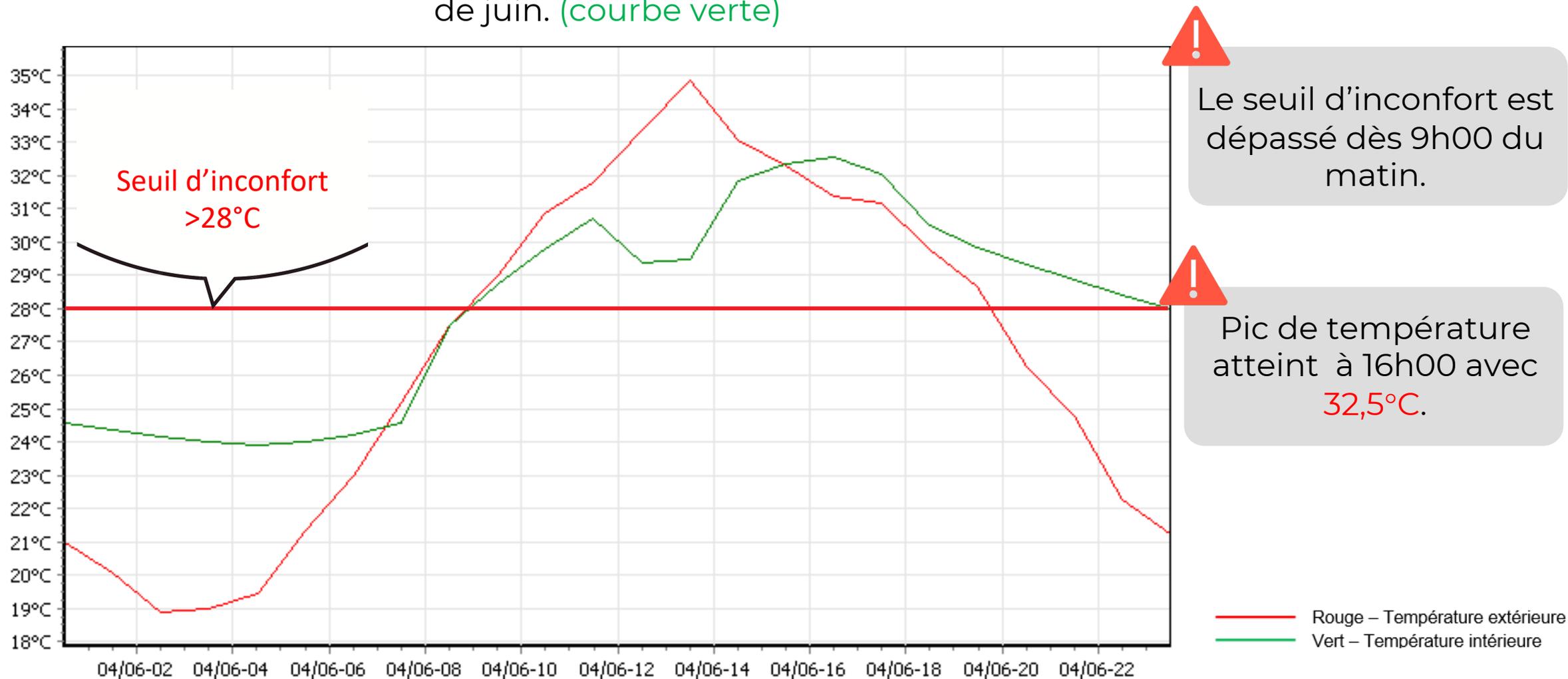
# STD : LES DONNEES DE SORTIE

Exemple : Courbe de température dans une salle de classe au mois de juin. (courbe verte)



# STD : LES DONNEES DE SORTIE

Exemple : Courbe de température dans une salle de classe au mois de juin. (courbe verte)





# LE CONFORT THERMIQUE PASSIF

La réduction de l'inconfort thermique d'un bâtiment en période de forte chaleur repose sur les règles suivantes :

# PROTEGER – Isoler



Une rénovation performante passe par une bonne **isolation** pour réduire les consommations de chauffage et améliorer le **confort d'hiver**...

Le choix du matériau isolant et la technique de pose n'est pas sans conséquences sur le confort d'été. De manière générale il est recommandé de privilégier l'emploi de matériaux recyclés ou biosourcés pour :

- Ne pas dégrader l'inertie du bâtiment,
- Améliorer le temps de déphasage



Isolation par l'extérieur en fibre de bois

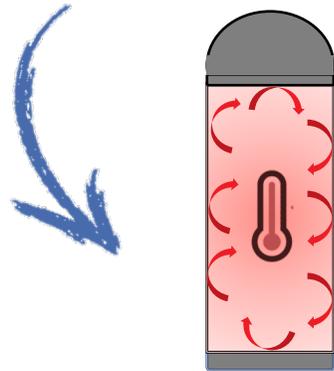


# PROTEGER – Isoler

Qu'en est-il en été ?

 L'isolation thermique réduit les transferts de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur

 ...mais limite également l'évacuation de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur



Pour éviter **l'effet thermos**, l'isolation doit obligatoirement être accompagnée de solutions complémentaires permettant de se **protéger** des apports solaires et **d'évacuer** les calories accumulées à l'intérieur du bâtiment.

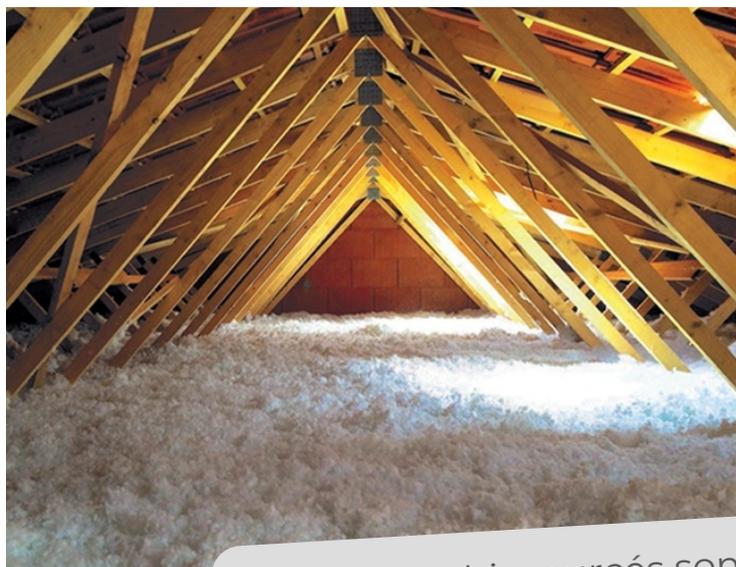
# PROTEGER – les espaces tampons

Préserver ou créer des **espaces tampons** dont la température est inférieure à la température extérieure



**En été, la toiture est la surface la plus exposée au rayonnement solaire**

La protection de la toiture contre les surchauffes est essentielle



Les isolants biosourcés sont encore les plus adaptés pour contribuer au confort d'été.

# PROTEGER – Les protections solaires

+

Des protections solaires bien disposées et bien dimensionnées...



permettent de bénéficier des apports solaires en hiver



protègent du rayonnement solaire direct en été



Protections solaires  
**SOUS-**  
**dimensionnées**



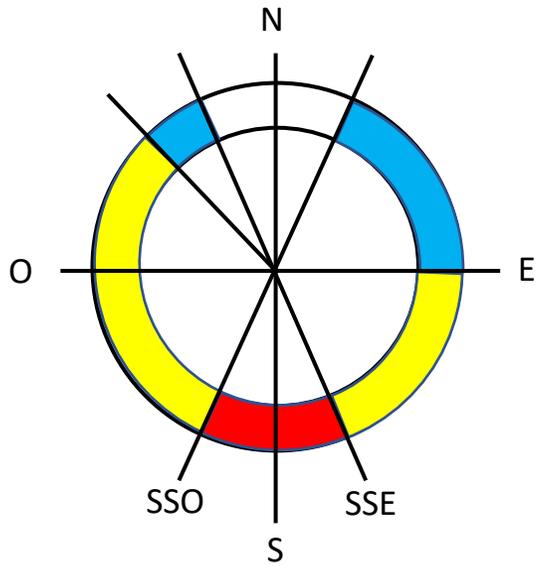
développement de la  
**protection végétale**  
grimpante sur la  
pergola



En complément de la casquette, les brises soleil orientables à l'extérieur **réduisent le rayonnement réfléchi** sur la façade



# PROTEGER – Les protections solaires



-  Protections mobiles extérieures
-  Protections mobiles intérieures
-  Pas de protections requises
-  Débords, casquettes, auvents



Brise-soleil **vertical**  
à l'Ouest



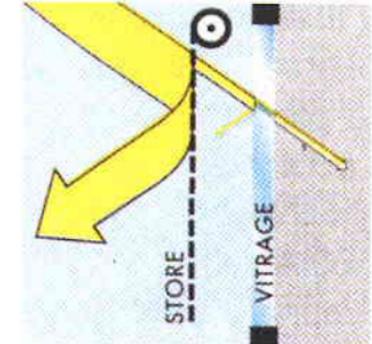
Casquette  
**horizontale**  
au Sud



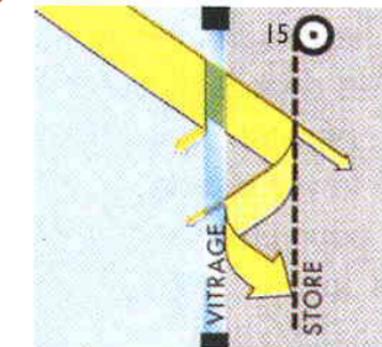
Les protections solaires sont plus efficaces à **l'extérieur** qu'à **l'intérieur**



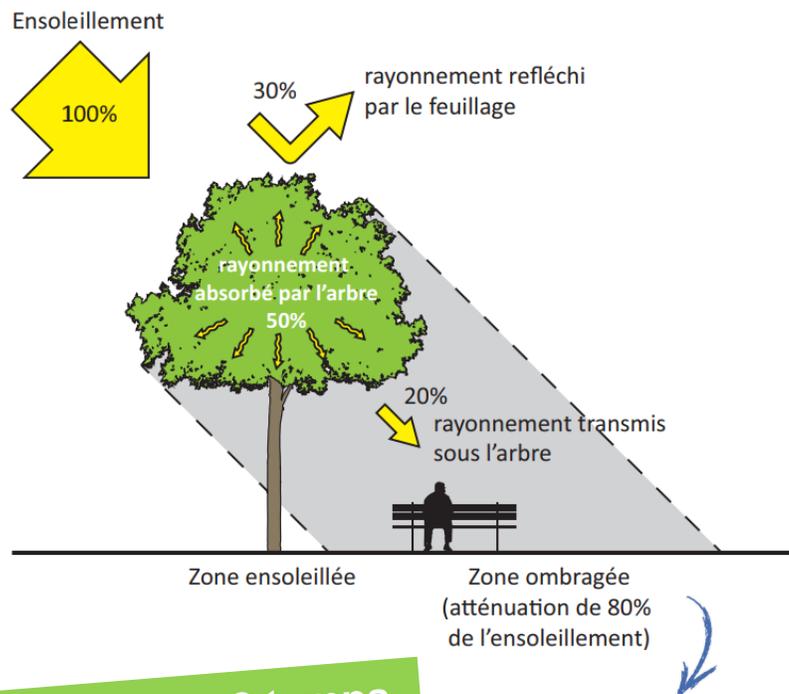
Protection externe



Protection interne

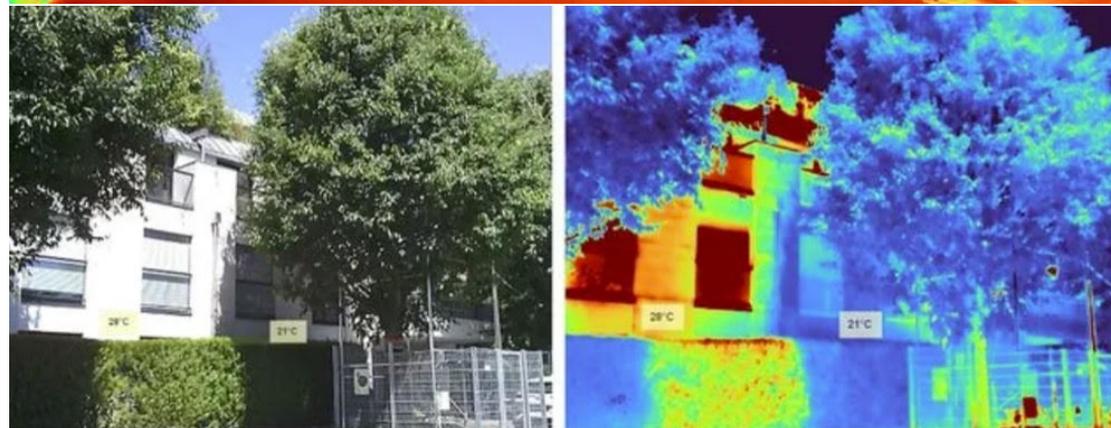
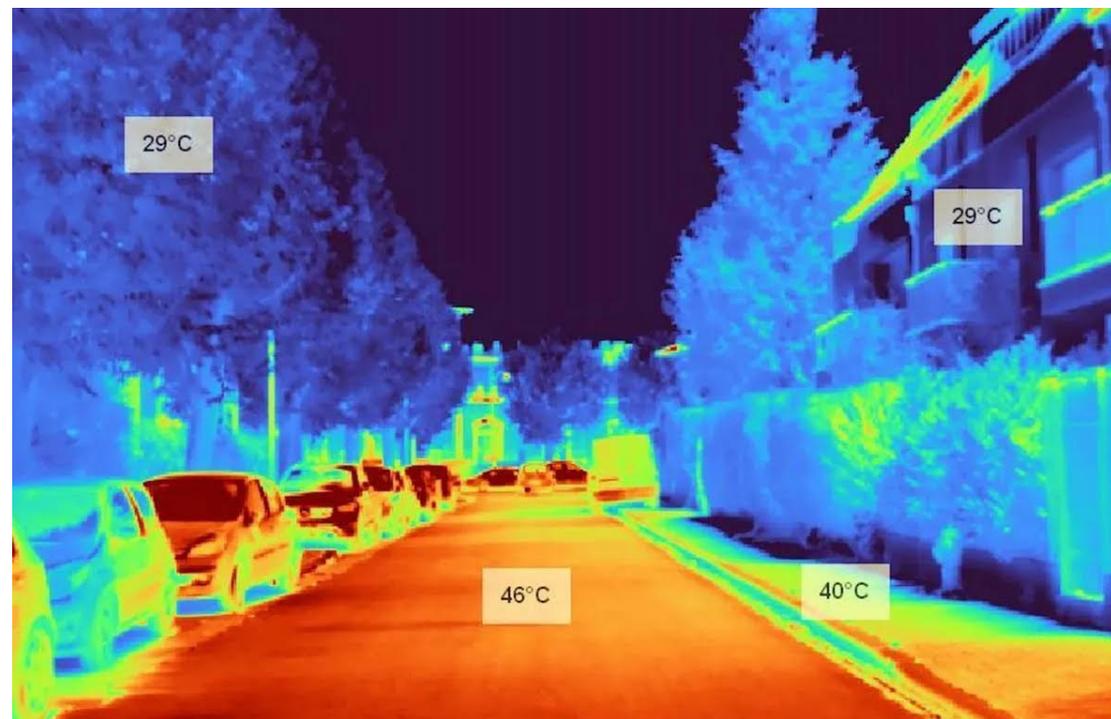


# PROTEGER – La végétalisation



## Avantages en 2 temps

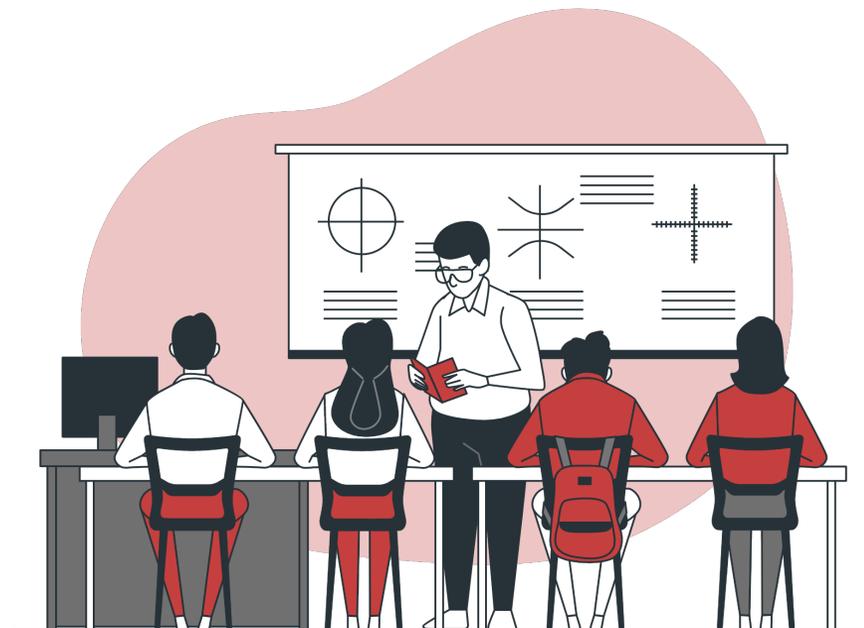
1. Réduction directe du rayonnement solaire
2. Réduction du stockage de la chaleur dans les parois ombragées



# DIMINUER LES APPORTS – Les apports internes

Les **apports internes** correspondent à la chaleur émise par les équipements électriques, les occupants et leurs activités.

**30 élèves dans une classe  
≈ 1 radiateur de 3000 W.**



**Eclairage par des néons  
= 2 x plus apports internes**



## La bonne configuration

- Eclairage par des modules Led
- Gestion par détection ou en fonction du seuil de luminosité

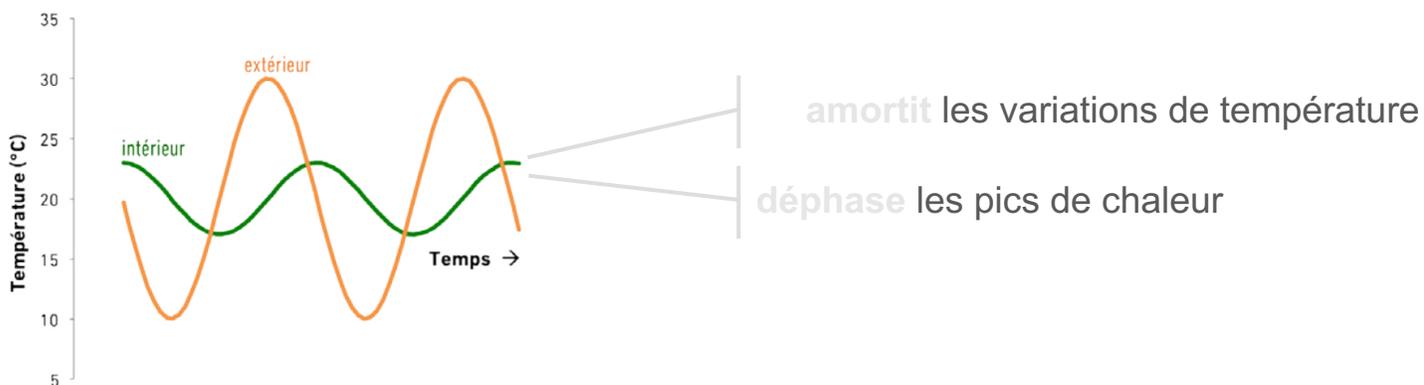
# EVACUER ET RAFRAÎCHIR – L'inertie thermique



Les éléments lourds (murs / planchers / cloisons) ont une forte inertie pour **absorber la chaleur le jour**



La sur-ventilation nocturne permettra **d'évacuer cette chaleur pendant la nuit,**



## Les bonnes pratiques

- L'isolation thermique par l'extérieur permet de conserver l'inertie des murs.
- La ventilation traversante et le tirage thermique (ouvertures hautes et basses) favorise l'évacuation de la chaleur

Le bâti ancien présente généralement une forte inertie



## La bonne isolation

Favoriser l'emploi de matériaux bio-sourcés pour ne pas altérer l'inertie thermique du bâtiment.

# EVACUER ET RAFRAÎCHIR – La circulation d'air



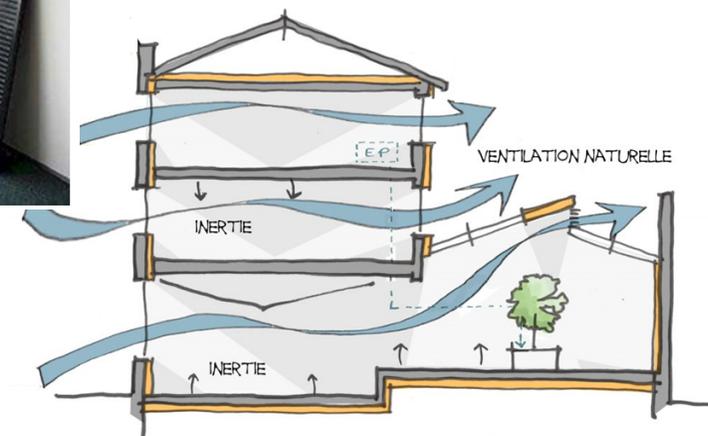
## Avantages en 2 temps

1. **En été**, améliore le confort des personnes en facilitant les mécanismes d'évapotranspiration.
2. **En hiver**, homogénéisation de la température des locaux grâce à l'effet de déstratification.



## Eviter la climatisation

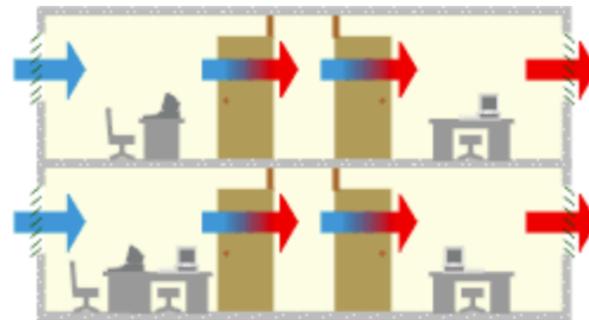
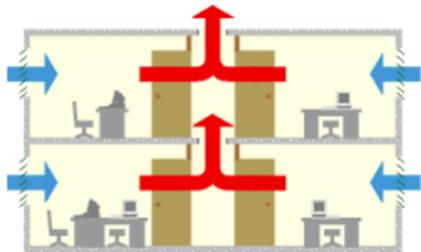
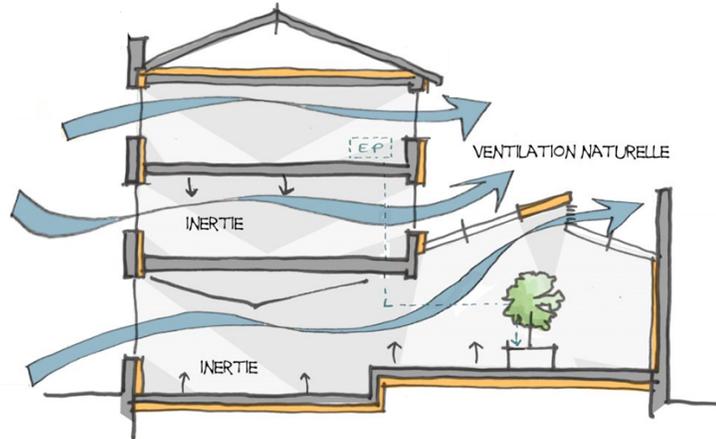
- Peu confortable
- Favorise les îlots de chaleur
- Consommatrice d'énergie



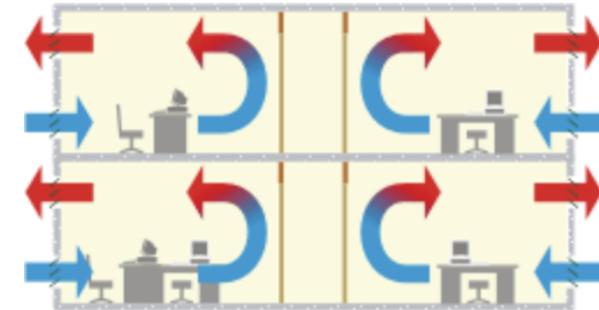
## La bonne configuration

- Sur-ventilation naturelle nocturne ou mécanique

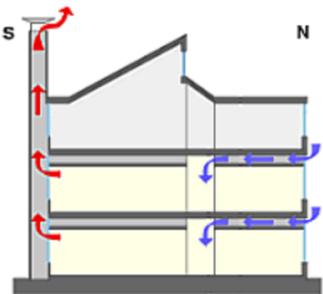
# EVACUER ET RAFRAÎCHIR – La circulation d'air



Ventilation transversale



Freecooling naturel individualisé



Tirage par cheminée verticale



## La bonne configuration

- Sur-ventilation naturelle nocturne ou mécanique

# CONCLUSION

La STD est un outil puissant pour proposer des solutions techniques et optimiser le confort dans le bâtiment.

Sans automatisation totale du bâtiment, l'atteinte d'un bon confort dans les espaces **passera OBLIGATOIREMENT par le comportement des utilisateurs :**

- Ouverture des menuiseries et occultation durant les bonnes périodes de la journée en fonction des orientations,
- Réduire l'utilisation des équipements électriques pouvant augmenter les apports internes des espaces,
- Utiliser autant que possible la ventilation naturelle en période estivale,
- Dans le cas d'une ventilation mécanique, vérification de son bon fonctionnement de façon régulière,
- **Sensibiliser les nouveaux arrivants à la connaissance du bâtiment aux bonnes pratiques.**

