# Le confort thermique des bâtiments

Adapter les bâtiments au climat 2050 – Ploufragan 08/07/2025

energys

# Sommaire

- Présentation ENERGYS
- Contexte
- Les origines de l’inconfort thermique
- Les solutions architecturales
- Les solutions techniques
- La Simulation Thermique Dynamique
- Quid de la RE2020 ?
- Comment intégrer le confort thermique a vos projets ?
- Conclusion

energys

# Nous sommes la somme de nos énergies

## De l'efficacité énergétique vers la décarbonation.

E’nergys, c’est la somme de compétences indispensables pour réduire vos consommations et vos émissions de $CO_2$.
Conseil – Ingénierie – Solutions

36 M€ de chiffre d’affaires en 2023
270 collaborateurs
9 sites en France

e’nergys

# 3 activités pour réussir votre transition

## Auditer

Nous réalisons les audits énergétiques et eau de vos sites.

## Former et Planifier

Nous vous accompagnons dans la définition de vos objectifs de décarbonation, les moyens à mettre en œuvre pour les réaliser et le plan d'actions associé.
Nous vous accompagnons dans la définition de vos objectifs de rénovation.

## Suivre

Nous suivons dans la durée votre performance énergétique et la mise en œuvre de votre feuille de route.

## Anticiper

Nous assurons votre conformité avec les réglementations et leurs évolutions.

## Concevoir

Nous réalisons des études technico-économiques robustes pour vous permettre de prendre les bonnes décisions (dimensionnement, solutions techniques).

## Mettre en œuvre

Nous nous appuyons sur des méthodes éprouvées d'ingénierie pour piloter l'installation de votre solution technique.

## Piloter

Nous déployons des solutions éprouvées et prenons en charge toutes les dimensions d'un projet dans le cadre de projets clés en main.

## Financer

Nous finançons vos projets d'efficacité énergétique grâce aux économies d'énergie.

Nous nous engageons sur la performance et sur les économies réalisées.

# Construction et rénovation durable

**Maitrise d'Œuvre Fluides**

*CVC | CFo/CFa | GTB | EnR*
*Neuf - Rénovation*

**Efficacité Énergétique**

*| RE2020 | STD | CPE | Suivi de la performance*
*Commissionnement*

**Confort**

*Surchauffe estivale | Hygrothermie | Lumière naturelle FLJ | Qualité d'air*

**Qualité Environnementale**

*Optimisation de l'impact carbone : ACV | Biosourcé | Suivi de chantier faible nuisance | Sensibilisation*

**Certification Environnementale**

*HQE | BREEAM | BDF | Biosourcé*

energys

# Amélioration continue des actifs immobiliers

**Audits**

*Energétique | Equipements techniques Rétro-commissionnement Plan d'actions | décret tertiaire*

**Certification environnementale**

*HQE HQEex | DBDB, BDM, etc. | BREEAM In Use | Fitwel*

**Exploitation durable**

*Accompagner le changement de comportement Stratégie exploitation et maintenance*

**Gestion de l'énergie**

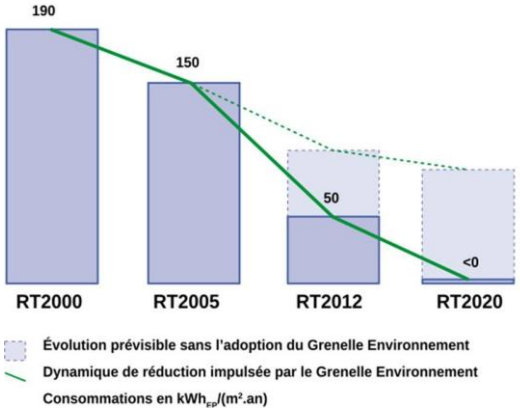
*Plan de comptage | Energy Management System*

energys

# Origines de l'inconfort thermique

- Inconfort thermique pas nouveau dans les bâtiments existants (logements sous combles mal isolés)

- Inconfort thermique des bâtiments neuf à surtout émergé en neuf dès le début de la RT2012
  - Performance énergétique des bâtiments (neuf et rénovation) : Optimisation des apports solaires et de l'isolation thermique.
  - Inconfort thermique en été mais également en mi saison
- Dérèglement climatique (vagues de chaleur) bâtiments inconfortables
  - Fermetures de lieux d'activité inconfortables (bureaux, écoles ….)
  - Impacts physiologique/psychologiques de la chaleur

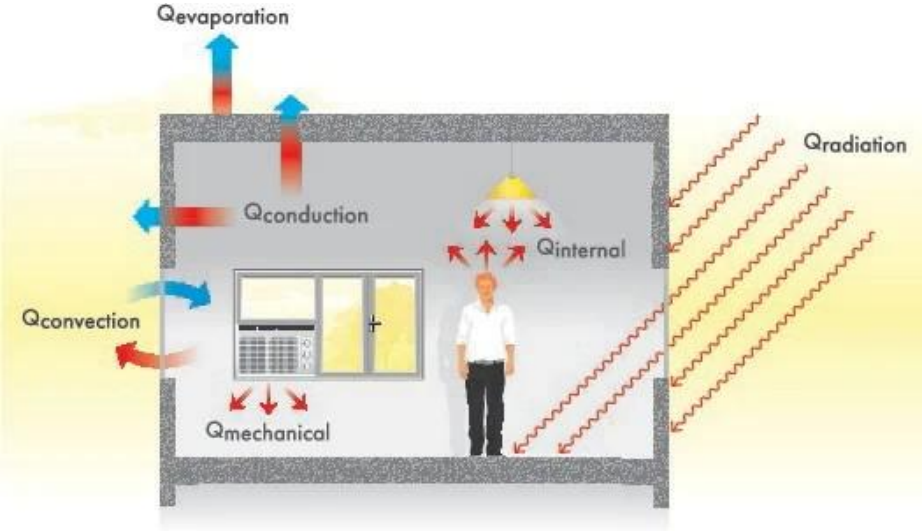


energys

# Origines de l'inconfort thermique

## Cas général:

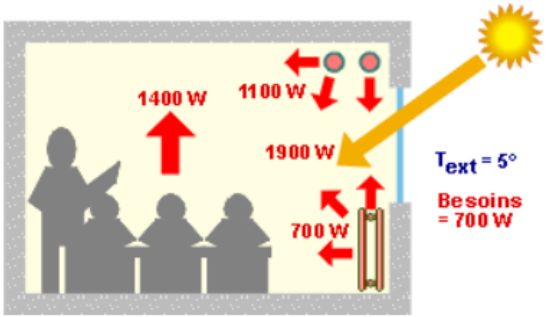
- Équilibre thermique rompu:  Apports énergétiques > dissipations.
  - Températures extérieures plus élevées
  - Isolation thermique: En hiver la chaleur à du mal à sortir → en été d'autant plus car la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est plus faible voir inversion des flux si la température extérieure est plus élevée que la température intérieure

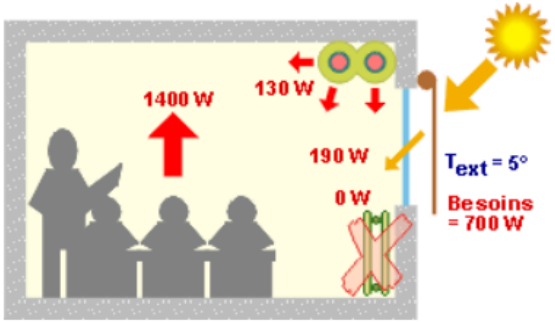


# Origines de l'inconfort thermique

## Spécificités de l'inconfort en mi saison :

- Déperditions réduites (température extérieure)
- Apports solaires plus forts qu'en hiver
- FONCTIONNEMENT DES SYSTÈMES DE CHAUFFAGE ! Mauvaise réponse du système de chauffage aux flux énergétiques.
  - Inertie des systèmes de chauffage (ex: plancher chauffants, radiateurs fonte)
  - Mauvaise régulation des départs réseau (courbe de chauffe, position de la sonde …)
  - Régulation terminale (vannes thermostatiques, vanne 2 voies + sonde …) défectueuse ou absente
  - Réseaux non calorifugés (donc non régulables). Attention aux passages de réseaux dans les dalles.
  - Mauvais équilibrage du réseau (donc mauvaise régulation terminale)

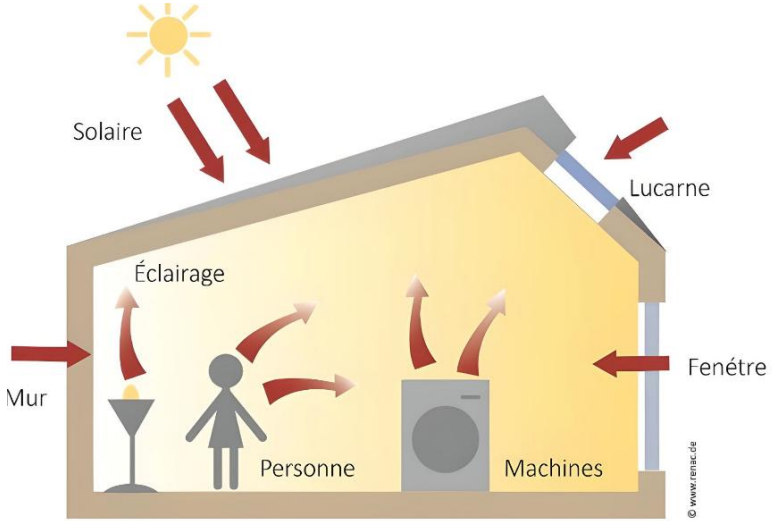


# Origines de l'inconfort thermique

## Inconfort d'été (sans fonctionnement des systèmes de chauffage) :

- Apports solaires directs (menuiseries)
- Apports solaires indirects (parois)
- Charges internes :occupants, effet joule (bureautique, éclairage, électrodomestiques, autres appareils …)
- Conduction parois
- Apport d'air chaud

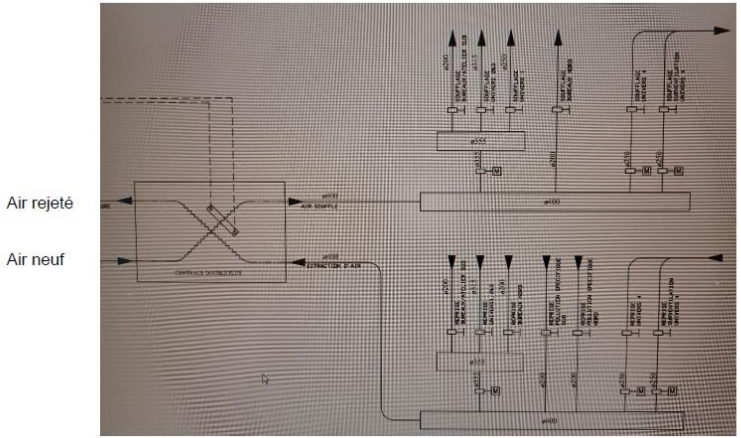


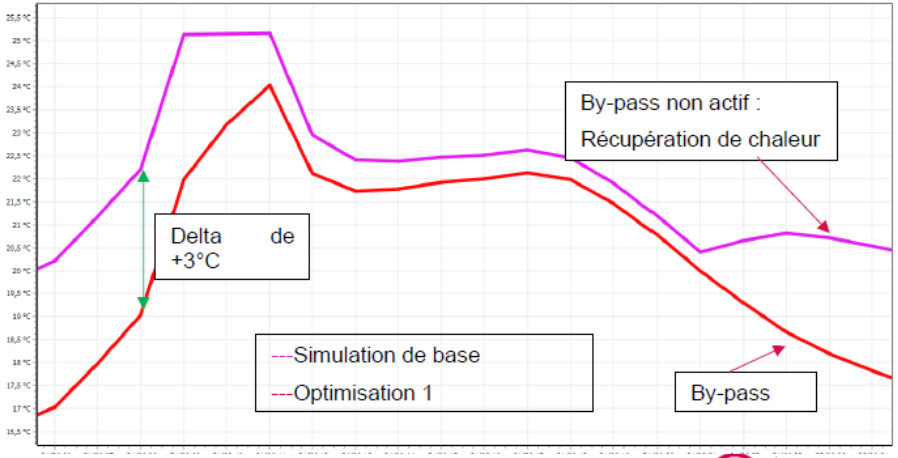

- Protection solaires adaptées et dimensionnées selon l'exposition des menuiseries (et éventuellement control solaire mais réduction de la luminosité et des apports en hiver)
- Maitrise des charges internes Décharge thermique : ventilation naturelle/ ventilation mécanique en freecooling)
- Protections solaires des parois / gestion des couleurs de surface
- Déphasage thermique
- Inertie thermique
- Etanchéité à l'air de l'enveloppe

# Origines de l'inconfort thermique

## REX inconfort thermique médiathèque bretagne sud: Mauvaise dissipation de la chaleur

- Free-cooling non exploité (interrupteur a clé)
- By-pass ventilation mal paramétré
- Mauvais équilibrage du réseau aéraulique

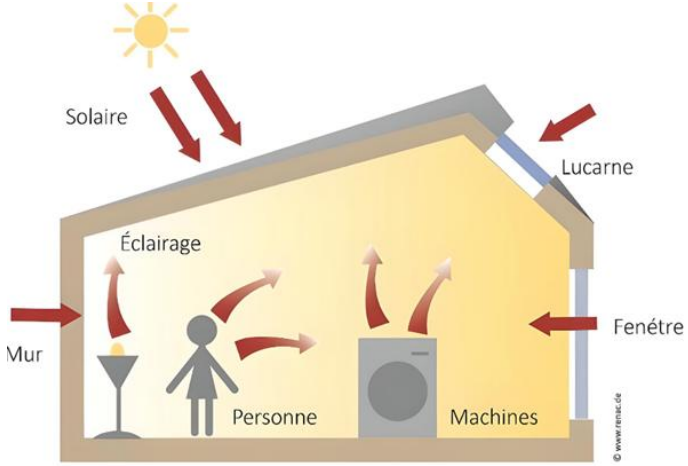


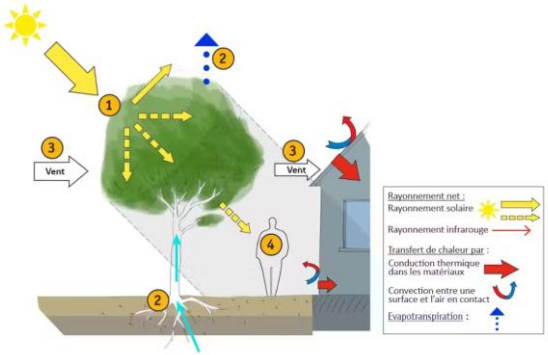

energys

# Solutions architecturales

- Protection solaires adaptées :
  - Casquette façade SUD
  - Lames verticales EST/OUEST ou casquettes + profondes et longues
- Maitrise des charges internes (asservissement éclairage, appareil bureautique/électrodomestiques/éclairage performants)
- Protections solaires des parois / gestion des couleurs de surface (peinture blanches, végétation extérieure, double paroi ?)
- Déphasage thermique :( isolation + inertie de la paroi)
- Inertie thermique: (masse → béton/terre crue/ terre cuite/ toiture végétalisée)
- Évapotranspiration (toiture végétalisée, végétation environnante)
- Etanchéité à l'air de l'enveloppe : membrane pare vapeur + traitement des jonctions

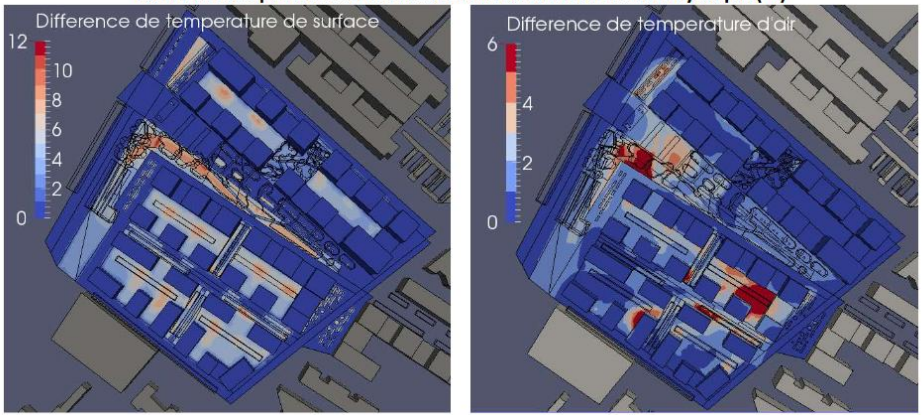


# Solutions architecturales




Le bénéfice rafraîchissant de l'arbre est essentiellement diurne : d'une part il fournit de l'ombre, d'autre part il transpire. Dans le cas de la transpiration, c'est l'énergie que l'évaporation de l'eau exige qui permet de réduire l'échauffement des feuilles et les maintient à une température proche de celle de l'air, ce qui réduit l'échauffement de la rue et augmente très légèrement l'humidité de l'air autour de l'arbre.

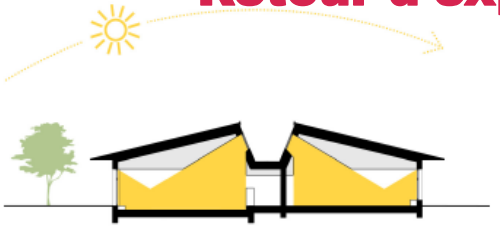
**Ecarts des températures entre les scénarios avec et sans stress hydrique (°C)**



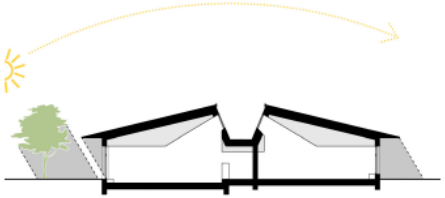

« Si l'évapotranspiration
est optimisée à des valeurs correspondant à la demande climatique, c.à.d. sans stress hydrique,
les températures de surface peuvent être localement abaissées de 10°C et les températures d'air
de plusieurs degrés (entre 2°C et 4°C ; figure ci-dessous). Ces rafraîchissements locaux
s'expliquent par des températures plus faibles à la surface des feuilles qui évapotranspirent, et
leur localisation est conditionnée par l'ensoleillement et la circulation du vent. » -*PROJET COOLVEG : OPTIMISATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION ET DE LA BIOCLIMATISATON SUR LE VILLAGE OLYMPIQUE ET PARALYMPIQUE DE PARIS 2024*

# Solutions architecturales

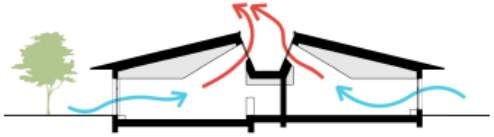
## Retour d'expérience



APPORT DE LUMIÈRE NATURELLE AU COEUR DES ESPACES



OMBRAGES
PROTECTEURS DE SURCHAUFFE



VENTILATION NATURELLE TRAVERSANTE
& RAFRAÎCHISSEMENT NOCTURNE

INERTIE DES MATÉRIAUX
ASSURANT CONFORT INTÉRIEUR

| Éléments | Caractéristiques de l'extérieur vers l'intérieur | R projet en m²K/W |
|---|---|---|
| Toiture | Isolation biosourcée Biofib ouate 400mm | 10 |
| Murs Ossature Bois | Mur Ossature Bois enduit remplissage paille 360mm | 7 |
| Ouvrants divers | Menuiseries bois | Uw ≤ 1.3 |
| Plancher bas sur Terre-Plein | Fibre de bois 200mm, Dalle béton | 5.5 |

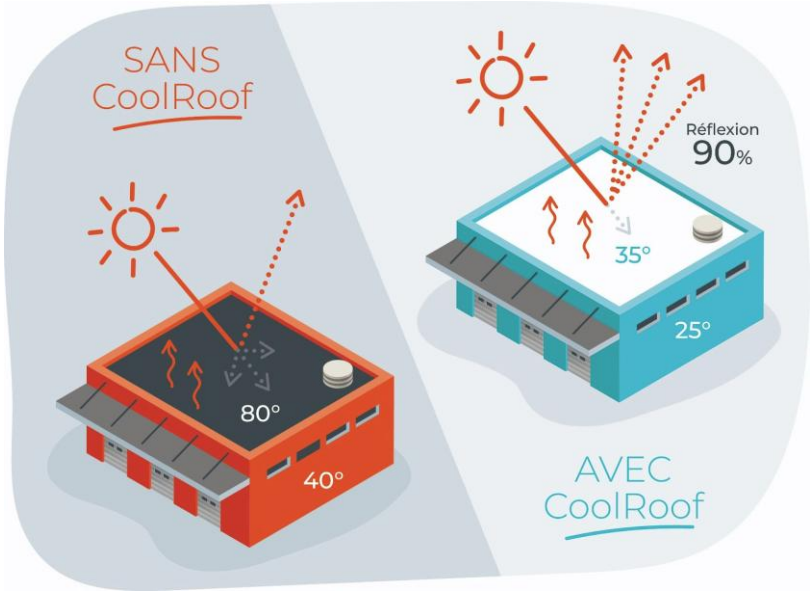
# Solutions architecturales

## Protections solaires

Privilégier les protection solaires fixes (durabilité/maintenance) ou peu fragiles

# Solutions architecturales

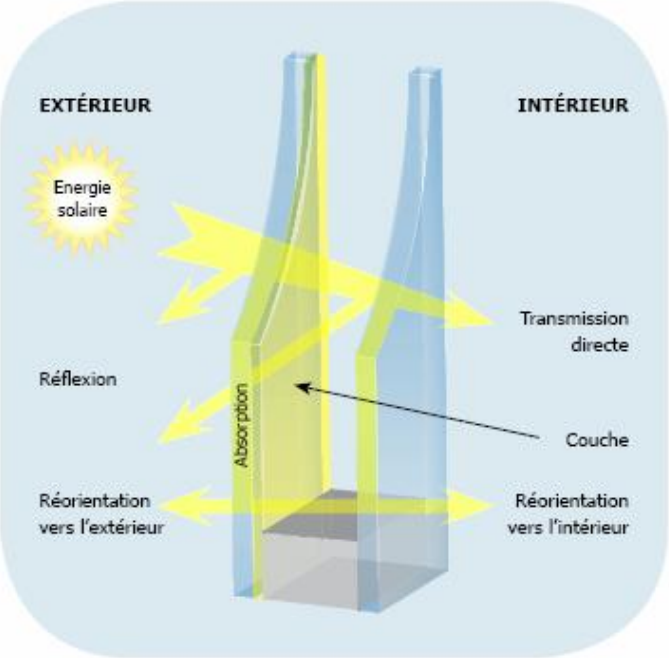
## Toitures blanches



energys

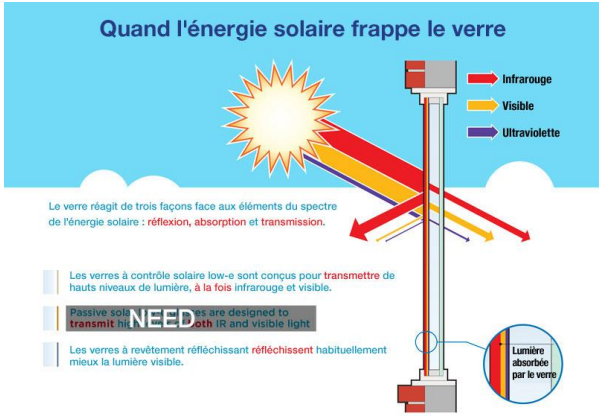
# Solutions architecturales

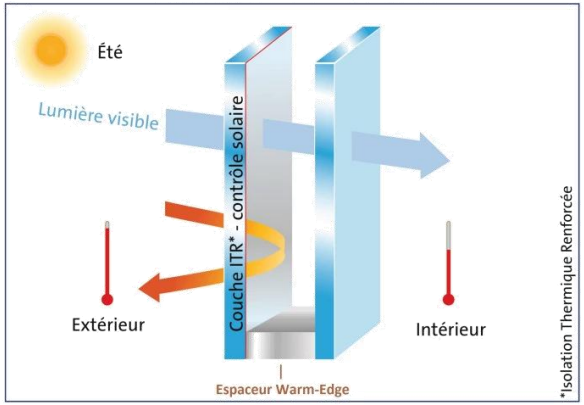
## Vitrage à control solaire




Vitrage isolant incluant un verre à couche de contrôle solaire.

- Choisir les bonnes caractéristiques optiques/énergétiques du vitrage pour ne pas trop pénaliser le confort visuel
- A privilégier en rénovation / ou dernier recours architectural car réduit également les apports de chaleur l'hiver et la luminosité.




*Moins de surchauffe en été*

energys

# Solutions techniques

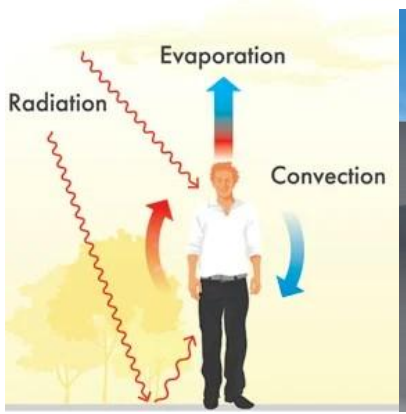
## Stratégies de free-cooling (surventiler le bâtiment quand l'air extérieur est plus frais que l'air intérieur)

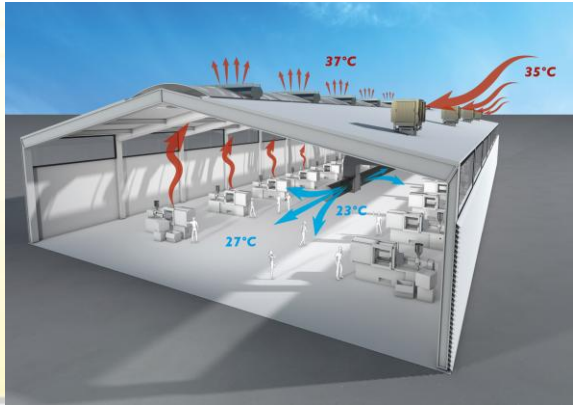
| Type | Avantage | inconvénient |
|---|---|---|
| Double flux en mode free-cooling | Pilotage efficace<br>Pas problématique intrusion<br>Pas problématique météo | Consommation électrique<br>Débits moins importants qu'en ventilation naturelle (donc potentiel de rafraichissement plus limité) |
| Ouvertures des menuiseries (classique) | Low-tech<br>Fort débit | Intrusion<br>Gestion des menuiseries<br>Aléas météo |
| Ventelles ou menuiseries + persiennes | Low-tech<br>Fort débit<br>Peut rester ouvert toute la nuit | Moindre aléa météo |
| Ventelles /menuiseries + persienne + pilotage | Fort débit<br>Pilotage automatique<br>Gestion fine de la météo (station météo) | Investissement + maintenance + élevé. |
| Tourelles de ventilations | Pas de consommation électrique<br>Possibilité récupération chaleur avec bypass (environ 50% efficacité)<br>Peu sensible intempéries<br>Connectivité GTB | Impact esthétique<br>Limité RDC<br>Etude aéraulique<br>Présence automatisme |

energys

# Solutions techniques

- Rafraichissement adiabatique
- Géocooling (si chauffage géothermique et émetteurs réversibles type ventiloconvecteurs/planchers chauffants/rafraichissants)
- Brasseurs d’air (augmenter les échanges convectifs)
- Tourelles à vent

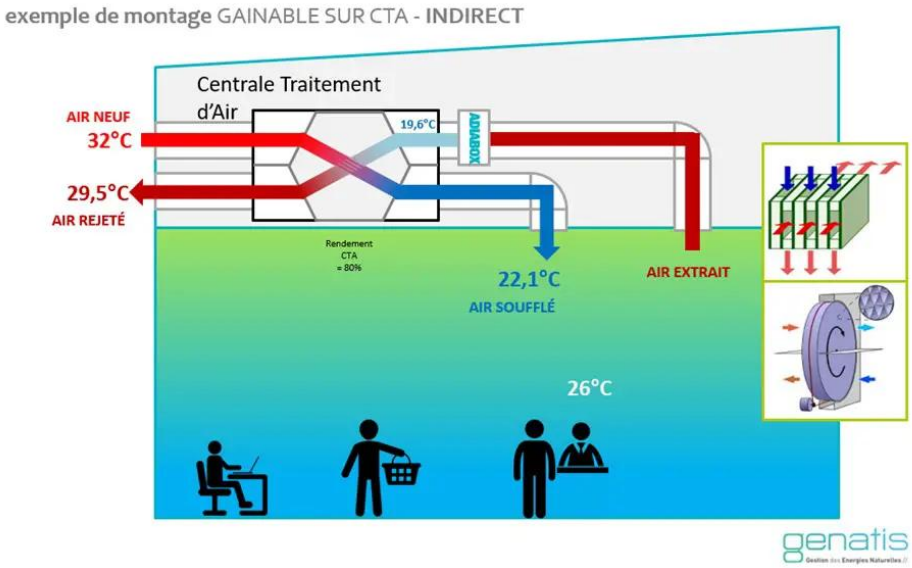


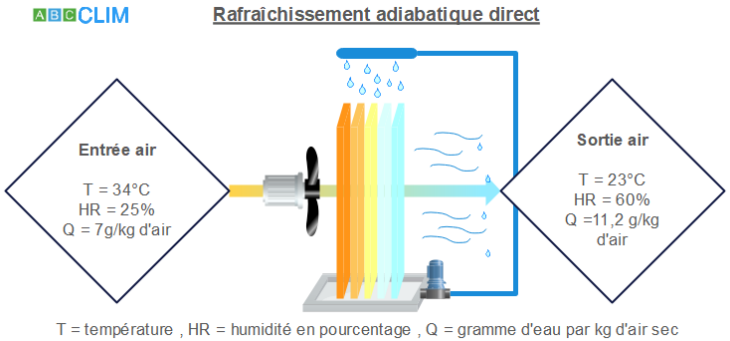



e'nergys

# Solutions techniques

## Rafraichissement adiabatique direct ou indirect

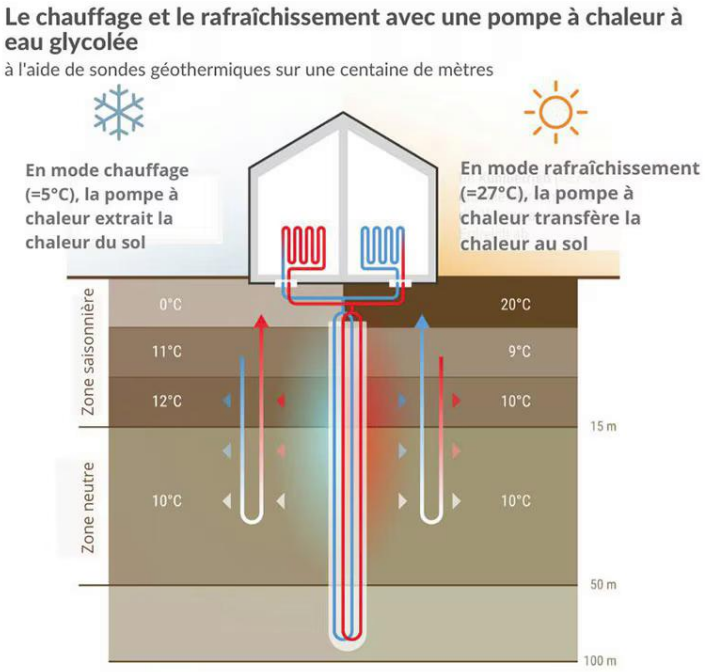



energys

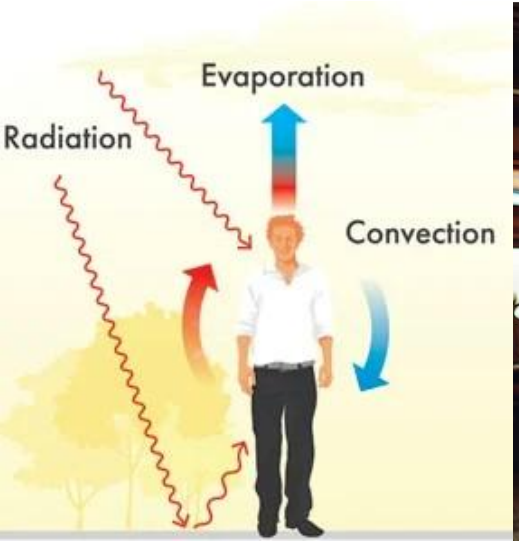
# Solutions techniques

- Géocooling (si chauffage géothermique et émetteurs réversibles type ventilo-convecteurs/planchers chauffants/rafraichissants)



# Solutions techniques

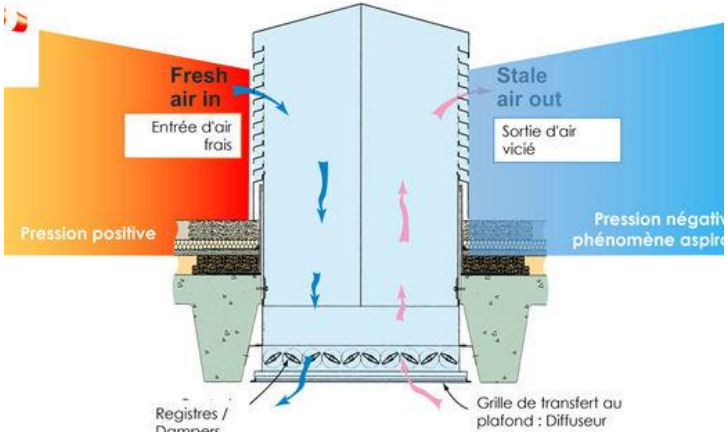
- Brasseurs d’air (augmenter les échanges convectifs)

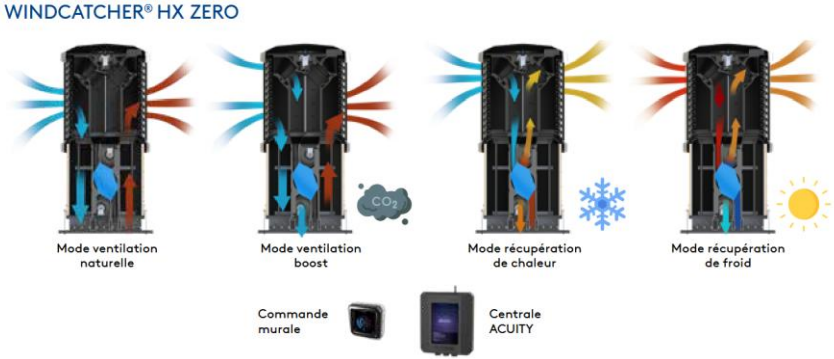


e'nergys

# Solutions techniques

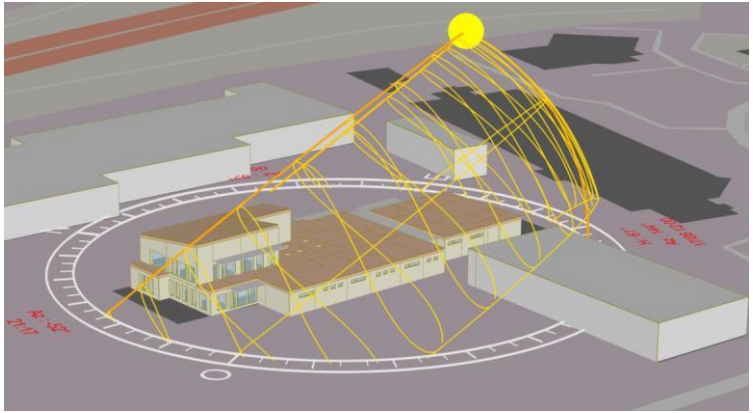
## Les tourelles à vent

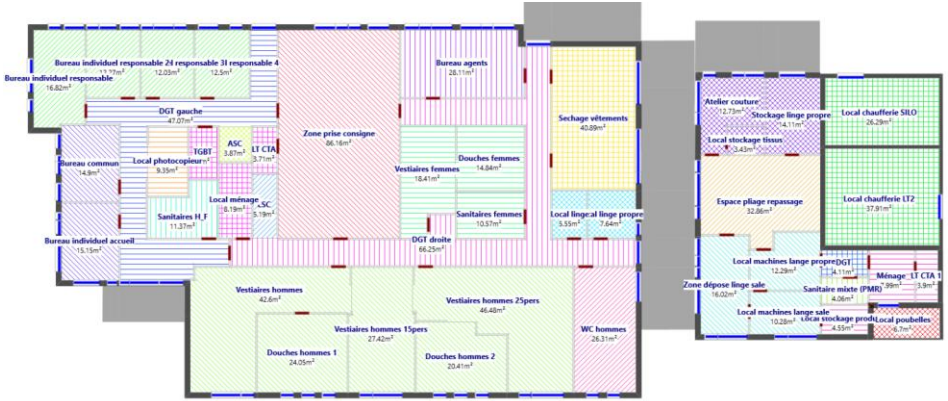





energys

# La Simulation Thermique Dynamique





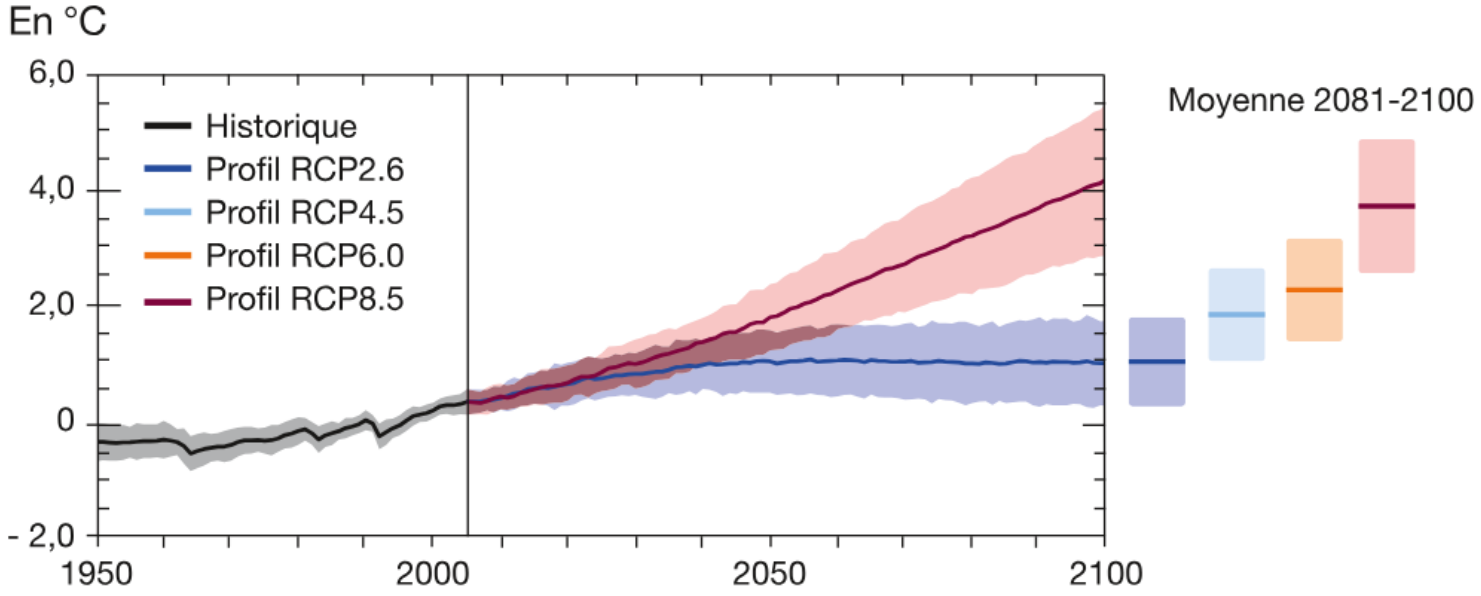

- Simulation au pas de temps horaire des échanges du bâtiment
- Modélisation de l’enveloppe et de l’environnement.
- Fichier météo au pas de temps horaire (possibilité de fichier très local par interpolation de données de station météo et intégration des scénario GIEC
- Modélisation précise des systèmes selon leur régulation réelle (et non règlementaire)
- Scénario d’occupation et charges internes précis définis au niveau de la zone
- Accès à d’autres données permettant d’affiner le dimensionnent des équipements (température, hygrométrie, rayonnent solaire,
- Zonage précis permettant d’apprécier le confort par pieces si nécessaire.

e'nergys

# La Simulation Thermique Dynamique

## Les fichiers météo prédictifs (scénario GIEC)

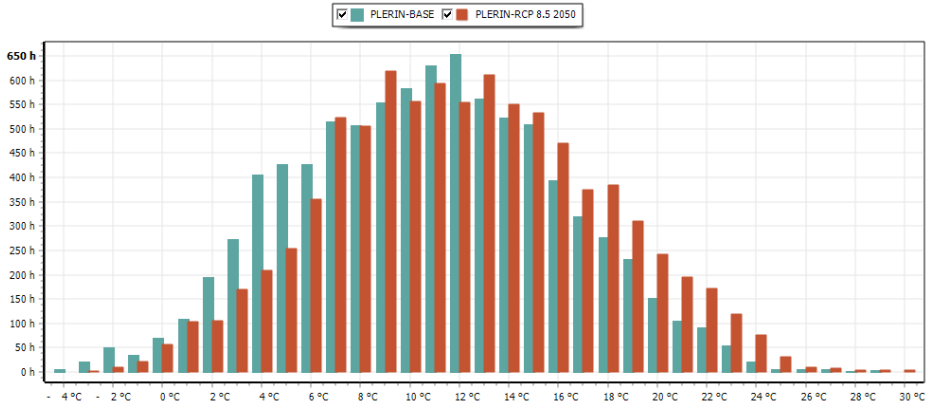
**Projection de la variation de température moyenne mondiale suivant différents scénarios**




energys

# La Simulation Thermique Dynamique

## Les fichiers météo prédictifs (scénario GIEC)




| | | | |
|---|---|---|---|
| Nom | **Plérin** | Altitude | **108 m** |
| Latitude | N 48° 32' 40" | Longitude | O 2° 46' 30" |
| **DJU Chauffage fichier moyen** | 2001 | DJU Chauffage fichier 2050 RCP 8.5 | **1735** |
| **DJU Climatisation fichier moyen** | 80 | DJU Climatisation fichier 2050 RCP 8.5 | **145** |
| **Température moyenne du sol** | **13°C** | **Température moyenne du sol 2050 RCP 8.5** | **15°C** |

energys

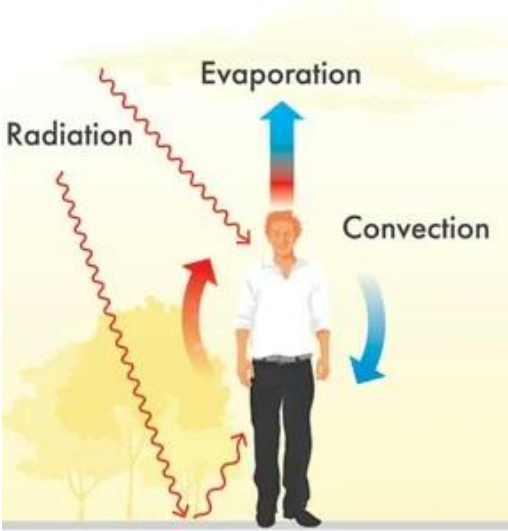
# La Simulation Thermique Dynamique

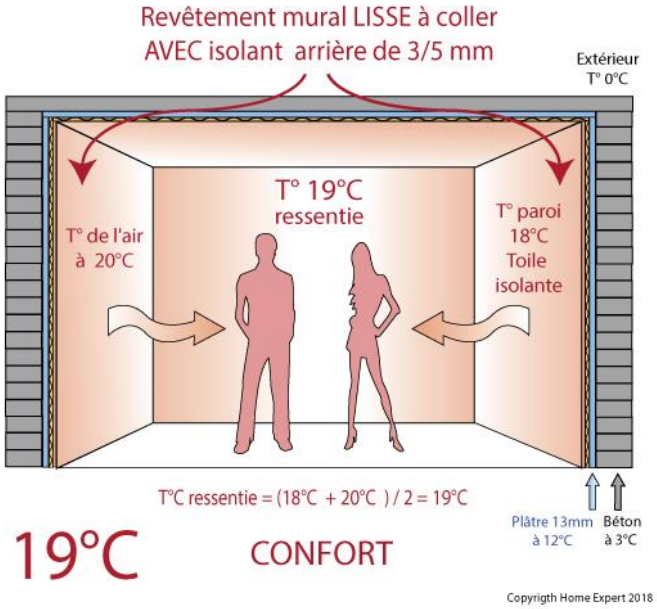
## Les indicateurs de confort thermique

| Indicateur | Utilisation/source | Avantage | Inconvénient |
|---|---|---|---|
| DH (degrés heures >28°C) | RE2020 | simple | Pas de prise en compte du niveau d'activité (ex salle danse ) , de la modulation de vêtement et de la vitesse d'air, du niveau de température extérieure |
| % inconfort Givoni | HQE BD | Indicateur utilisé surtout dans les ambiances tropicales | Pas de prise en compte du niveau d'activité (ex salle danse ) , de la modulation de vêtement et de la vitesse d'air, du niveau de température extérieure |
| % inconfort (confort adaptatif) | NF EN 16798-1 | Prise en compte de la vitesse d'air<br>Prise en compte du niveau d'activité physique et modulation du niveau d'habillement et de la température extérieure sur 7 jours glissant | Pas de prise en compte de l'humidité de l'air mais fonctionne bien en métropole |
| PMV (predicted mean vote)<br>PPD (Predicted Percentage of Dissatsfied) | **ISO 7730** | Prise en compte de la vitesse d'air<br>Prise en compte du niveau d'activité physique et modulation du niveau d'habillement | Le PMV est calculé selon une formule mathématique lourde, qui tient compte de l'ensemble des facteurs objectifs qui influencent le confort. Elle est donc en pratique difficile à exploiter. |
| % inconfort (Topérative>28°C) | HQE BD | Modulation des critères de notation en fonction du fichier météo dans ref HQE | Pas de prise en compte du niveau d'activité (ex salle danse ) , de la modulation de vêtement et de la vitesse d'air, du niveau de température extérieure |

# La Simulation Thermique Dynamique

## Température ambiante/opérative

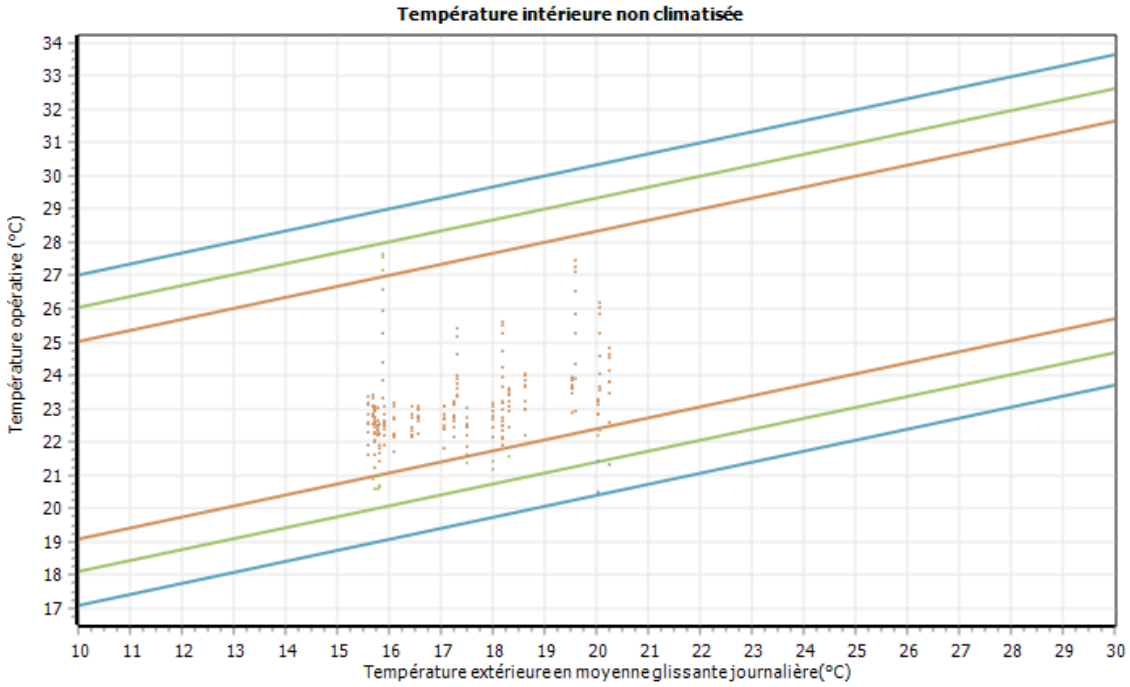



energys

# La Simulation Thermique Dynamique

## Diagramme confort adaptatif




Catégorie d'ambiance:

- [x] Tout sélectionner
- [x] I (3 h. occ.)
- [x] II (0 h. occ.)
- [x] III (0 h. occ.)
- [x] Surchauffe seulement

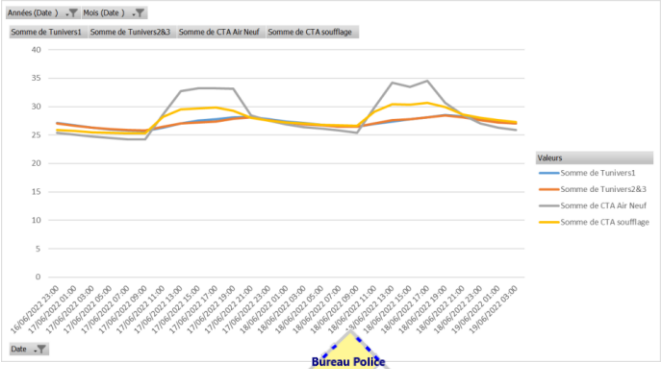
Vitesse d'air 0.5 m/s

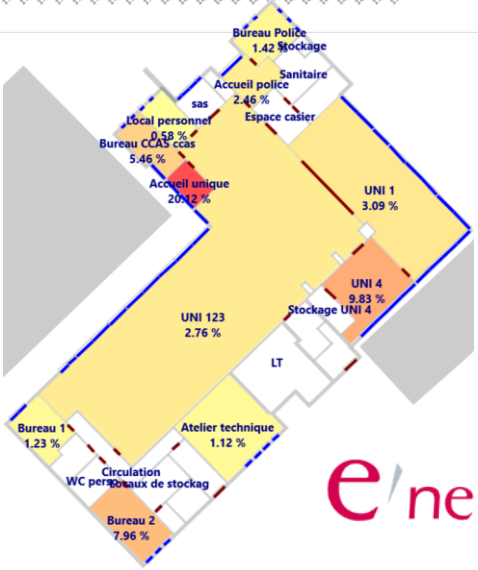
energys

# La Simulation Thermique Dynamique

## Exemple sortie STD traitée

| Zones | Niveau | T° max occ. (°C) 2020 | T° max occ. (°C) 2050 | DH (°C.h) 2020 | DH (°C.h) 2050 | Adaptatif (%) 2020 | Adaptatif (%) 2050 | Classe HQE 2020 | Classe HQE 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bureau individuel nord | RDC | 27,3 | 30,3 | 0 | 7,7 | 0,4% | 0,7% | A | A |
| Bureau ouest | RDC | 27,5 | 30,6 | 0 | 12,3 | 0,4% | 0,7% | A | A |
| Photocopieur | RDC | 24,9 | 25,6 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| Sanitaires mixte | RDC | 24,9 | 25,6 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| LT | RDC | 23,7 | 24,6 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| Prise de consignes | RDC | 25,7 | 27,1 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| Vestiaires F | RDC | 25,2 | 26,0 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| Bureau chef d'équipe | RDC | 27,2 | 30,4 | 0 | 8,0 | 0,3% | 0,7% | A | A |
| Séchage | RDC | 21,6 | 23,0 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| Dépose linge | RDC | 22,0 | 23,0 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| WC H | RDC | 22,1 | 23,9 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| VEST H | RDC | 22,1 | 23,4 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| DGT G | RDC | 25,4 | 26,7 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| DGT D | RDC | 23,4 | 24,6 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| Salle de réunion | R+1 | 27,2 | 29,8 | 0 | 5,8 | 0,2% | 0,5% | A | A |
| Salle de repas | R+1 | 26,5 | 28,0 | 0 | 0,1 | 0% | 0,4% | | |
| Espace de pause | R+1 | 29,1 | 29,3 | 0 | 1,0 | 0% | 0,7% | A | A |
| Deg | R+1 | 24,9 | 26,3 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| Sanit R+1 | R+1 | 24,3 | 25,4 | 0 | 0 | 0% | 0% | A | A |
| Baie de brassage | R+1 | 27,0 | 27,8 | 0 | 5,9 | 0% | 0% | A | A |

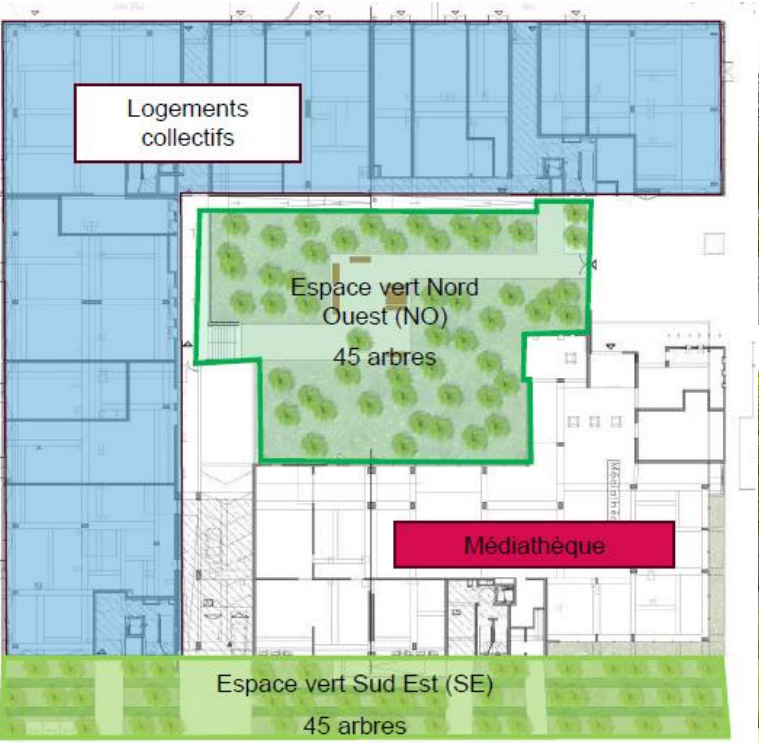


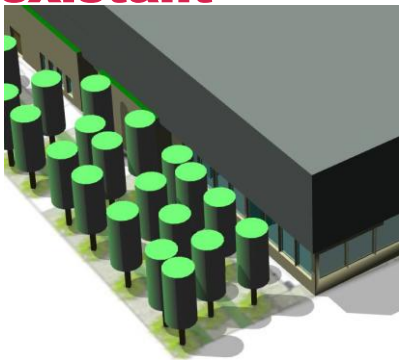



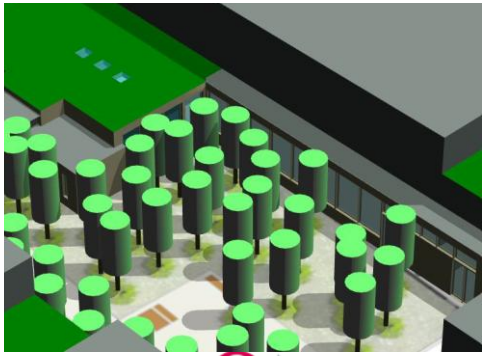

energys

# La Simulation Thermique Dynamique

## REX optimisation du confort thermique sur bâtiment existant





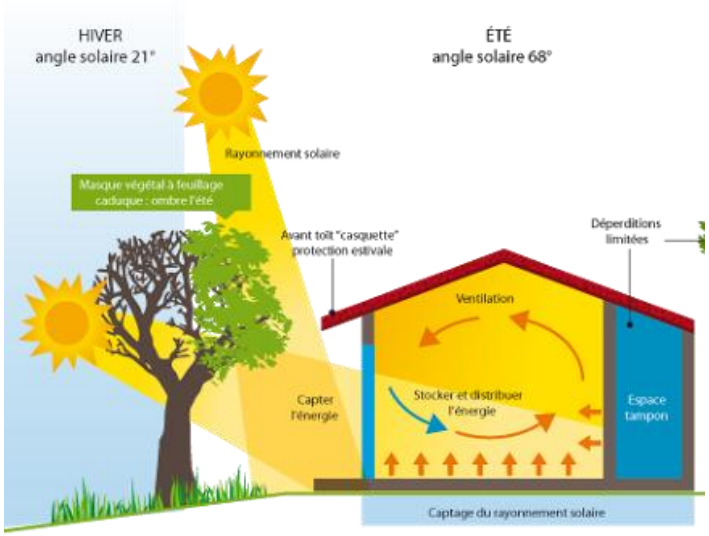


energys

# La Simulation Thermique Dynamique

## REX optimisation du confort thermique sur bâtiment existant

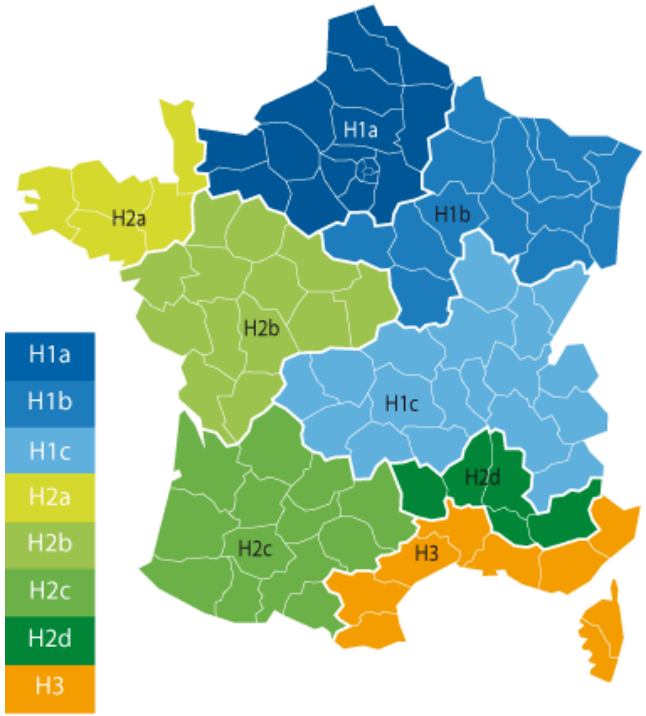
| | Gain sur le taux d'inconfort par rapport à l'état actuel | | Gain sur le taux d'inconfort par rapport à l'optimisation 2 | |
|---|---|---|---|---|
| | T1 Végétalisation Sud-Est | T2 Végétalisation Sud-Est + Nord-Ouest | T1 Végétalisation Sud-Est | T2 Végétalisation Sud-Est + Nord-Ouest |
| Accueil police | -9% | -20% | -5% | -17% |
| Accueil unique | -9% | -48% | -2% | -44% |
| Atelier technique | -21% | -28% | -21% | -28% |
| Bureau 1 | 0% | -9% | 0% | -9% |
| Bureau 2 | -71% | -72% | -63% | -65% |
| Bureau ccas | -16% | -67% | -2% | -61% |
| Bureau Police | 0% | -5% | 0% | -5% |
| Circulation | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Espace casier | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Local personnel | 0% | -67% | 0% | -67% |
| UNI 1 espace enfant | -22% | -43% | -20% | -42% |
| UNI 1 2 3 | -18% | -45% | -10% | -40% |
| UNI4 | -83% | -83% | -79% | -79% |




energys

# Quid de la RE2020 ?

- Simulation au pas de temps horaire des échanges du bâtiment
- Scénarios d'occupation et charges internes standards
- Fichier météo règlementaire (non représentatif du site)
- 1 seul indicateur → DH pas de sorties de températures/puissance au pas de temps horaires (impossible de connaitre le comportement du bâtiment)
- Zone regroupant plusieurs pièces et ne permettant pas de détecter une surchauffe dans une pièce.
- Modélisation des systèmes moins précise et parfois contrainte par les indicateurs règlementaire (ex: pas de modélisation du freecooling qui impacterait le CEP,nr)



# Comment intégrer le confort thermique à votre projet ?

**En rénovation:**

- Intégrer confort thermique à l'audit (et l'impact des scénarios de travaux sur le confort thermique)

**En neuf/rénovation**

- Intégrer compétence performance énergétique et environnementale Programme → APS à minima (possible jusqu'en phase exploitation)
- Privilégier les objectifs de résultat (% inconfort) et éviter de trop mixer avec des exigences de moyens (systèmes techniques, protection solaires ….)
- Phase candidature MOE: sélectionner des architectes et BE avec compétence environnementale. Idéalement des équipes avec un BE dédié qui se charge des mission STD/FLJ qualité environnementale.

energys

# Conclusion

- La gestion du confort thermique est un enjeu dans les bâtiments neuf et en rénovation dans un contexte de dérèglement climatique.
- Les conceptions architecturales et techniques doivent etre adaptées et permettent de se passer de climatisation
- La STD est un outil permettant de modéliser et optimiser la conception architecturale et technique d'un bâtiment
- Il s'agit d'un outil nécessitant les bonnes compétences !
- Le coût de ces missions est à mettre en perspectives du cout des travaux et potentiels désordres.

energys

# Merci

## DE VOTRE ATTENTION


**Simon LE BRUN**

**Ingénieur chef de projet**

Agence de Rennes

simon.lebrun@e-nergys.com
Tél : 07.76.75.15.52

**Antoine RENAUME**

**Responsable Régional Activité Conseil**

Antoine.renaume@e-nergys.com
Tél : 06.01.01.37.20


e'nergys