
Le climat de demain: lignes directrices pour la construction

L'exemple précurseur
de la Suisse méridionale

Résumé

TicinoEnergia



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral du logement OFL

Office fédéral de l'énergie OFEN



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Un projet mis en œuvre dans le cadre du programme
pilote d'Adaptation aux changements climatiques,
soutenu par l'Office fédéral du logement OFL et
l'Office fédéral de l'énergie OFEN

Impressum

Editeur

Office fédéral du logement OFL
Hallwylstrasse 4, 3003 Berne
Tel. +41 58 480 91 11
info@bwo.admin.ch, www.bwo.admin.ch

Téléchargement

www.ofl.admin.ch

Organe de coordination

Associazione TicinoEnergia
Cá Bianca, Via San Giovanni 10, 6500 Bellinzona
www.ticinoenergia.ch

Auteurs

Luca Pampuri, Associazione TicinoEnergia
Fabrizio Noembrini, Associazione TicinoEnergia
Marta Poretti, IFEC Ingegneria SA
Giorgio Pansa, IFEC Ingegneria SA
Erika Saretta, ISAAC-SUPSI
Davide Zepponi, Veragouth SA

Groupe d'accompagnement

Michele Fasciana, UACER, Kanton Tessin
Giacomo Veragouth, Veragouth SA
Luigi Conforto, Gemeinde Locarno
Angelo Bernasconi, IFEC Ingegneria SA
Pierluigi Bonomo, ISAAC-SUPSI
Marco Thomas, Gemeinde Faido

Financement

Office fédéral du logement OFL
Office fédéral de l'énergie OFEN

Mode de citation

TicinoEnergia (2023). *Le climat de demain : lignes directrices pour la construction. L'exemple précurseur de la Suisse méridionale. Résumé.* Office fédéral du logement, Berne.

Notes

Ce résumé est également disponible en allemand et en italien. Le rapport complet est disponible en italien.

Le rapport expose la vision des auteurs, qui ne correspond pas nécessairement à celle du mandant.

Image de couverture

© DDPS

1 Introduction

Vu la situation géographique et météorologique du Tessin ainsi que l'évolution climatique attendue dans le canton, les normes et les prescriptions actuelles sur la construction ne sont plus forcément suffisantes pour garantir un climat ambiant optimal à l'intérieur des bâtiments sur le long terme. Des approches novatrices sont donc nécessaires pour limiter la consommation d'énergie en toute saison, garantir le confort des occupants et adapter les pratiques en vigueur dans le secteur de la construction à des conditions climatiques plus chaudes.

2 Glossaire

La terminologie utilisée dans le domaine de la construction n'est pas toujours sans équivoque, car les termes sont définis différemment selon leur contexte. Dans ce projet, les termes « confort intérieur » et « refroidissement » sont compris de la manière suivante :

- Confort intérieur : conformément à la norme SIA 180, le confort thermique à l'intérieur des bâtiments est défini en fonction de la température de la pièce et de la température extérieure en moyenne mobile des deux derniers jours (48 h). Les exigences diffèrent selon que la température est contrôlée par une installation de refroidissement mécanique ou non. Dans cette étude, l'inconfort se mesure au nombre d'heures durant lesquelles la température intérieure dépasse la limite fixée pour les locaux climatisés.
- Refroidissement : système de refroidissement. Celui-ci peut, s'il est équipé d'un déshumidificateur, également réguler le taux d'humidité dans une pièce fermée ; dans ce cas, il s'agit d'une installation de climatisation classique.

3 Objectifs

Le projet a pour objectif concret d'offrir à tous les acteurs de la construction (bureaux d'ingénieurs, architectes, maîtres d'ouvrage, autorités) les outils nécessaires pour faciliter l'adaptation des bâtiments aux changements climatiques, principalement dans le cadre des vastes mesures de rénovation du parc immobilier qui seront mises en œuvre ces prochaines années (entretien ordinaire ou extraordinaire), mais aussi pour la construction de nouveaux bâtiments. Par ailleurs, des directives ont été établies pour la planification de nouvelles constructions et la rénovation de bâtiments existants, lesquelles tiennent compte du changement climatique et de ses conséquences sur le secteur.

4 Méthodologie

La première étape a consisté à choisir trois bâtiments aux fonctions, caractéristiques et emplacements différents. Les trois bâtiments sont représentatifs du parc immobilier régional, tant sur le plan architectural que sur celui de leur affectation. Par ailleurs, les données de trois stations météorologiques représentatives du climat particulier du sud des Alpes (Piotta, Magadino und Stabio) ont été utilisées pour améliorer la représentativité des simulations. Sur cette base, plus de 1000 bâtiments ont pu être modélisés par variation des différents paramètres relatifs à la construction, à l'exploitation, à la technique du bâtiment et à la météo.

Des simulations ont ensuite permis d'analyser et de décrire l'impact des variables suivantes sur le bâtiment, du point de vue du confort thermique et des besoins en énergie liés à la régulation de la température (chauffage et refroidissement) :

- contraintes climatiques : transition du climat actuel au climat de demain conformément aux scénarios climatiques pour la Suisse CH2018, avec une attention particulière sur la période 2045 à 2074 pour le scénario RCP8.5 (cf. chap. 5.4) ;

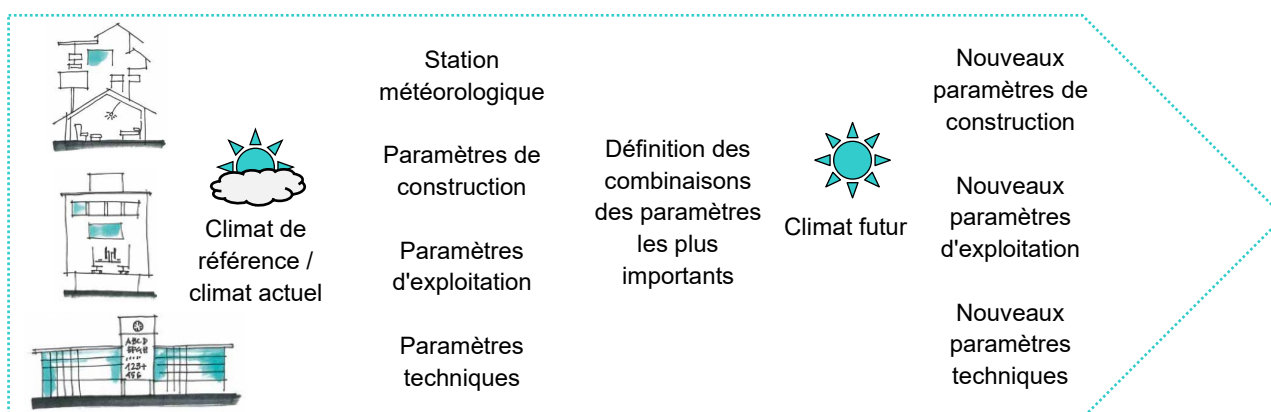
- emplacement du bâtiment : stations météorologiques de Piotta (climat actuel et futur), de Magadino (climat actuel et futur) et de Stabio (climat actuel) ;
- stratégie en matière de gestion du bâtiment : ventilation naturelle ou mécanique, protection solaire à fonctionnement manuel ou automatique, présence ou absence d'un système de refroidissement pour l'été ;
- caractéristiques liées à la planification architecturale et à la construction : rapport entre la surface des fenêtres et celle des murs (*Window-to-Wall Ratio* [WWR]), propriétés de l'isolation thermique et des fenêtres, capacité thermique intérieure.

Pour évaluer le confort intérieur, la méthode de calcul du confort thermique décrite dans la norme SIA 180 a été retenue. Applicable aux bâtiments climatisés ou non climatisés, elle tient compte du fait que les occupants peuvent influencer leur ressenti en ouvrant et en fermant les fenêtres, et en adaptant leurs dépenses énergétiques (en planifiant différemment leurs activités) et leur habillement aux températures à l'intérieur et à l'extérieur.

5 Variables

Pour analyser de manière objective l'impact du changement climatique sur le parc immobilier, il faut examiner la réaction actuelle des bâtiments en fonction de leur utilisation, ainsi que des caractéristiques physiques et opérationnelles de leurs installations.

Le graphique ci-après illustre la méthode utilisée pour réaliser les simulations dans les conditions climatiques actuelles et futures.

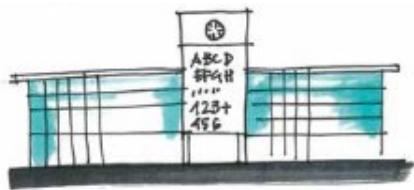


5.1 Bâtiments

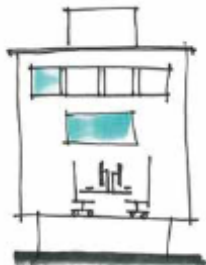
Les trois bâtiments de départ ont été mis à disposition par les communes de Locarno et de Faido, qui comptent parmi les partenaires du projet.



Bâtiment résidentiel : la maison de retraite San Carlo à Locarno est un bâtiment des années 1970 avec des murs extérieurs non porteurs, des murs à double paroi, une isolation minimale des espaces vides ainsi que des façades avec une faible proportion de vitrages (20 %). La structure de l'édifice (balcons et façades en redent) le protège efficacement du soleil. Le choix s'est porté sur ce bâtiment parce qu'il est typique des immeubles locatifs construits dans les années 1960 à 1980 au Tessin.



Bâtiment scolaire : le bâtiment de l'école primaire et secondaire de Faido date du début des années 1980. Il se caractérise par une structure portante avec des murs en béton armé apparents, une faible isolation thermique avec des ponts thermiques sur les éléments porteurs non isolés et des salles de classe avec de grandes surfaces vitrées sur la façade sud. Les façades ne présentent pas de saillies particulières ni de protections solaires fixes.



Bâtiment administratif : rénové en 2019 selon le standard Minergie-P, le bâtiment administratif du centre de Locarno dispose d'un système composite d'isolation thermique, de fenêtres et de portes ultramodernes, de protections solaires et d'une part modérée de vitrages (50 %).

5.2 Emplacement

Les simulations ont été effectuées dans des conditions climatiques variées afin que le caractère hétérogène du climat tessinois soit pris en compte. Piotta, la station météorologique de référence pour la commune de Faido, est une localité de montagne (1000 m d'altitude) soumise à un fort ensoleillement direct durant l'été. Magadino, la station météorologique de la commune de Locarno, se trouve à environ 200 m d'altitude et est exposée au soleil durant toute l'année. Enfin, la station de Stabio est représentative du climat de la Suisse méridionale, avec de grands écarts de température entre l'hiver et l'été ainsi que, à la demi-saison (printemps/automne), entre le jour et la nuit.

5.3 Caractéristiques relatives à la construction, à la technique et à l'exploitation des bâtiments

Huit paramètres différents ont été combinés pour caractériser les bâtiments et identifier les variantes les plus significatives.



Degré moyen d'isolation des éléments opaques : se réfère seulement aux éléments de construction opaques (murs, toitures, planchers). À partir de la valeur U initiale, des variantes plus ou moins favorables ont été simulées pour chaque bâtiment.



Surface vitrée moyenne : par rapport à la surface des façades (éléments de construction opaques et transparents), cadres des fenêtres inclus. À partir de la valeur réelle pour chaque bâtiment, des simulations ont été effectuées en variant le pourcentage de vitrages (30 %, 50 % et 70 %).



Capacité thermique intérieure : en supposant différents types de construction (massive ou mi-lourde), conformément à la norme SIA 380:2009. Les variantes considérées pour la capacité thermique sont qualifiées d'« élevées » pour les bâtiments dont l'intérieur et la façade ont été construits avec des éléments lourds, et de « modérée » pour les bâtiments dont les éléments structurels sont plus légers (p. ex. plafonds suspendus ou cloisons sèches).



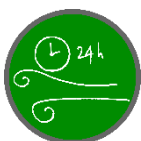
Protection solaire externe : non-existante, manuelle ou automatique.



Refroidissement : non-existant, refroidissement ou refroidissement et déshumidification.



Ventilation : naturelle ou mécanique avec récupération de chaleur.



Gestion de la ventilation : fonctionnement à configurer ou en continu.



Caractéristiques thermiques des vitrages : valeurs U et g.

5.4 Scénarios climatiques

L'objectif du projet est de décrire l'impact que le climat de demain aura sur les bâtiments, du point de vue de la consommation d'énergie et du confort des occupants.

Afin de caractériser les bâtiments et d'identifier les variantes les plus significatives, on a combiné les trois paramètres de base et les cinq paramètres liés à la construction, à la technique et à l'exploitation et fait varier les emplacements ainsi que les scénarios climatiques (actuels et futurs). Ainsi, à partir des trois bâtiments de départ, il a été possible de simuler un parc de plus de 1000 bâtiments.

Climat de référence



Le climat de référence se base sur les valeurs horaires obtenues grâce à Meteonorm pour la période 1961-1990 (format TMY2).

Il correspond donc à une année météorologique moyenne, représentative des conditions typiques (et non-extrêmes) sur le long terme. Le climat de référence a été utilisé pour la simulation de plus de 1000 bâtiments.

Climat actuel



Données climatiques pour une période de 20 ans, entre 1999 et 2019. Les données climatiques horaires (format TMY2) ont été obtenues à l'aide de Meteonorm ; la base de données est issue du réseau de surveillance automatique de MétéoSuisse, SwissMetNet. Ces données ont servi de base pour la simulation de certains bâtiments dans le climat de référence. Dans ces cas-là, on a tenu compte des conditions météorologiques effectives au cours des 20 années analysées.

Climat futur



Projections climatiques fondées sur les scénarios climatiques CH2018, élaborés par MétéoSuisse et l'École polytechnique fédérale de Zurich. Ce sont des **valeurs moyennes journalières**. Valeurs prises en compte : températures extérieures moyennes, minimales et maximales ; total du rayonnement extérieur incident sur une surface horizontale ; humidité relative de l'air extérieur.

Les scénarios climatiques CH2018, élaborés par MétéoSuisse et l'École polytechnique fédérale de Zurich, décrivent l'évolution possible de notre climat

d'ici la fin du siècle. Comme les émissions anthropiques futures dépendront considérablement des politiques climatiques nationales et internationales ainsi que du développement des innovations technologiques, le calcul des projections se fonde sur différents scénarios. Les scénarios RCP2.6 et RCP8.5 sont les deux extrêmes : alors que le RCP2.6 suppose que la communauté internationale décidera de diminuer considérablement et rapidement les émissions de gaz à effet de serre, le RCP8.5 table sur le fait que les émissions continueront d'augmenter sans frein. Si les émissions continuent d'augmenter dans un avenir proche parce qu'aucune mesure politique n'est prise (RCP8.5), la température annuelle moyenne en Suisse méridionale devrait continuer d'augmenter et devrait excéder de 4°C la moyenne de la période de référence 1981-2010. Si, par contre, des politiques climatiques sont mises en œuvre (RCP2.6), l'augmentation moyenne des températures pourrait se stabiliser autour de 1,5 C après la première moitié du siècle. À noter que ces valeurs sont entachées d'incertitudes qui dépendent des modèles climatiques utilisés pour représenter les processus physiques concernés.

Le présent projet se fonde sur le scénario climatique RCP8.5, et ce pour deux raisons. D'une part, il est plus représentatif de ce qui se passe actuellement et, d'autre part, il met en évidence la problématique du changement climatique en en soulignant d'autres aspects sous-jacents.

6 Résultats

Les analyses ont dégagé quelques pistes de réflexion sur les trois types de bâtiments étudiés (résidentiel, scolaire et administratif). Pour optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments dans les conditions climatiques futures et pour garantir un niveau de confort acceptable pour les occupants, les paramètres suivants jouent un rôle important dans les décisions en matière de conception. Les considérations relatives aux six paramètres suivants sont génériques, autrement dit, elles valent pour toutes les typologies de bâtiments :

- 1
Surface vitrée moyenne Le rapport entre la surface vitrée et la surface brute des murs doit être inférieur à 50 % (et idéalement inférieur à 30 %). Cela constitue une contrainte majeure pour la construction.
- 2
Caractéristiques thermiques des fenêtres Utilisation de triple vitrage avec une valeur U d'environ 0,6 W/m²K et une valeur g maximale de 0,5.
- 3 et 4
Ventilation et gestion de la ventilation Les systèmes de ventilation naturelle ou mécanique pouvant être activés à tout moment en fonction de la température extérieure (*free cooling*) sont en train de se développer et sont à la pointe de la technologie : ils permettent de réduire l'inconfort à la demi-saison ainsi que le temps d'utilisation des climatiseurs.
- 5
Protection solaire externe Des dispositifs automatisés de protection solaire externe pour prévenir dès la demi-saison les conditions sources d'inconfort. Selon la saison, on peut également tirer profit de la végétation pour créer de l'ombre. Par ailleurs, les principes de l'architecture solaire passive (utilisation de la géométrie solaire) peuvent être utilisés pour les nouvelles constructions.
- 6
Refroidissement L'aménagement d'un système de refroidissement est quasiment incontournable. Dans la mesure du possible, il est recommandé de combiner la climatisation et le photovoltaïque (car la demande et la production d'énergie coïncident dans le temps).

En ce qui concerne les deux derniers paramètres (degré moyen d'isolation opaque et capacité thermique intérieure), les résultats varient en fonction de la catégorie de bâtiment. Les décisions prises lors de la

planification peuvent réduire la quantité d'énergie nécessaire pour le chauffage (mais pas pour le refroidissement), ou peuvent diminuer les heures d'inconfort à la demi-saison.

Les principales réflexions sur ces deux paramètres sont décrites ci-après. En annexe, une liste détaille par type de bâtiment les résultats issus des simulations effectuées pour le climat futur avec divers types d'isolation des parois opaques (élevé → moyen) et diverses capacités thermiques.

7

Degré moyen d'isolation
des parois opaques

De manière générale, lorsqu'un bâtiment est très bien isolé, les besoins en énergie sont plus élevés pour le refroidissement que pour le chauffage.

Lorsque le degré d'isolation des parois opaques du bâtiment est dans la moyenne, c'est-à-dire que la performance de l'isolant est un peu plus faible, on observe un gain de confort en automne et au printemps, mais également une augmentation des besoins en énergie pour le chauffage.

8

Capacité thermique

Quand la capacité thermique d'un bâtiment est élevée, les besoins en énergie liés au chauffage baissent.

En revanche, une capacité thermique modérée améliore le confort à la demi-saison et, souvent, permet de réduire les besoins de refroidissement, parce que la charge thermique interne est évacuée plus rapidement.

Ces deux variables étant influencées par les charges thermiques internes, il faut évaluer la pertinence d'une isolation plus ou moins performante de l'enveloppe opaque du bâtiment en fonction de son utilisation. Pour les nouveaux bâtiments, l'impact de la capacité thermique sur l'efficacité énergétique et le confort influencera le choix de la technologie de construction.

7 Conclusions

Les simulations effectuées ont permis de dégager des réflexions concrètes, en particulier concernant les surfaces vitrées, l'isolation thermique et le refroidissement. Il est apparu qu'en raison de l'augmentation globale de la température qui devrait marquer le climat de demain sous nos latitudes, il faudra aménager des installations de refroidissement dans pratiquement tous les bâtiments si l'on souhaite conserver un niveau de confort similaire à aujourd'hui. Dans les bâtiments qui présentent des charges thermiques internes élevées et des gains solaires importants, le refroidissement sera assurément un passage obligé.

Pour limiter les émissions de gaz à effet de serre, cause principale du changement climatique, les installations de refroidissement devront fonctionner avec des sources d'énergies renouvelables. La combinaison climatisation-photovoltaïque est une réelle option pour les mois d'été : d'une part, parce que les surfaces nécessaires à l'installation des panneaux sont fournies par les bâtiments eux-mêmes (p. ex. toits, façades, ombrages) et, d'autre part, le besoin accru en énergie pour la climatisation ou la ventilation en été coïncide avec la courbe de production de l'installation solaire.

Concernant la planification, les résultats montrent qu'une conception adéquate de l'enveloppe du bâtiment contribue fortement à prévenir la surchauffe des pièces l'été et à la demi-saison et à limiter le recours à la climatisation. Les systèmes de protection solaire automatiques, en particulier, permettent de réduire le rayonnement solaire aux moments adéquats. Indirectement, on peut tirer des enseignements de ces résultats concernant l'orientation du bâtiment et les solutions d'ombrage fixes ; ces deux paramètres n'ont cependant pas été examinés spécifiquement dans cette étude.

L'échange d'air assuré par les systèmes de ventilation mécanique durant la journée, mais surtout la nuit, a un impact particulièrement positif sur le confort et peut permettre de limiter le recours à la climatisation. Le constat vaut aussi lorsque le bâtiment présente une capacité thermique modérée.

Les différences observées entre les différentes catégories de bâtiments sont minimes. Conjugué avec une charge thermique interne élevée (pièce occupée par de nombreuses personnes ou abritant beaucoup d'appareils qui dégagent de la chaleur, p. ex.), un isolant très performant peut avoir une influence négative sur

le confort des occupants et les besoins énergétiques du bâtiment. Ainsi, lorsque la charge thermique est élevée, une isolation très performante ne permet pas toujours de réaliser des gains d'énergie sur l'année, parce que l'augmentation de la quantité d'énergie nécessaire pour rafraîchir les pièces en été excède les économies réalisées sur le chauffage en hiver. Cet aspect doit toutefois être considéré au cas par cas, car l'équilibre entre la diminution des besoins énergétiques en hiver et l'augmentation de ceux-ci en été dépend fortement des propriétés physiques du bâtiment et des changements climatiques attendus, avec à la clé des résultats surprenants dans certains cas. Au vu des résultats obtenus, il faudrait rallonger la période d'évaluation des besoins en énergie et du confort pour qu'elle couvre l'année entière.

Enfin, dans le contexte géopolitique actuel, qui a mis à jour la vulnérabilité de la production et de l'approvisionnement énergétique européen en hiver, les évaluations futures devront tenir compte non seulement de la source d'énergie, mais aussi des possibles pénuries saisonnières. Avec un risque de dépendance accrue vis-à-vis de sources d'énergie étrangères plus aléatoires durant les mois d'hiver, il est indiqué, d'un point de vue stratégique, de réduire la consommation d'énergie pour le chauffage plutôt que pour le refroidissement, car la production locale d'énergie renouvelable (solaire, en particulier) s'accorde mieux avec la demande en été.

Annexes – Résultats par catégorie de bâtiment

Bâtiments résidentiels

Climat de référence	Climat futur
<p>La rénovation complète des bâtiments d'habitation avec les technologies actuelles (réduction théorique des besoins de chauffage pouvant aller jusqu'à 85 %) engendre une chaleur excessive en été et à la demi-saison. Des mesures de compensation ou des systèmes de refroidissement sont donc nécessaires en été.</p> <p>Si le bâtiment est équipé d'un système de refroidissement pour l'été, le besoin de chaleur utile est relativement important par rapport au besoin de chauffage (32 % – 56 %). Cela dit, une meilleure isolation permet de réduire les besoins totaux en énergie (jusqu'à 50 % – 70 %).</p>	<p>Les problèmes observés dans le climat de référence sont encore aggravés dans le climat futur.</p> <p>Les analyses des simulations (cf. chap. 5.1) permettent de tirer les conclusions suivantes sur la capacité thermique et l'isolation des éléments de construction opaques des bâtiments. Les conséquences d'une augmentation de la capacité thermique sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le confort est nettement amélioré à la demi-saison. - Isolation moyenne (valeur U de 0,4 W/m²) : la durée d'utilisation des systèmes de refroidissement augmente, mais les besoins de refroidissement restent inchangés. Le besoin total en énergie diminue de 4 %, ce qui est principalement dû à la réduction des besoins de chauffage. - Isolation supérieure (valeur U de 0,15 W/m²) : l'augmentation de la capacité thermique entraîne d'une part une augmentation de la durée d'utilisation du système de refroidissement et du besoin de refroidissement (+8 %), et d'autre part une baisse des besoins de chauffage, qui compense presque l'augmentation du besoin total en énergie (+1 %). <p>Les effets d'une diminution du degré d'isolation thermique des parois opaques sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La durée d'utilisation du système de refroidissement tend à diminuer, mais dans le cas particulier où le bâtiment est doté d'une protection solaire fixe très efficace, le besoin de refroidissement n'est pas significatif, mais le besoin total en énergie augmente (+ 30 % environ). - Le nombre d'heures d'inconfort à la demi-saison est considérablement réduit (-83 % à -90 %) : il est inférieur au plafond actuel (100 h), au-delà duquel l'installation d'un système de refroidissement est considérée comme nécessaire. <p>Dans les bâtiments à forte isolation (U : 0,15 W/m²K), les systèmes de ventilation mécanique à fonctionnement en continu permettent</p>

	<p>de réduire le nombre d'heures d'inconfort à la demi-saison.</p> <p>Lorsque les éléments opaques de l'enveloppe du bâtiment sont très bien isolés ($U : 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$), le besoin de refroidissement est plus important que le besoin de chauffage.</p>
--	--

Bâtiments scolaires

Climat de référence	Climat futur
<p>Dans le climat de référence, la rénovation complète des bâtiments qui ne sont pas équipés d'un système de refroidissement induit une nette augmentation de la surchauffe en été (qui passe de 830 h à 3220 h) et de l'inconfort à la demi-saison (de 10 h à 840 h). Des mesures de compensation et/ou un système de refroidissement sont donc nécessaires.</p> <p>Pour les bâtiments climatisés, une rénovation complète génère de l'inconfort à la demi-saison (de 10 h à 1040 h) et l'activation du système de refroidissement (de 0 à 2300 h).</p> <p>Dans les bâtiments isolés sans système de refroidissement, la ventilation mécanique diminue le besoin de chauffage, mais n'a pas d'influence notable sur l'inconfort en été.</p>	<p>Les problèmes observés dans le climat de référence sont encore aggravés dans le climat futur.</p> <p>Les analyses des simulations (cf. chap. 5.2) ont fait ressortir les points ci-dessous en ce qui concerne la capacité thermique et l'isolation des éléments de construction opaques. Les conséquences d'une augmentation de la capacité thermique sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Isolation supérieure (U : 0,15 W/m²K) : le besoin total en énergie est réduit (-17 % lorsque la capacité thermique passe de modérée à élevée), mais l'inconfort à la demi-saison augmente (il passe de 400 h à 450 h) ; - Isolation moyenne (U : 0,4 W/m²K) : le besoin total en énergie est réduit (-13 % lorsque la capacité thermique passe de modérée à élevée), tout comme l'inconfort à la demi-saison (qui passe de 117 h à 79 h). <p>Les effets d'une diminution du degré d'isolation thermique des parois opaques sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le confort est nettement amélioré à la demi-saison (-70 % à -80 %, soit moins de 100 heures lorsque la capacité thermique est élevée) et la durée d'utilisation des systèmes de refroidissement est réduite, - mais le besoin en énergie augmente (+14 %-18 % parce que le bâtiment doit être chauffé davantage). <p>Lorsque les éléments de construction opaques du bâtiment présentent un degré élevé d'isolation thermique (U : 0,15 W/m²K), le besoin de refroidissement excède le besoin de chauffage.</p>

Bâtiments administratifs

Climat de référence	Climat futur
<p>Une rénovation complète (éléments opaques et transparents de l'enveloppe du bâtiment) entraîne en particulier une diminution du besoin en énergie due à la réduction du besoin de chauffage (le besoin de refroidissement, quant à lui, augmente). Par ailleurs, tant la durée d'utilisation du système de refroidissement que le nombre d'heures d'inconfort à la demi-saison augmentent.</p> <p>Dans les bâtiments avec une surface vitrée plus restreinte, les besoins en énergie sont moins marqués (toutefois, si leur degré d'isolation et leur capacité thermique sont élevés, le confort se dégrade)</p> <p>D'un point de vue énergétique, les bâtiments qui présentent une capacité thermique élevée sont préférables aux constructions moins massives, même si l'inconfort est accru durant l'été et à la demi-saison (d'autant plus si le bâtiment est peu vitré et très bien isolé). Si la surface vitrée est importante ($WWR > 50\%$), l'influence de la capacité thermique augmente de manière plus que proportionnelle par rapport à l'isolation thermique.</p> <p>Si le bâtiment est équipé de protections solaires automatiques, le besoin de refroidissement pourrait être réduit de 30 % à 50 % (dans le haut de la fourchette lorsque le bâtiment est très bien isolé). Cela représente environ 20 % à 25 % de la consommation annuelle d'énergie.</p> <p>Une ventilation naturelle (<i>free cooling</i>) pourrait réduire le besoin de refroidissement de 10 à 20 % et augmenter le confort (dans les bâtiments peu isolés, l'effet est le même si l'on étend aux heures nocturnes l'aération quotidienne).</p>	<p>Les problèmes observés dans le climat de référence sont encore aggravés dans le climat futur.</p> <p>Les simulations (cf. chap. 5.3) permettent de dégager les conclusions suivantes concernant la capacité thermique et l'isolation des éléments de construction opaques.</p> <p>En augmentant la capacité thermique des bâtiments fortement isolés, on fait certes baisser les besoins énergétiques annuels, mais on augmente aussi l'inconfort à la demi-saison. Dans les bâtiments qui présentent un degré d'isolation moyen ($U : 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$), l'augmentation de la capacité thermique provoque une légère réduction des besoins en énergie. Plus particulièrement, le besoin en énergie pour le refroidissement baisse et l'inconfort à la demi-saison est légèrement réduit.</p> <p>La diminution du degré d'isolation des éléments de construction opaques entraîne une légère baisse du besoin de refroidissement, mais une hausse des besoins de chauffage et, partant, du besoin total en énergie. Le nombre d'heures d'inconfort à la demi-saison est cependant réduit (jusqu'à plus de 50 %).</p> <p>Le besoin de refroidissement reste nettement plus élevé que le besoin de chauffage.</p> <p>Lorsque les fenêtres sont mieux isolées, le besoin total en énergie baisse (parce que les besoins de chauffage sont réduits dans une plus grande mesure que les besoins de refroidissement), mais le nombre d'heures d'inconfort à la demi-saison augmente.</p>