

FORMATION BATIMENT DURABLE

GESTION DES SURCHAUFFES ESTIVALES

PRINTEMPS 2024

Concevoir à l'aide d'une simulation dynamique



bruxelles
environnement
leefmilieu
brussel
.brussels

Pierre GUSTIN
écorce
INGÉNIERIE & CONSULTANCE



- ▶ Comprendre ce qu'est une simulation thermique dynamique
- ▶ Connaître ses usages et son fonctionnement
- ▶ Pouvoir participer à la définition des objectifs et à l'analyse des résultats
- ▶ Parcourir un exemple d'étude confort



DÉFINITION

USAGES

ETAPES ET POINTS D'ATTENTION

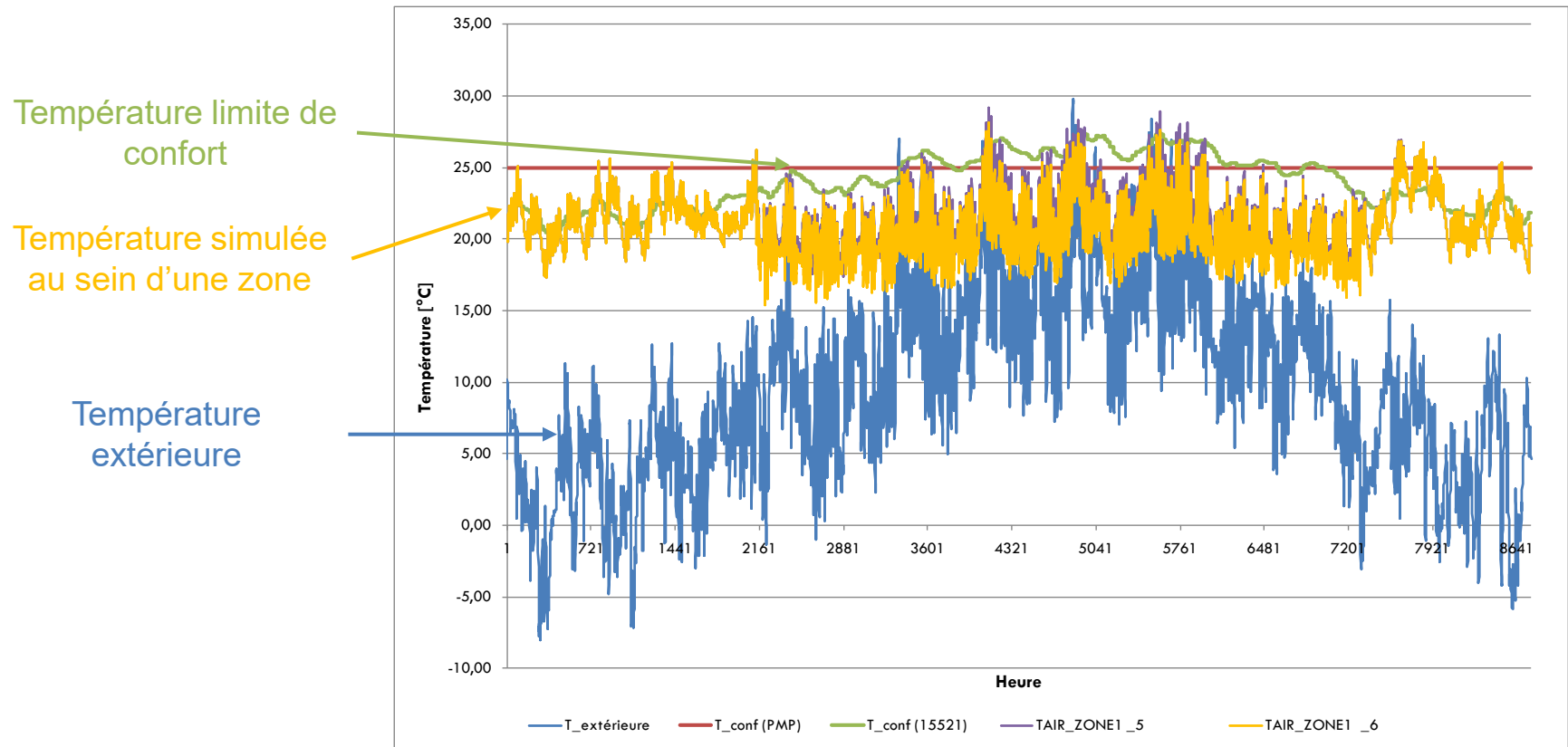
RÉPONSE AUX ATTENTES

EXEMPLE



Un simulation thermique dynamique

- Simule sur un pas de temps réduit le comportement thermique d'un bâtiment sur base d'un modèle numérique multizone de celui-ci.



Source : écorce



DÉFINITION

USAGES

ETAPES ET POINTS D'ATTENTION

RÉPONSE AUX ATTENTES

EXEMPLE



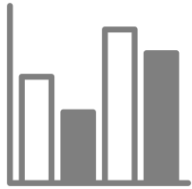
Usages principaux

► BILAN ENERGETIQUE

- Optimiser un bâtiment au niveau de l'enveloppe et des systèmes avec pour ambition de réduire sa consommation globale

• <> BILAN STATIQUE

- Les données et résultats ne sont pas lissés (spatialement ou temporellement)
- Permet de s'approcher des conditions d'utilisation réelles ≠ calcul statique standardisé/réglementaire (PHPP, PEB,...)





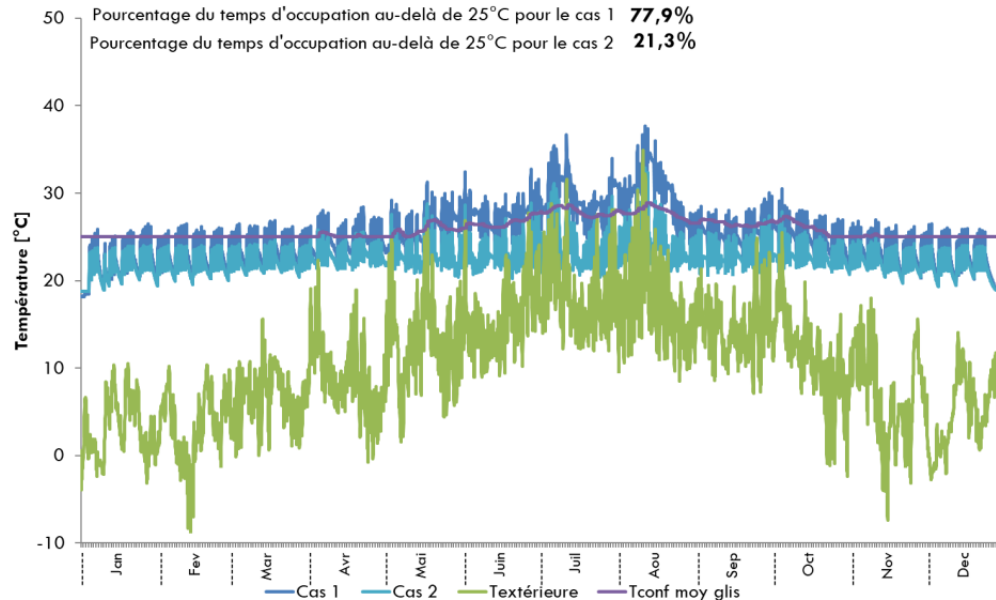
Usages principaux

► CONFORT

- Analyser les conditions de confort dans les locaux
- Dimensionner et vérifier l'efficacité de mesures passives de gestion de la surchauffe

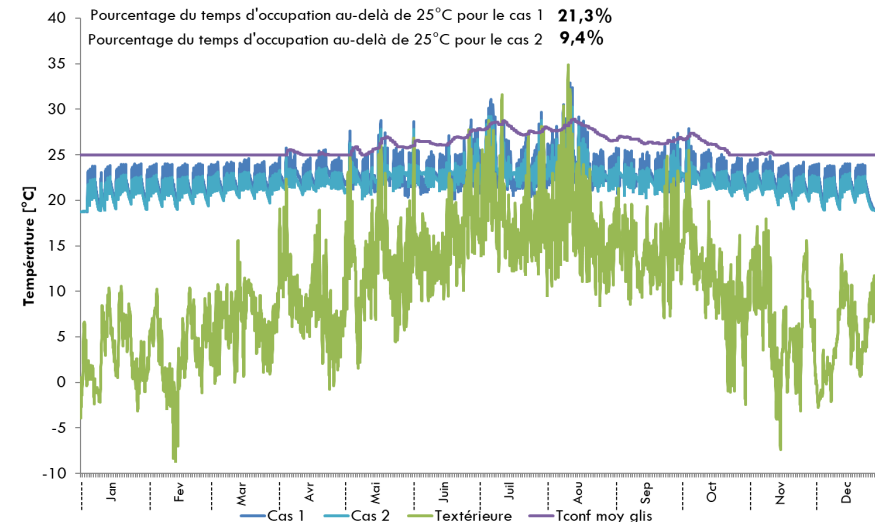
Cas1: BASE / Buanderie — Cas 2: VNAT / Buanderie

Pourcentage du temps d'occupation au-delà de 25°C pour le cas 1 **77,9%**
Pourcentage du temps d'occupation au-delà de 25°C pour le cas 2 **21,3%**



Cas1: VNAT / Buanderie — Cas 2: VNAT_NOCT / Buanderie

Pourcentage du temps d'occupation au-delà de 25°C pour le cas 1 **21,3%**
Pourcentage du temps d'occupation au-delà de 25°C pour le cas 2 **9,4%**

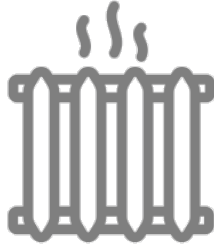


Source : écorce



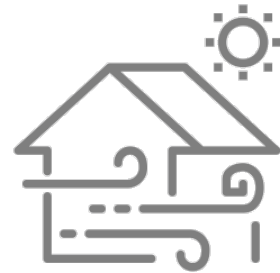
Usages principaux

- ▶ DIMENSIONNEMENT
 - Des puissances en chaud et en froid

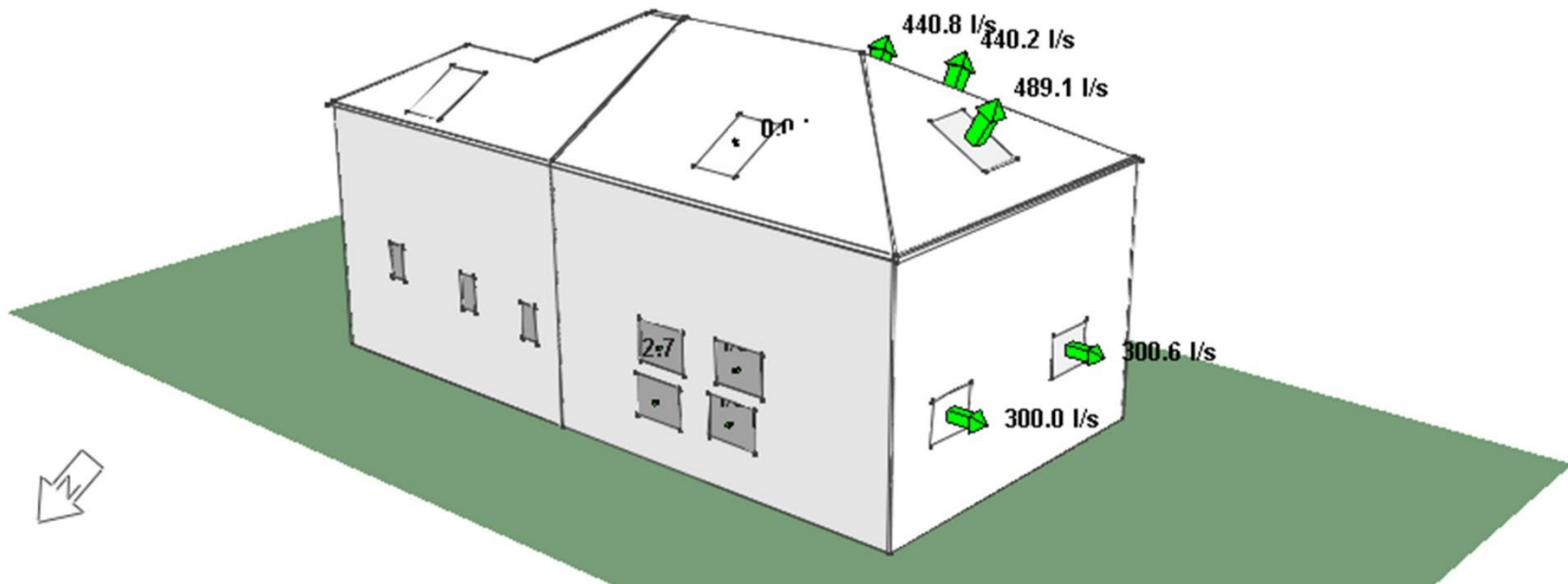


Usages autres (souvent via des modules optionnels)

- Ventilation naturelle : permet d'estimer les débits transitant entre et dans les différentes zones en fonction du type d'ouvertures et des conditions de vent



⇒ Une zone = 1 nœud



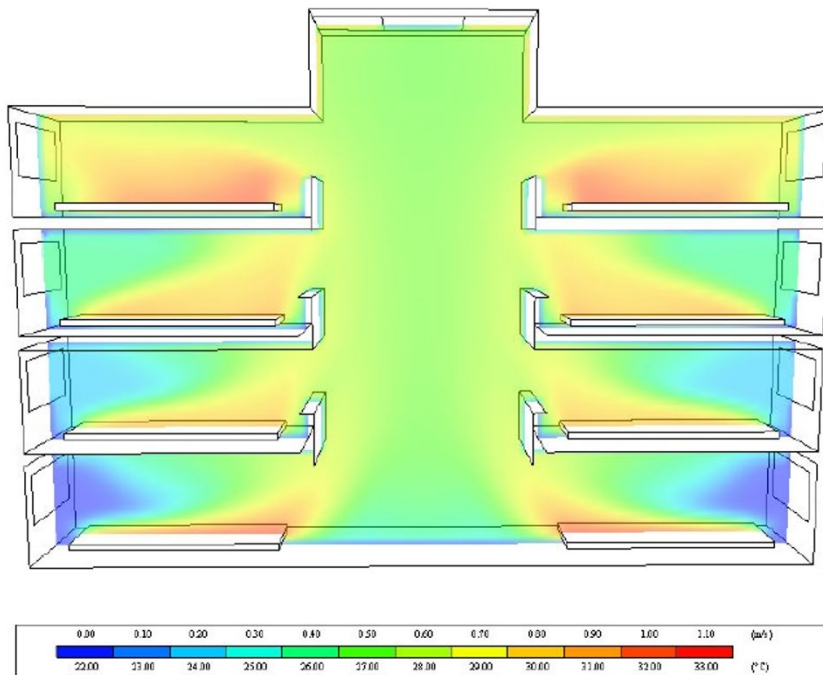
Source : IES VE



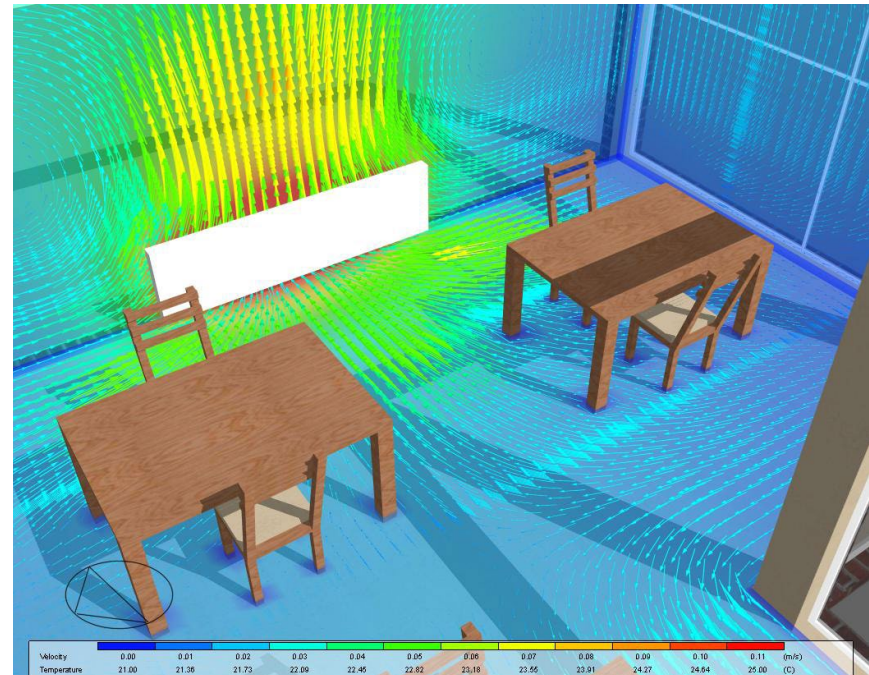
Usages autres (souvent via des modules optionnels)

- CFD : permet d'analyser finement les flux d'air (vitesse et température) à l'intérieur d'une zone grâce à une simulation à éléments finis

⇒ Une zone = un grand nombre de nœuds



Source : IES VE

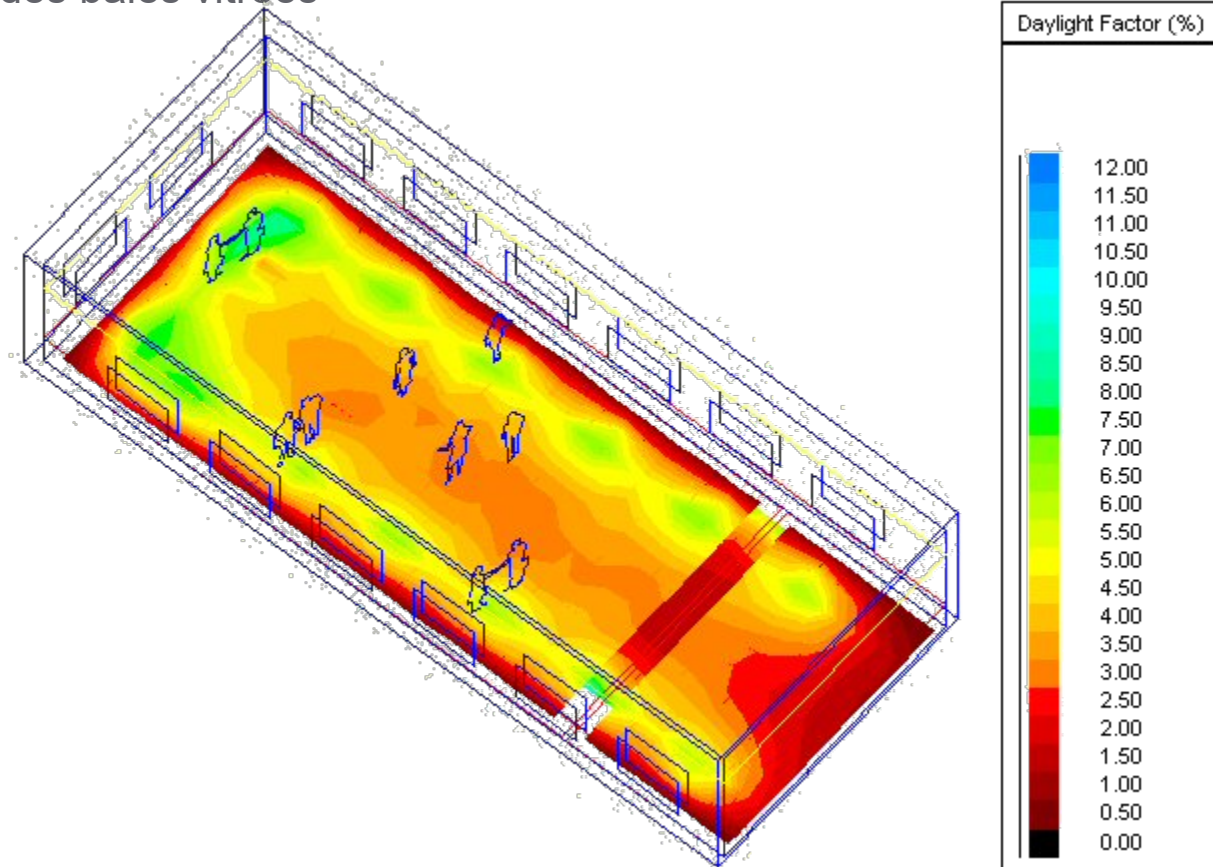


Source : DesignBuilder

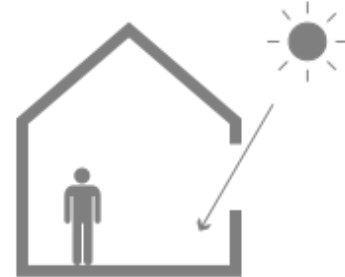


Usages autres (souvent via des modules optionnels)

- Eclairage naturel : permet d'estimer la qualité de l'éclairage naturel (facteur de lumière jour, etc.) en fonction de la géométrie d'un local et des baies vitrées



Source : IES VE



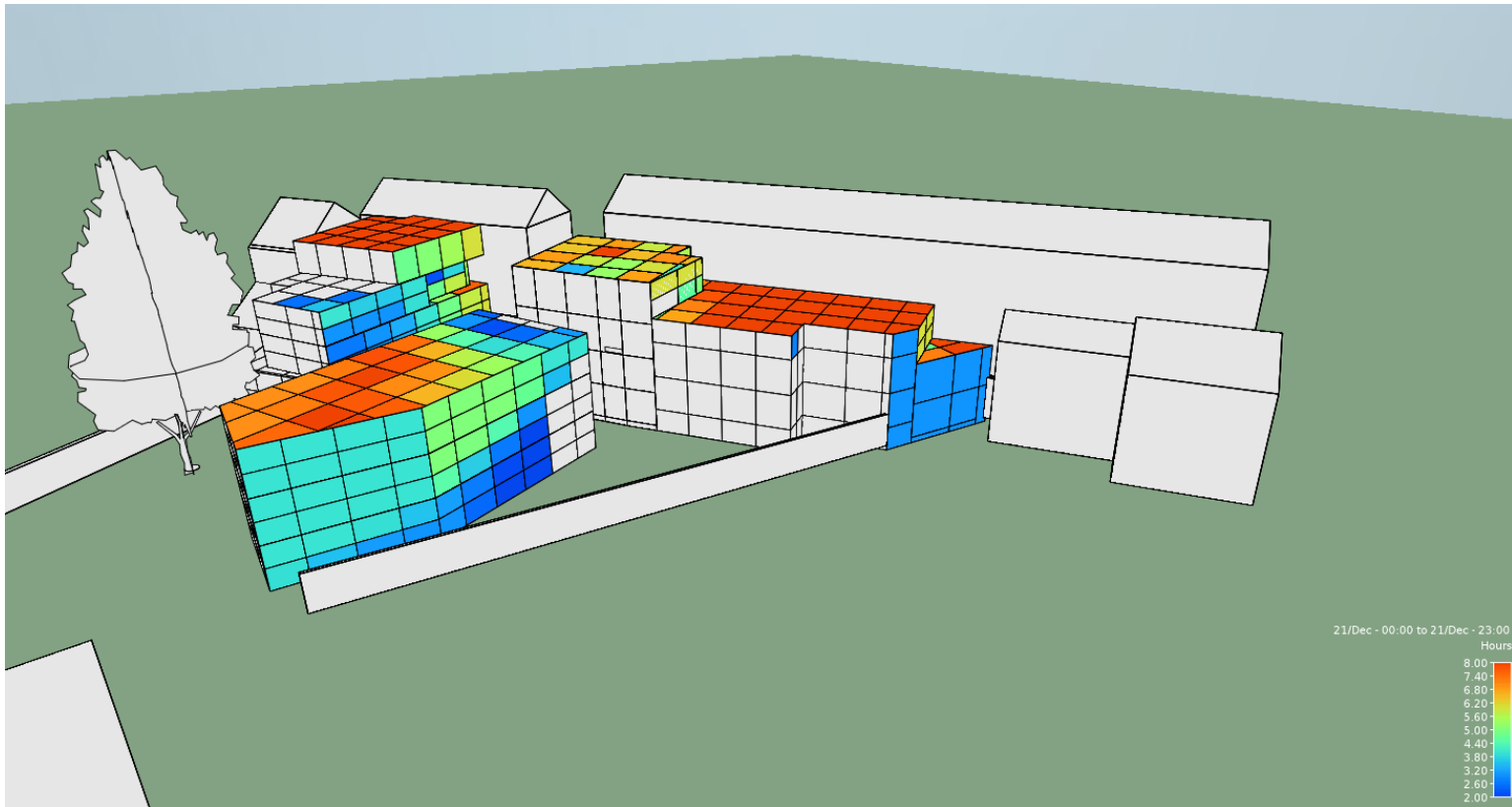
Usages autres (souvent via des modules optionnels)

- Eclairage artificiel : permet de concevoir et d'optimiser une installation d'éclairage artificiel



Usages autres (souvent via des modules optionnels)

- Analyses solaires : permet de définir l'ensoleillement sur des surfaces extérieures afin d'aider à la conception de protections solaires, de définir les surfaces les plus exposées pour des panneaux solaires, etc.



Source : écorce (IES VE)



DÉFINITION

USAGES

ETAPES ET POINTS D'ATTENTION

RÉPONSE AUX ATTENTES

EXEMPLE



Les étapes principales

- ▶ Définition des objectifs de l'étude
- ▶ Définition
 - des scénarios d'étude
 - des données techniques du bâtiment
 - des zones à étudier (zonage)
 - des scénarios d'occupation et d'activité
- ▶ Encodage et simulations
- ▶ Analyse des résultats

⇒ **Atteinte des objectifs ? Sinon**



Etudes de variantes



Définition des objectifs de l'étude

- ▶ Optimisation des consommations, confort, dimensionnement ?
- ▶ En fonction de l'objectif, l'encodage sera différent, notamment
 - La taille et le nombre des zones
 - L'étendue de l'étude (bâtiment complet ou seulement une partie)
 - Précision des données encodées
 - Données climatiques utilisées
 - Vision sécuritaire par rapport aux données encodées
 - ...



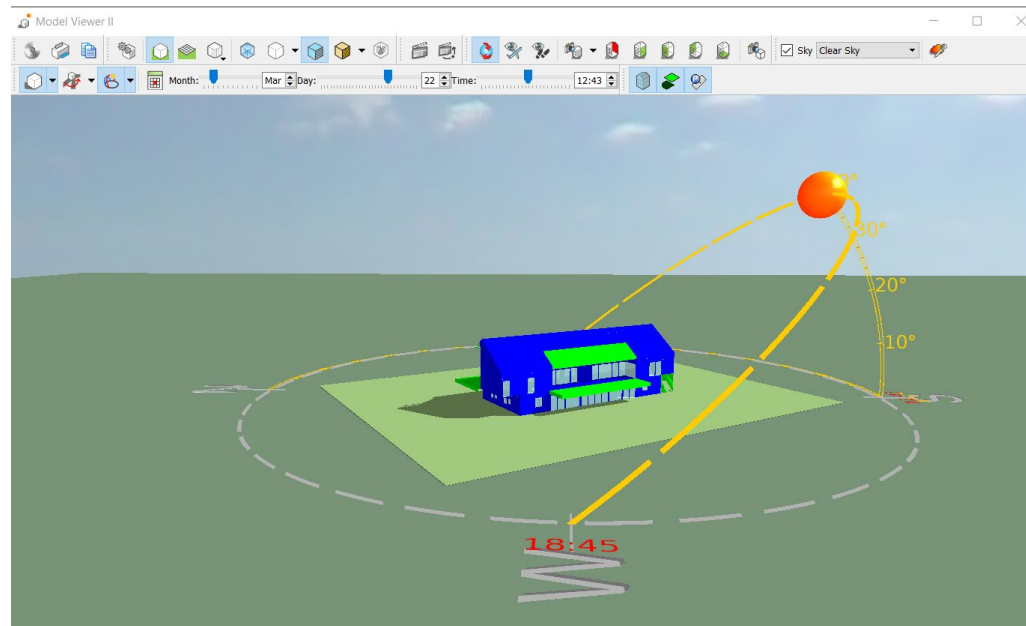
Définition des scénarios d'étude

- ▶ Quels sont les scénarios à étudier ?
- ▶ Comment cibler les simulations nécessaires ?
 - ⇒ Encoder, simuler et analyser les résultats prend beaucoup de temps, il convient de bien cadrer l'étude pour ne pas se perdre.



Définition des données techniques du bâtiment

- ▶ Volumétrie
 - ▶ Composition détaillée des parois (yc épaisseur, λ , capacité calorifique),
 - ▶ Compositions des fenêtres (yc U_g , facteur solaire et transmission lumineuse)
 - ▶ Protections solaires (fixes ou mobiles) et mode de régulation
- ⇒ L'encodage nécessite beaucoup de données et implique souvent de prendre des hypothèses
- ⇒ Parfois les données sont des variables d'optimisation



Source : écorce (IES VE)



Définition des données techniques du bâtiment

► Exemples d'encodages

System Construction (Opaque: Roof)

Description: ID:

Performance:

U-value: W/m²·K Thickness: mm Thermal mass Cm: kJ/(m²·K)

Total R-value: m²K/W Mass: kg/m² Mediumweight

Surfaces **Regulations** **RadianceIES**

Outside Emissivity: Resistance (m²K/W): ☒ Default Solar Absorptance:

Inside Emissivity: Resistance (m²K/W): ☒ Default Solar Absorptance:

Construction Layers (Outside To Inside)

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m³	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m²K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)	Category
[BASEAMR1] ASPHALT MASTIC ROOFING	30.0	1.1500	2325.0	837.0	0.0261	31000.000	Asphalts & Other Roofing
[BASEPB02] POLYURETHANE BOARD	100.0	0.0250	30.0	1400.0	4.0000	550.000	Insulating Materials
[BASECM02] CAST CONCRETE (MEDIUM WEIGHT BS EN 1745)	100.0	1.4000	1900.0	1000.0	0.0714	60.000	Concretes
[BASEPLD1] PLASTER (DENSE)	3.0	0.5000	1300.0	1000.0	0.0060	50.000	Plaster

Condensation Analysis... Derived Parameters... OK Cancel

External Shading Device

Type of external shading device: ☐ None ☒ Shutter ☐ Louvre

Control

Operation profile:

☐ Continuously variable

Condition to lower device: ☒ Metric

Condition to raise device: ☒ IP

Nighttime resistance: m²K/W Typically between 0.00 and 2.50

Daytime resistance: m²K/W Typically between 0.00 and 2.50

Ground diffuse transmission factor: ☒ Calculate Typically between 0 and 1

Sky diffuse transmission factor: ☒ Calculate Typically between 0 and 1

Transmission Factors at 15 degree increments (values in range 0.00 - 1.00)

0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

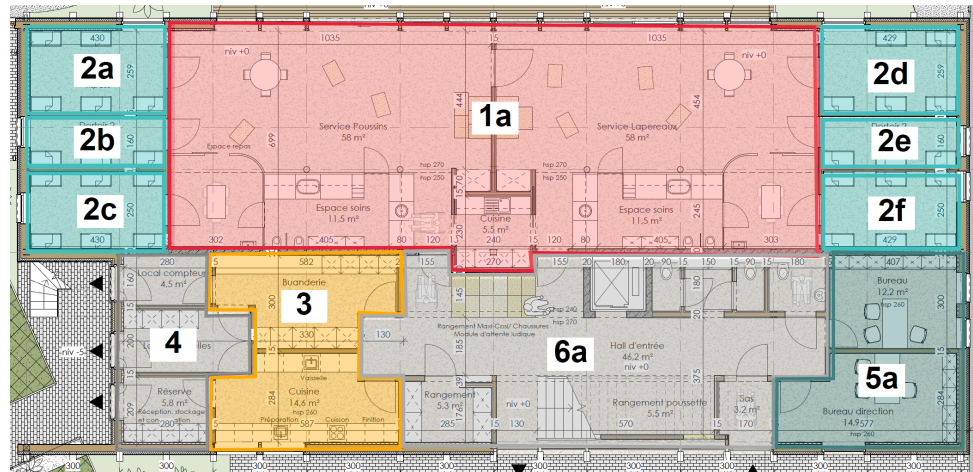
OK Cancel

Source : écorce (IES VE)



Définition des zones à étudier (zonage)

- ▶ Une zone correspond à un nœud, pour chaque nœud,
 - il est possible d'encoder un seul usage,
 - la simulation donne des conditions ambiantes pour un seul point.
- ▶ La **règle de base** est de séparer l'espace en zones homogènes en fonction :
 - De l'usage : une zone correspond à un seul type d'usage (bureau, réfectoire, sanitaire,...)
 - De la géométrie : une zone correspond à un volume continu
 - De l'exposition aux conditions climatiques (orientation, mitoyenneté)



Source : écorce (IES VE)



Définition des zones à étudier (zonage)

- ▶ Dépend de l'objectif de l'étude
 - **Confort** : si l'étude est le confort il convient d'avoir des zones très homogènes afin de ne pas « diluer » le risque et avoir des données de simulation représentatives
 - ⇒ Par exemple, on ne va pas combiner 2 bureaux mitoyens avec des baies orientées à 180° car le confort mesuré correspondrait à la tendance moyenne des deux locaux.

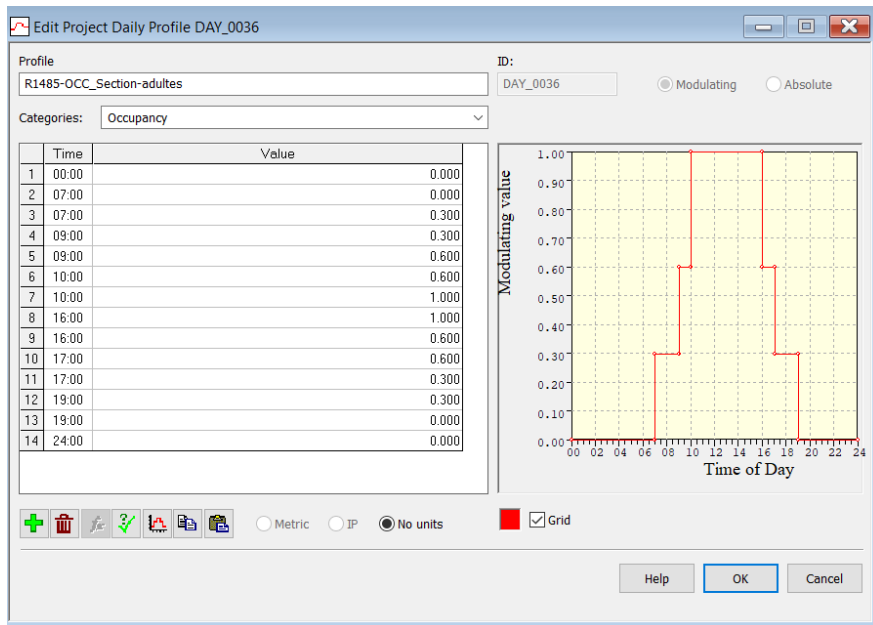
On peut aussi se contenter de se concentrer uniquement sur certaines zones spécifiques, jugées à risque

- **Besoin** : les zones peuvent englober des espaces un peu plus hétérogènes car les conditions d'ambiance peuvent être lissées sans grand impact sur les besoins



Définition des scénarios d'occupation et d'activité

- Occupation : nombre d'occupants, type d'occupation
- Eclairage : puissance, horaire
- Ventilation mécanique et naturelle : débits et température de l'air
- Charges internes (bureautique, équipement de cuisine,...) : puissance, horaire
- Systèmes de chauffage et refroidissement envisagé



General Room Void RA Plenum SA Plenum

Template BuildingAreaTypeDefaultOffice

MacroFlo

Thermal

LightPro

Radiance

System Space Conditions Internal Gains Air Exchanges Comfort

Type Reference

People Sections-adultes

People Section-enfants

Fluorescent Lighting ECL-Sections 500 lux

Machinery Frigo

Machinery Micro ondes

Type People

Reference Sections-adultes

Diversity factor

Maximum Sensible Gain 100.00 W/person

Maximum Latent Gain 70.00 W/person

Occupant Density 7.00 People

Variation Profile R1485-OCC_Section-adultes

System Space Conditions Internal Gains Air Exchanges Comfort

Type Reference

People Sections-adultes

People Section-enfants

Fluorescent Lighting ECL-Sections 500 lux

Machinery Frigo

Machinery Micro ondes

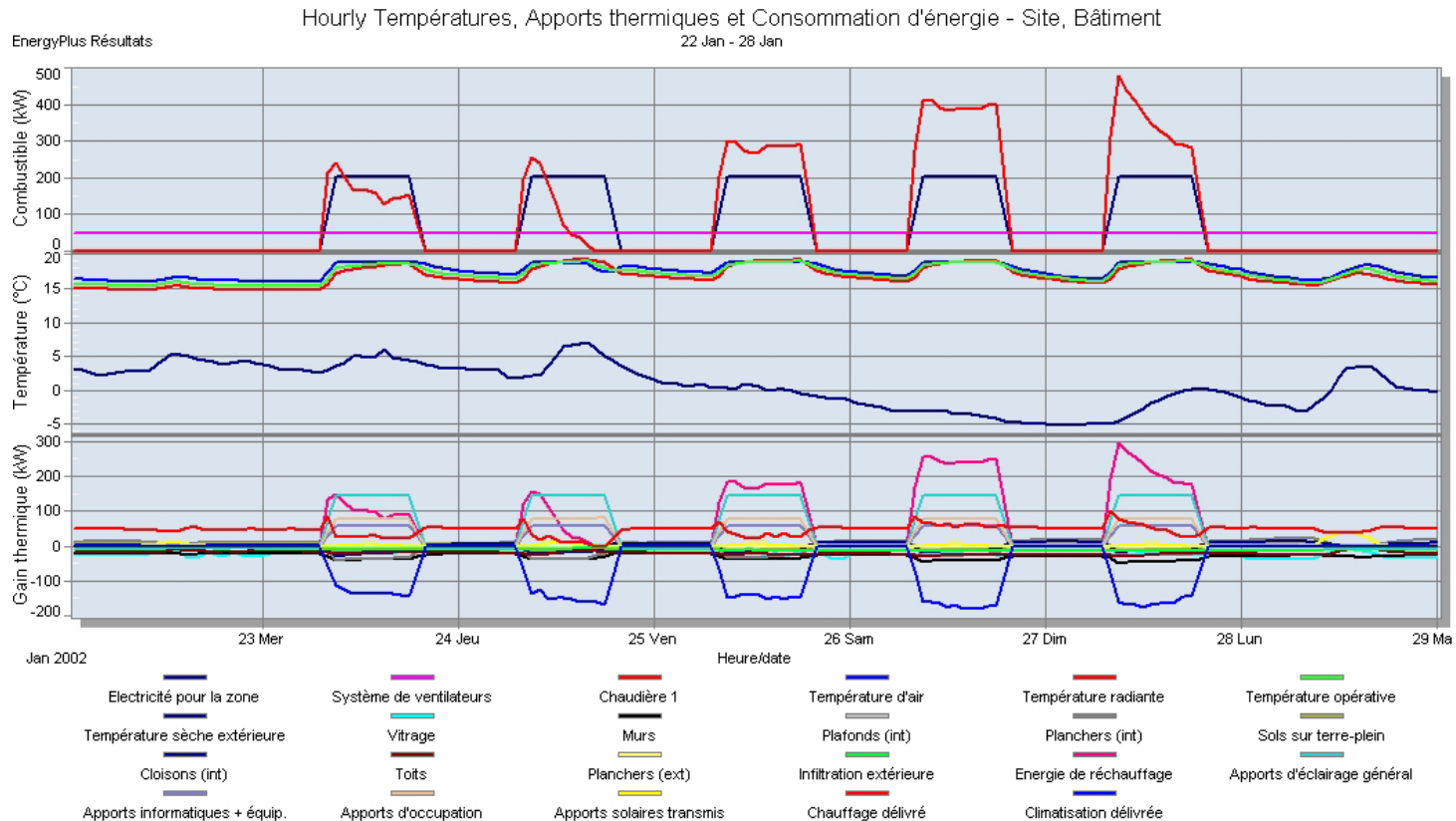
Type People

Source : écorce (IES VE)



Analyse des résultats

- Bilan thermique, consommations, températures et humidité relatives, débits d'air,...

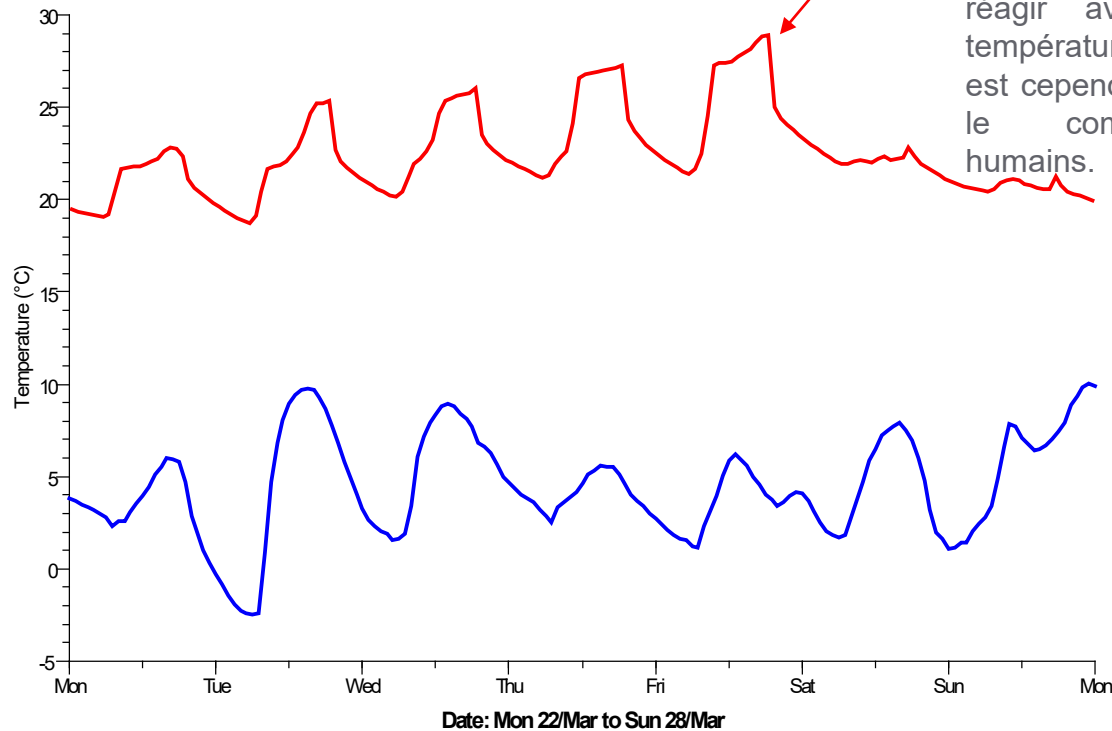


Source : écorce (IES VE)



Analyse des résultats

- Point d'attention
 - Rester critique par rapport aux résultats
 - ...



Est-il réaliste d'obtenir 29°C dans un zone en mi-saison alors qu'il fait moins de 10°C dehors ?

>> En réalité, les occupants vont réagir avant que de telles températures soient atteintes. Il est cependant difficile de simuler le comportement d'êtres humains.

— Operative temperature (TM 52/CBSE): NIV0-1a-Sections (R1485-BASE_1.aps)
— Dry-bulb temperature: (BEAUFAYS_tmy_50.566_5.631_2005_2020.epw)

Source : écorce (IES VE), étude d'une crèche



DÉFINITION

USAGES

ETAPES ET POINTS D'ATTENTION

RÉPONSE AUX ATTENTES

EXEMPLE



La simulation dynamique...

... toujours une bonne idée ?

- ▶ Peut-on simuler quelque chose d'aussi imprévisible que le climat, le comportement des gens, l'usage d'un bâtiment ?
- ▶ Est-ce qu'un modèle à la fois complexe mais largement simplifié peut mener à des conclusions exploitables ?

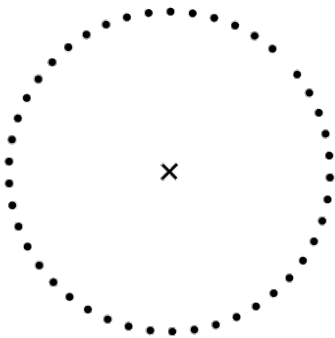


La simulation dynamique...

... toujours une bonne idée ?

- Faut-il multiplier les cas d'étude en variant les données et hypothèses pour mieux s'approcher de la réalité ?

⇒ **La méthode pointilliste**



*peut-être systématisée,
demande peu de réflexion,
mais beaucoup de temps, de gaspillage*

⇒ Quelle est la limite ? A partir de quand a-t-on simulé assez de cas ?

Source : incub.net

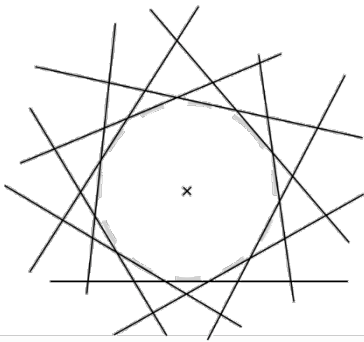


La simulation dynamique...

... toujours une bonne idée ?

- Comment agir de manière plus ciblée ?

⇒ La méthode des tangentes



Un nombre de cas d'étude limité mais bien pensés permet de s'approcher plus rapidement d'une solution

On se concentre sur les cas limites, ceux qui commencent à poser problème, ainsi tous les cas contenus dans ces limites seront acceptables.

La démarche est orientée « problème » pour mieux mettre en avant les « solutions ».

- ⇒ Le travail de l'ingénieur est de définir ces cas limites, ce qui demande une certaine implication intellectuelle

Source : incub.net



La simulation dynamique...

... toujours une bonne idée ?

- La solution est-elle réaliste ?

⇒ **Viser la robustesse**

Une vision réaliste est de considérer que les conditions nominales ne sont pas la norme (la panne d'un moteur de protection solaire, un usager qui n'ouvre pas sa fenêtre).

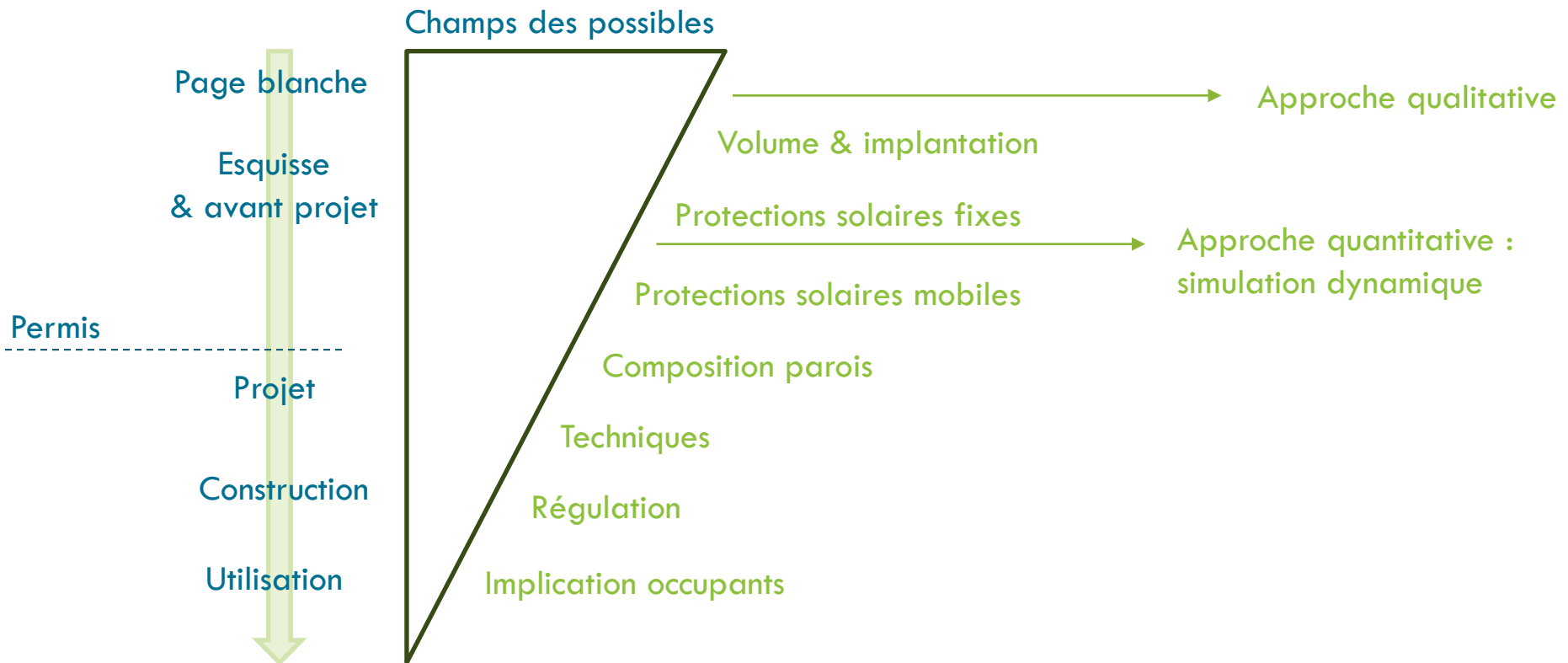
Envisager les imprévus, l'imperfection des comportements

- ⇒ « Une conception énergétique « réaliste » consiste à voir quels facteurs de conception (architecturale, technique ET organisationnelle) permettent de limiter le risque si jamais l'une de ces situations survenait. »

Source : incub.net



Temporalité



Temporalité

- ▶ Faire une étude dynamique sur un bâtiment initialement mal conçu n'apportera aucune solution durable et fera perdre beaucoup d'argent.
 - ⇒ Réfléchir à la conception du bâtiment dès le stade de l'esquisse, en utilisant son bon sens, ou des outils simples.
 - ⇒ La simulation dynamique vient alors en appui afin de peaufiner les dimensionnements et valider l'atteinte des objectifs (confort, consommation,...)



DÉFINITION

USAGES

ETAPES ET POINTS D'ATTENTION

RÉPONSE AUX ATTENTES

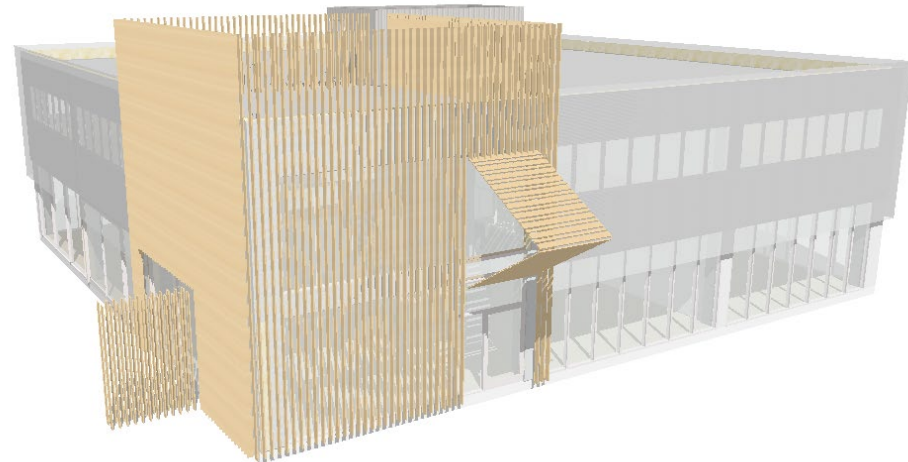
EXEMPLE



PRÉSENTATION DU PROJET

Le Cube

- ▶ Rénovation d'un bâtiment des années 1980 en vue d'y créer un incubateur d'idées et de projets
- ▶ Espace bureaux, coworking (2), espace cafétéria et espaces polyvalents (atelier, agora)
- ▶ Structure béton, nouvel habillage des façades en ossature bois
- ▶ Mur rideau en alternance plein/vitré au rez
- ▶ Double peau en métal perforé à l'étage



Evaluation du confort si rafraichissement passif

- Température de confort adaptative

$$t^{\circ}_{\text{intérieure}} < t^{\circ}_{\text{glissante}} \text{ (Norme NBN EN 15251)}$$

Evaluation du confort si refroidissement actif

- Certification passive tertiaire ($SRE > 500 \text{ m}^2$): La température intérieure doit être comprise entre 20 et 26°C et ne doit pas sortir de ces balises pendant plus de 5% du temps d'occupation.

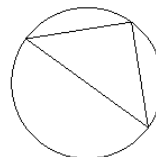
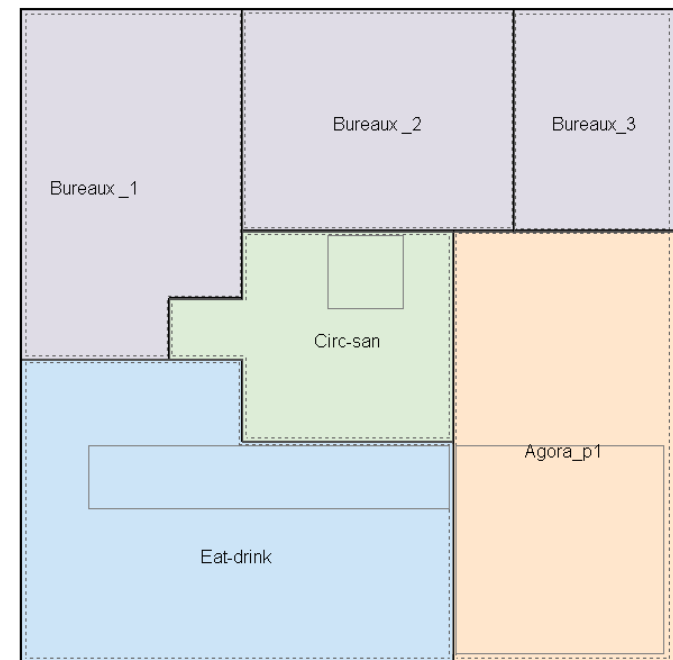


Zonage R0

- ▶ 6 zones distinctes où sont analysées les conditions de confort
- ▶ 4 profils où sont définis un taux d'occupation, une densité d'éclairage, un horaire de fonctionnement, une température de consigne,...

PROFILS

	Sanitaires-circulations
	Espaces polyvalents
	Eat & drink
	Bureaux

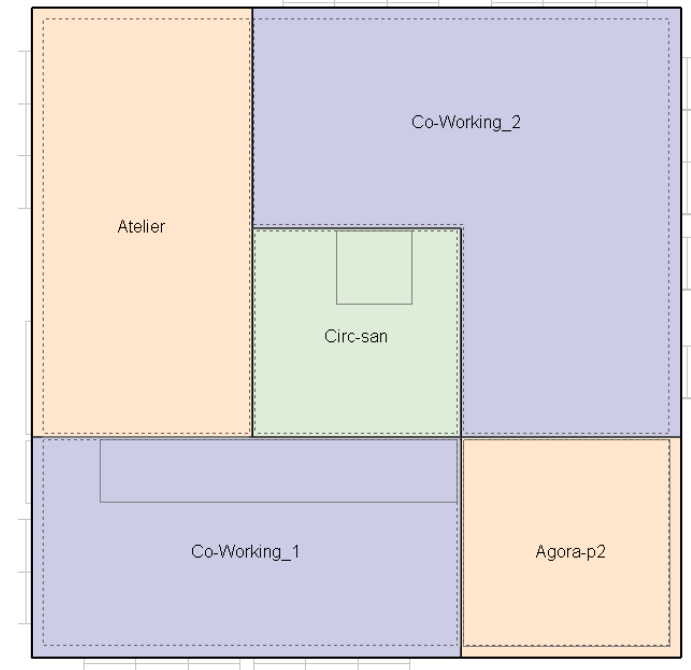


Zonage R+1

- ▶ 5 zones
- ▶ 3 profils d'occupation

PROFILS

	Sanitaires-circulations
	Coworking
	Espaces polyvalents



Profil « Bureaux »

► Lundi-Vendredi

		Valeur 1	de...	à...	Ralenti
Chauffage [°C]		20	8	18	16
Refroidissement [°C]		25	8	18	25
Occupation [m²/personnes]		12,5	8	18	0
Ventilation [m³/h.pers]		40	8	18	0
Eclairage [W/m²]		6	8	18	0
Autre charges, total [W/m²]		6,1	8	18	0,6
- ordinateurs portables + écran [nomb.	70	1	8	18	
- imprimantes [nombre] (30 W/pc..)	30	1	8	18	
- photocopieurs [nombre] (30 W/pc..)	30	1	8	18	

► Samedi-dimanche: /



REZ



Profil « Cafétéria »

► Lundi-Vendredi



REZ

	Valeur 1	de...	à...	Valeur 2	de...	à...	Valeur 3	de...	à...	Ralenti
Chauffage [°C]	20	8	22							16
Refroidissement [°C]	25	8	22	28	22	8				28
Occupation [personnes]	4	8	18	16	12	14	5,9	18	22	0
	25%			100%			37%			0%
Ventilation [m³/h.pers]	22	8	22							0
Eclairage [W/m²]	6	8	22							0
Autre charges, total [W/m²]	1	8	18							0
- ordinateurs portables [nombre/pers]	1	8	18							0

► Samedi

	Valeur 1	de...	à...	Ralenti
Chauffage [°C]	20	9	18	16
Refroidissement [°C]	25	9	18	28
Occupation [personnes]	5,9	9	18	0
	37%			0%
Ventilation [m³/h.pers]	22	9	18	
Eclairage [W/m²]	6	9	18	
Autre charges, total [W/m²]	2	9	18	
- ordinateurs portables [nombre/pers]	1	9	18	



CAS DE BASE – HYPOTHÈSES

Enveloppe

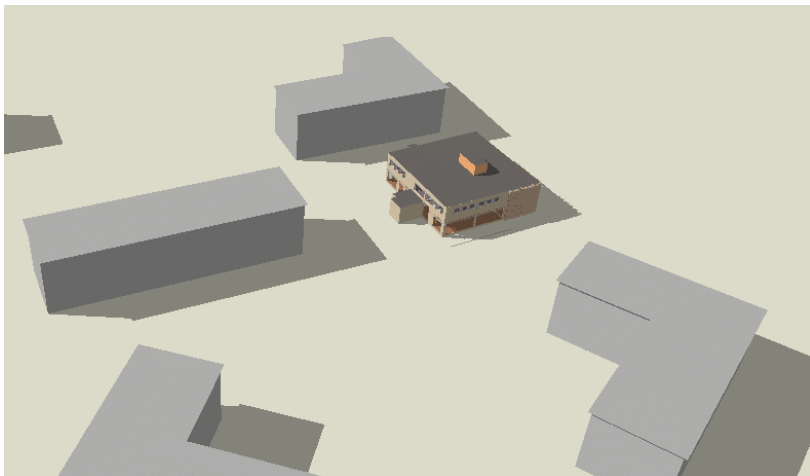
- ▶ Enveloppe « passive »
- ▶ Protections solaires au niveau +1
- ▶ Pas de protections solaires au rez

Systèmes

- ▶ Ventilation double flux avec récupération de chaleur $\eta = 80\%$
- ▶ Pas d'installation de froid actif
- ▶ Pas de nightcooling
- ▶ ouverture des fenêtres en journée



CAS DE BASE – HYPOTHÈSES



Vue du site



Angle Sud | 21/06 à 12h



Angle Ouest | 21/06 à 16h

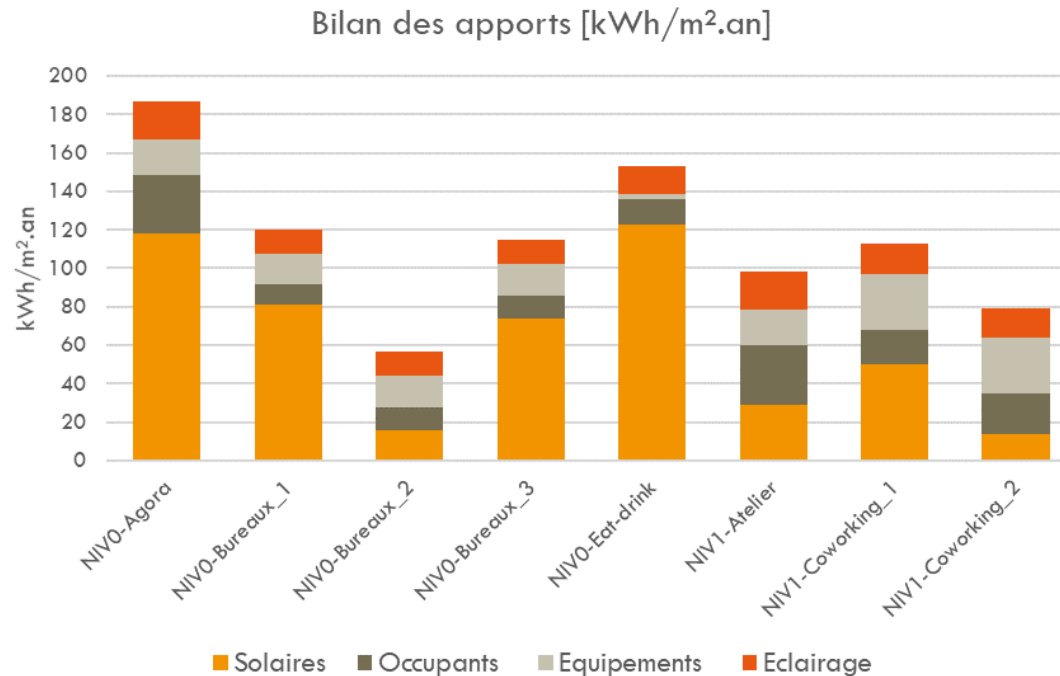


Angle Est | 21/06 à 10h

➔ Maquette utilisée dans le logiciel de simulation



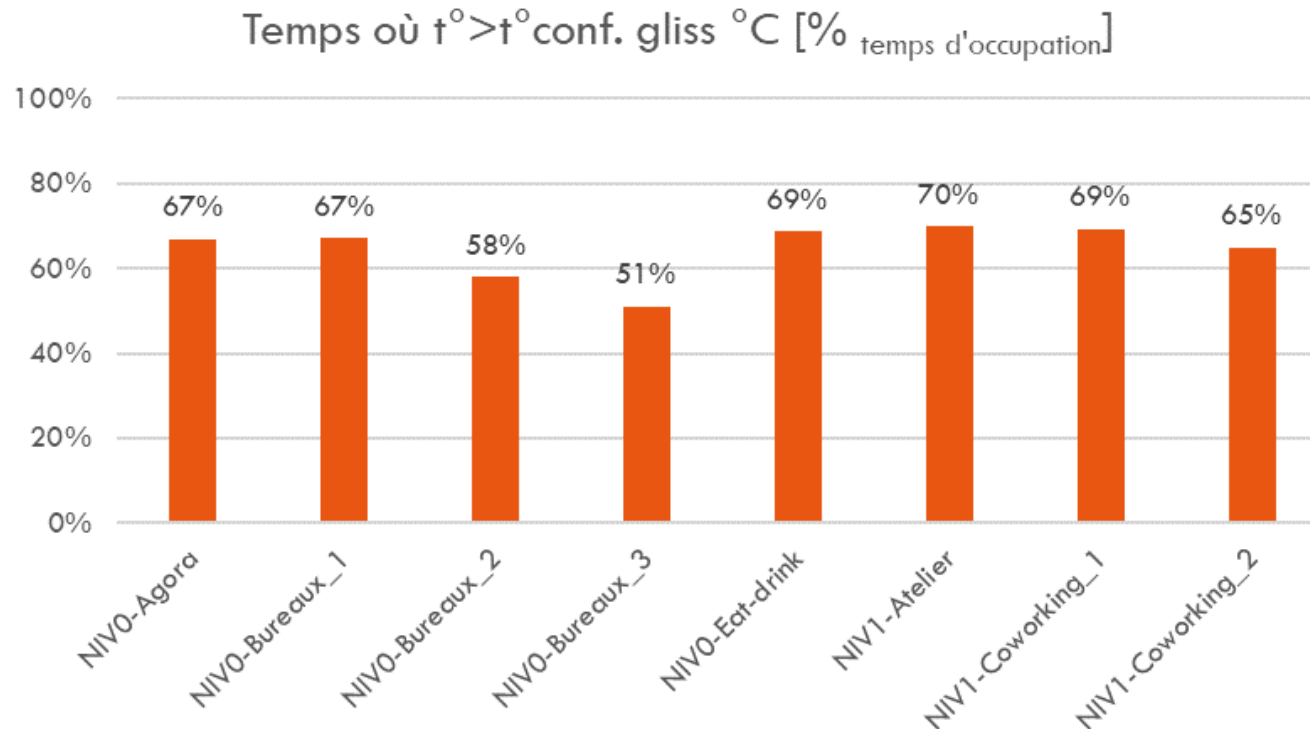
Apports solaires et internes



- Apports solaires importants au rez-de-chaussée, d'autant plus dans les espaces destinés à recevoir le public
 - ⇒ grande exposition à la surchauffe
- Les bureaux 1 et 3 sont fort exposés également



Confort



- Le confort estival est loin d'être atteint; le bâtiment est en surchauffe +/- 60-70% du temps d'occupation.



Etude de 4 propositions d'amélioration

Les mesures prises sont cumulatives.

- ▶ Dispositifs « passifs » (demandant pas ou peu d'énergie)
 - AM1 – Enveloppe
 - AM2 – Ventilation nocturne « nightcooling »
 - AM3 – Eclairage
- ▶ Dispositifs « actifs » (consommateurs en énergie)
 - AM4 – Systèmes – Refroidissement actif



Objectifs

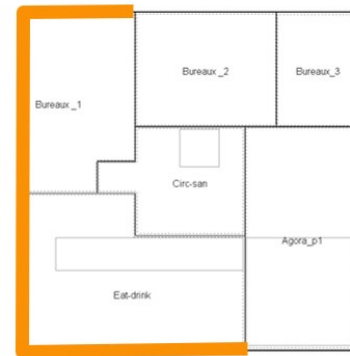
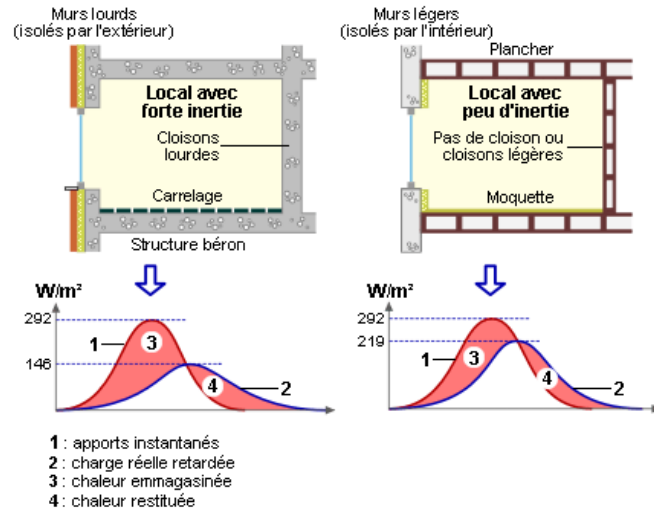
- ▶ Augmentation de l'inertie thermique en modifiant les compositions de dalles et les façades (matériaux de finition plus lourds)
- ▶ Gestion et réduction des apports solaires estivaux excédentaires via
 - Protections solaires extérieures mobiles
 - Vitrage à contrôle solaire

Source: énergie+

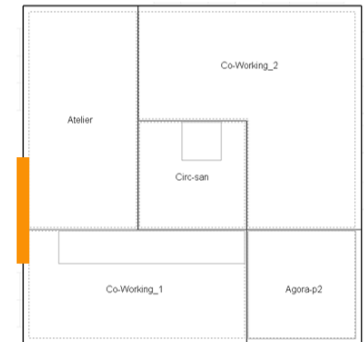


Dispositifs

- Enveloppe = base
 - + Ajout d'inertie : chape humide (vs chape sèche), finitions plus lourdes
 - + Vitrage solaires (g=0,35) par endroit : Cafétéria, Agora et en partie dans atelier
 - + Protections solaires de type stores extérieurs à lamelles au rez-de-chaussée (excepté si vitrage solaire)



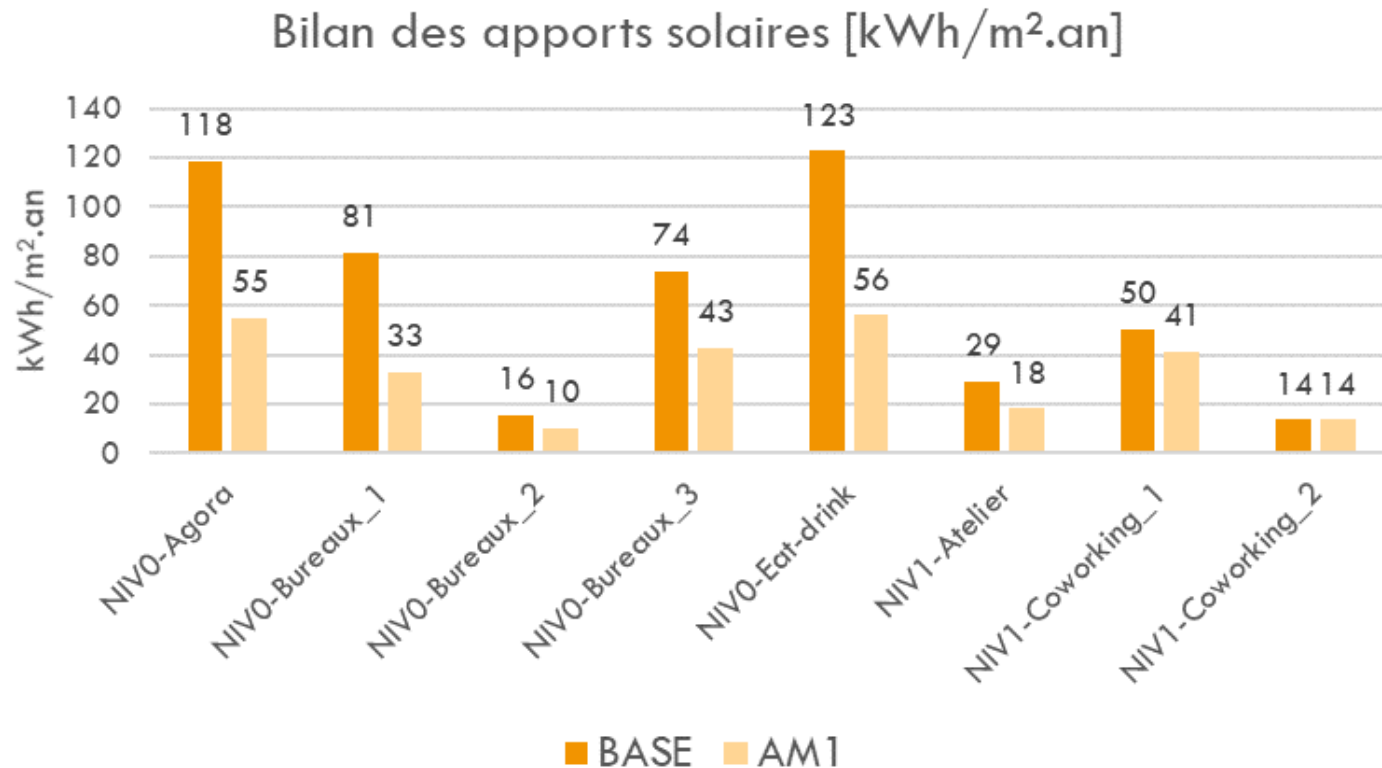
REZ



NIV1



Impact sur les apports solaires

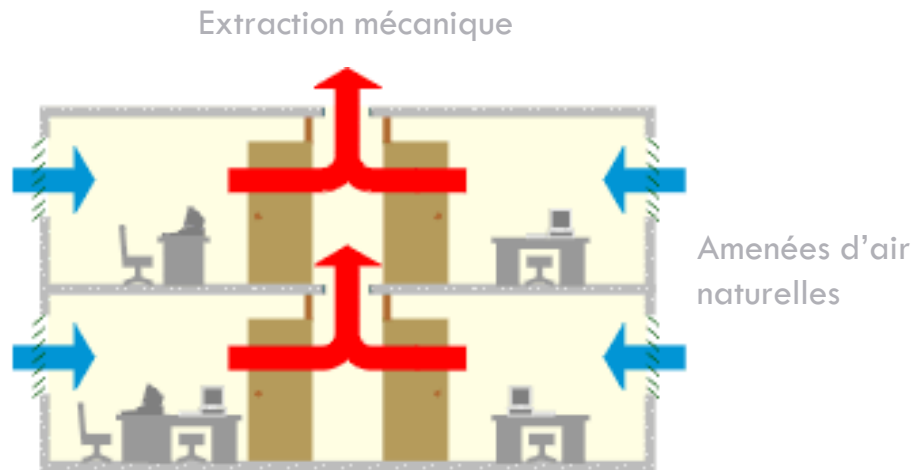


⇒ Les apports solaires sont divisés par 2 au rez-de-chaussée mais la mesure est insuffisante pour assurer le confort



Objectif

- ▶ Ventiler naturellement de manière intensive la nuit afin de « décharger » le bâtiment en cassant son effet thermo.
- ▶ Ventiler via effet cheminée, accentué par un extracteur mécanique en toiture.



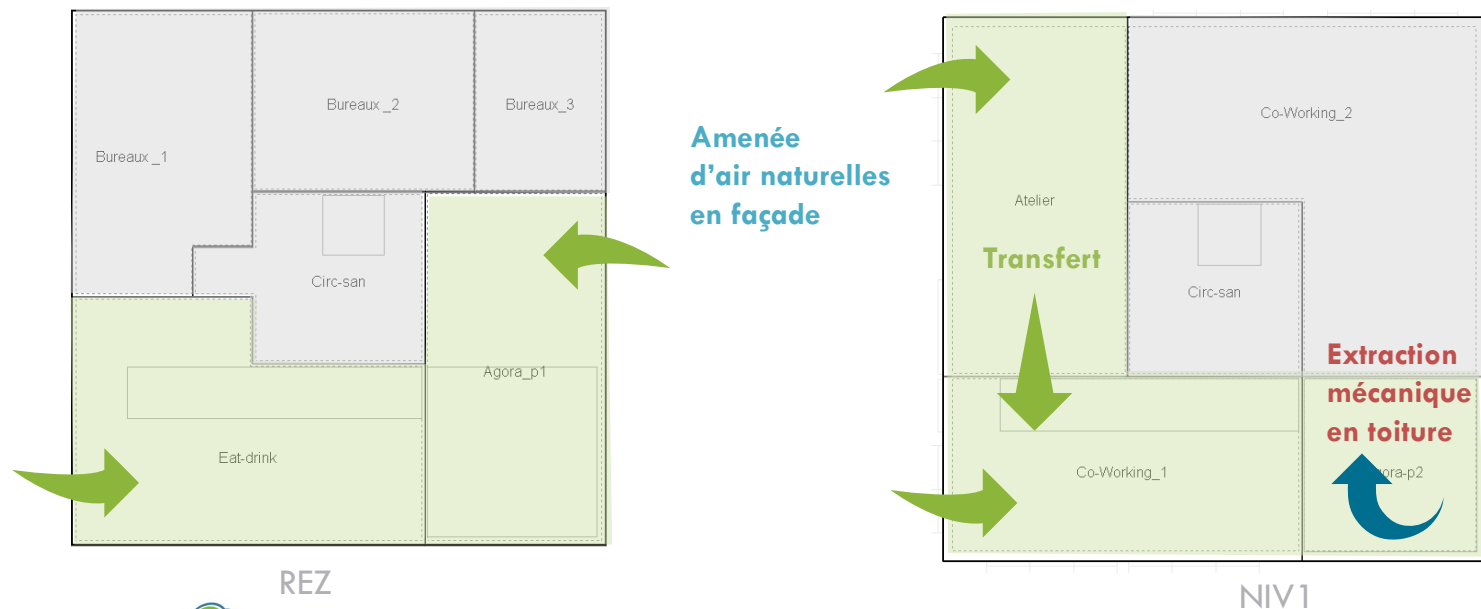
Sécurisation anti-effraction

Source: énergie+

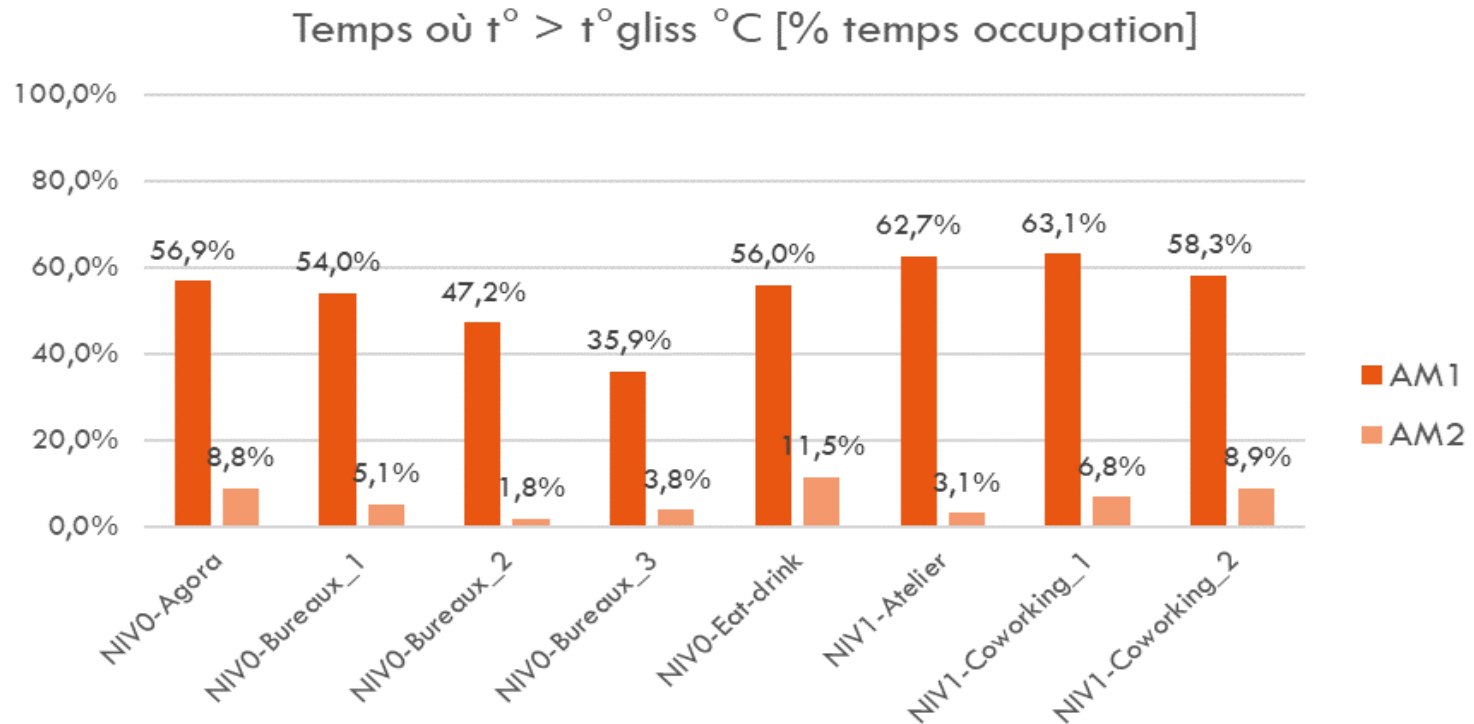


Dispositifs

- ▶ Enveloppe = AM1
- ▶ Systèmes = AM1
 - + Ajout d'un **nightcooling hybride** dans les espaces polyvalents
 - Amenées d'air naturelles dans: Cafétéria, agora, atelier, coworking 1
 - Extracteur mécanique au-dessus de l'agora
 - Renouvellement d'air de 5 vol/h → débit = 7500 m³/h
 - + Ajout d'un **nightcooling mécanique** via réseau de ventilation hygiénique dans les autres locaux.



Impact sur le confort estival



⇒ Le dispositif « nightcooling » est très efficace sur la réduction du temps de surchauffe. Le confort estival est presque atteint à certains endroits.



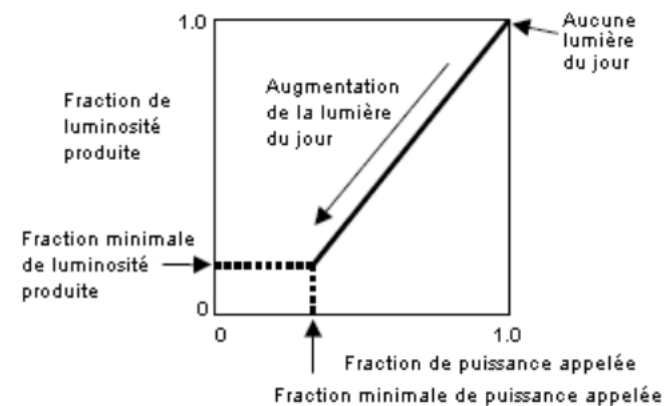
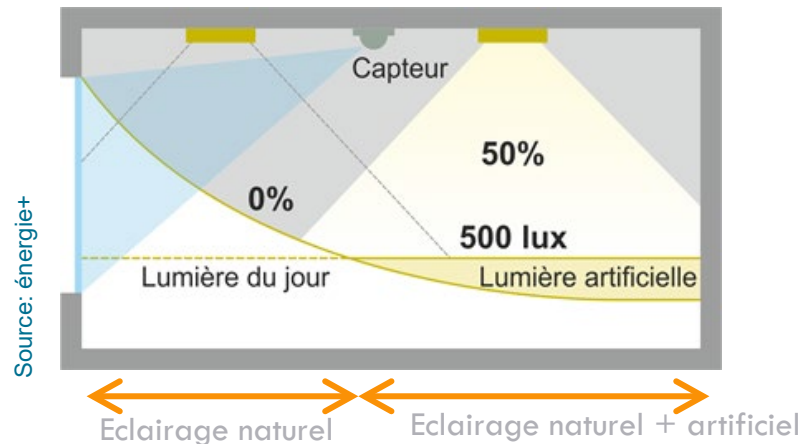
Objectif

- ▶ Réduire les apports internes liés à l'éclairage artificiel
- ▶ Diminuer les consommations électriques liées à l'éclairage artificiel

⇒ Tout en gardant un confort visuel égal!

Dispositifs

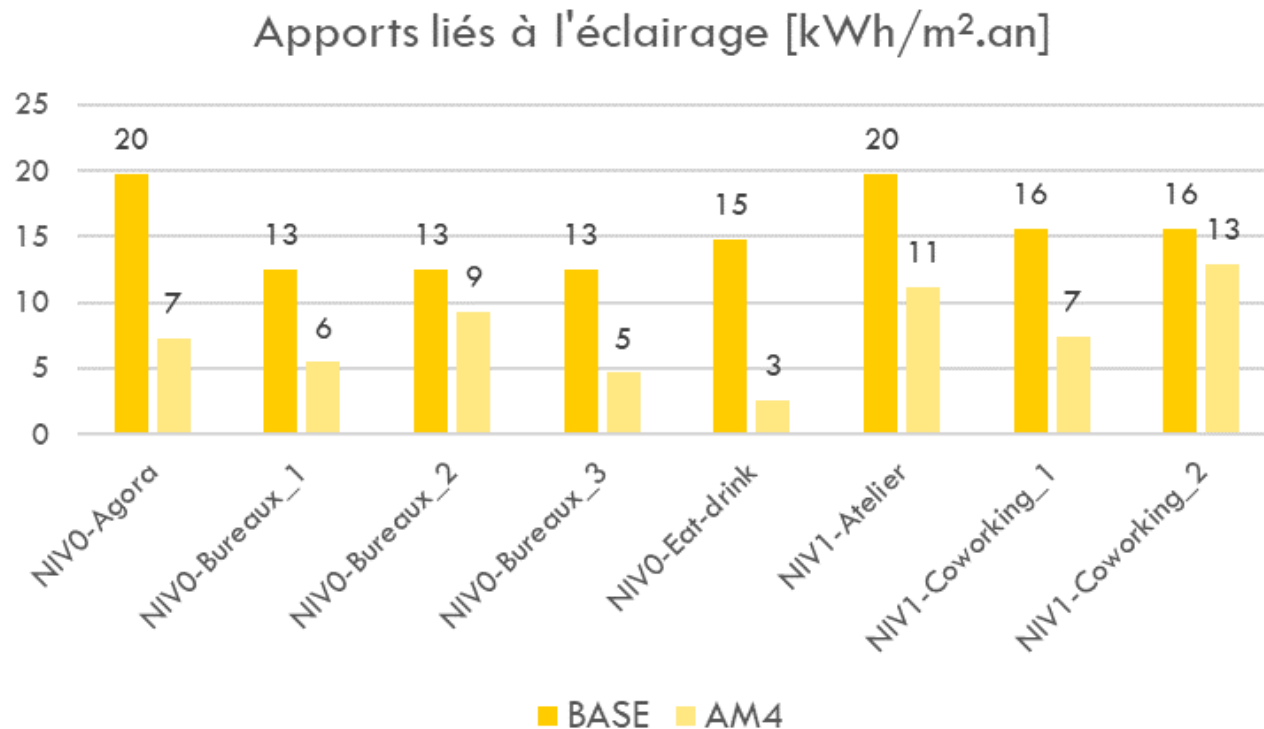
- ▶ Enveloppe = AM2
 - ▶ Systèmes = AM2 + Ajout d'un système de régulation de l'éclairage artificiel via sonde de luminosité
- Eclairage artificiel adaptatif suivant le niveau d'éclairage naturel



Source: DesignBuilder



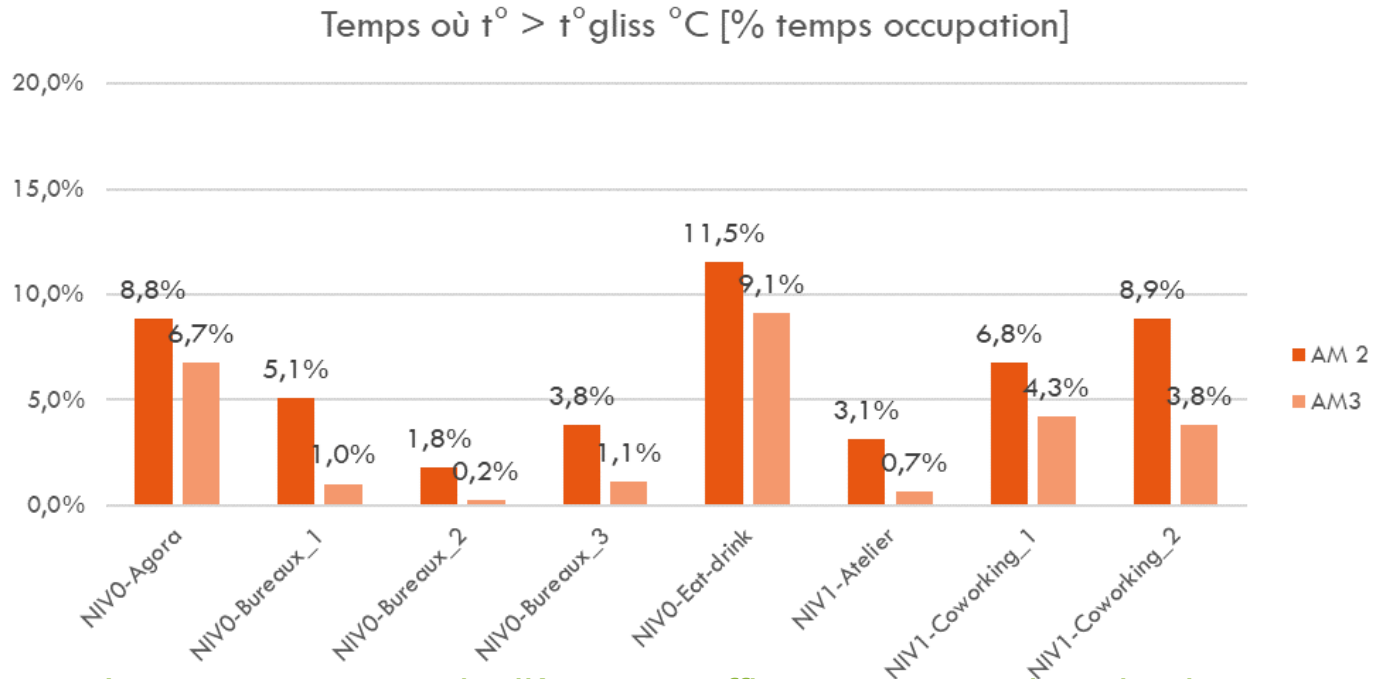
Impacts sur les apports internes dus à l'éclairage



- Suivant l'orientation des locaux, **diminution des apports de 20 à 80% !**



Impacts sur le confort estival



- ⇒ La mesure est particulièrement efficace, surtout dans les bureaux où le niveau d'éclairement le plus important est demandé (bureaux, coworking).
- ⇒ En considérant une température de confort adaptative comme balise, le confort est presque atteint dans les bureaux.



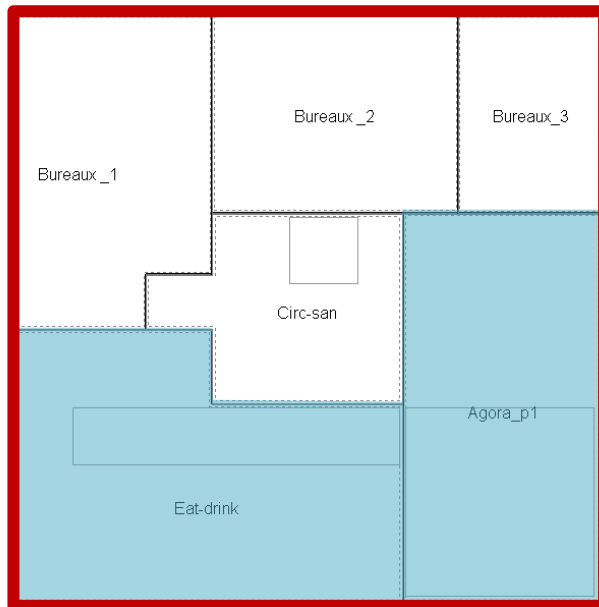
Objectifs

- ▶ Les mesures passives (AM 1, 2, 3) ne suffisent pas à elles seules pour garantir le confort estival 100% du temps.
Pour y arriver, l'installation d'un système de refroidissement actif devient alors nécessaire.
- ▶ Utiliser ce refroidissement « actif » (consommateur en énergie) avec parcimonie.

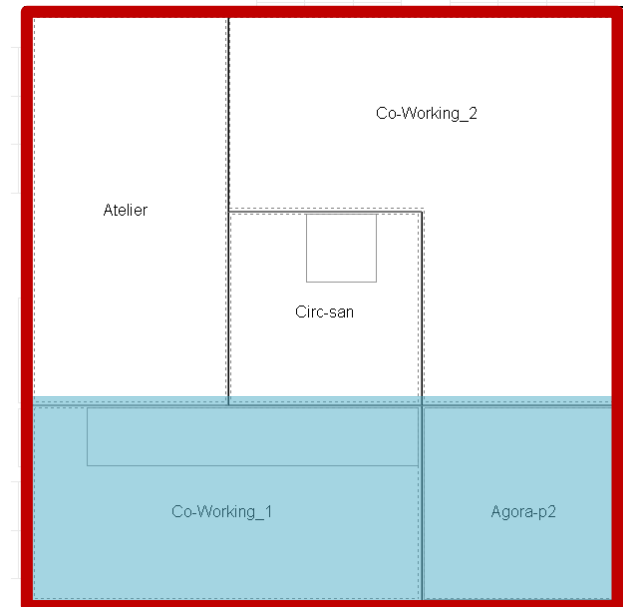


Dispositifs

- Installation d'un système de production de froid actif (PAC) avec
 - Refroidissement à 18°C de l'air pulsé dans tous les locaux, à l'aide d'une batterie froide dans le groupe de ventilation hygiénique
 - Emetteurs de froid (ventilo-convecteurs) dans les locaux les plus sensibles à la surchauffe: Eat & drink, Agora, Coworking 1
- Augmentation du débit de ventilation dans les bureaux (40 → 50 m³/h.pers)

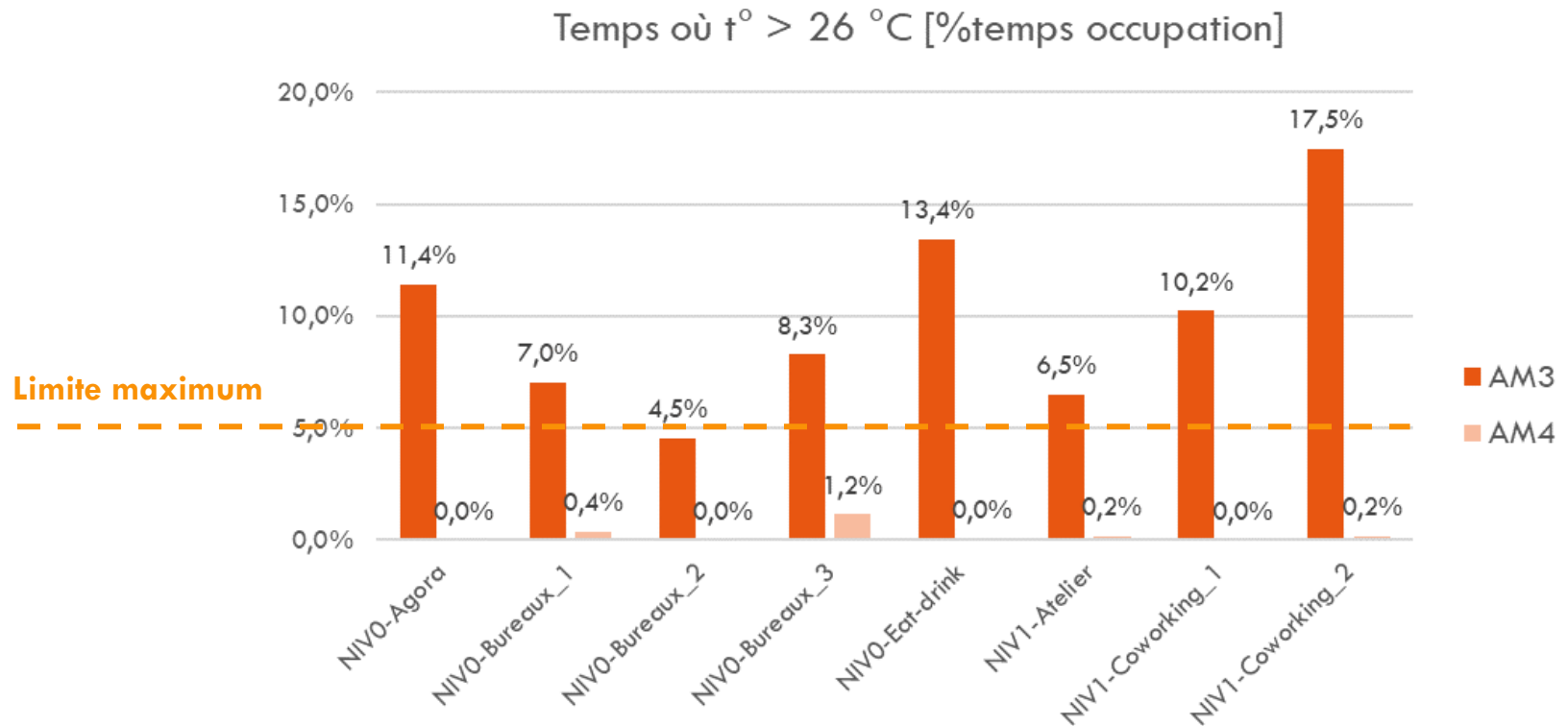


REZ



NIV1

Impact sur le confort estival

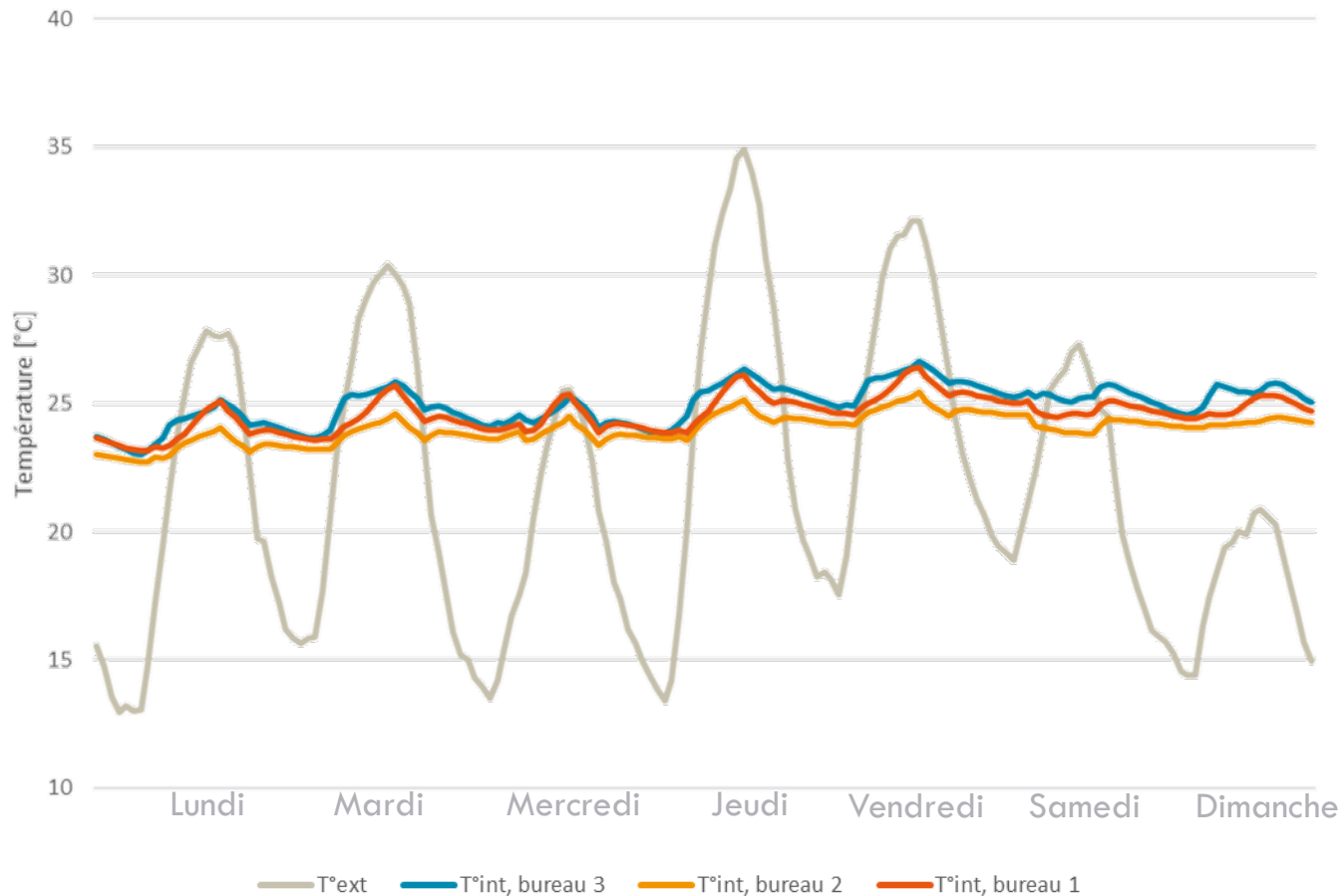


⇒ Le confort estival est atteint dans tous les locaux.



Impact sur le confort estival

- Profils de températures dans les bureaux lors d'une semaine estivale chaude



Impact sur le confort estival

- ▶ La période de dépassement des 26°C est quasiment nulle
 - niveau de confort très exigeant
- ▶ Possibilité d'optimiser la performance énergétique du bâtiment en admettant un temps de dépassement plus élevé (maximum 5% du temps d'occupation)
 - Moins de besoins de refroidissement
 - Moins de consommations énergétiques
 - Diminution de la puissance nécessaire pour la PAC → potentiellement une possibilité de travailler avec d'autres types de systèmes, plus petits.





- ▶ La simulation dynamique est un outil puissant et polyvalent qui permet d'assister dans la conception de bâtiments performants.
- ▶ La simulation dynamique se base sur des hypothèses simplifiées et ne permet pas d'anticiper intégralement les conditions d'usage d'un bâtiment et les conditions externes.
- ▶ La simulation dynamique nécessite :
 - Une réflexion poussée en amont
 - Un esprit critique et d'analyse développé
 - Une implication des différents acteurs du projet (MO, AR, TS, etc.)





Guide Bâtiment Durable

www.guidebatimentdurable.brussels

► La surchauffe

Dossier | [Assurer une grande inertie thermique](#)

Dossier | [Limiter les charges thermiques](#)

Solution | [Protections solaires extérieures](#)

Solution | [Protections solaires intérieures et intégrées](#)

Solution | [Equipements limitant les gains internes](#)

Dossier | [Appliquer une stratégie de refroidissement passif](#)

Solution | [Free-cooling](#)

Dossier | [Assurer le confort thermique](#)

Solution | [Pompe à chaleur](#)

Solution | [Système DRV](#)



Formations et séminaires

- Inscrivez-vous aux formations organisées par Bruxelles Environnement
<https://environnement.brussels/formationsbatidurable>
- Consultez tous les supports [gratuitement](#) !



Pierre GUSTIN

Ingénieur projet
écorce sa

 + 32 4 226 91 60

 info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

