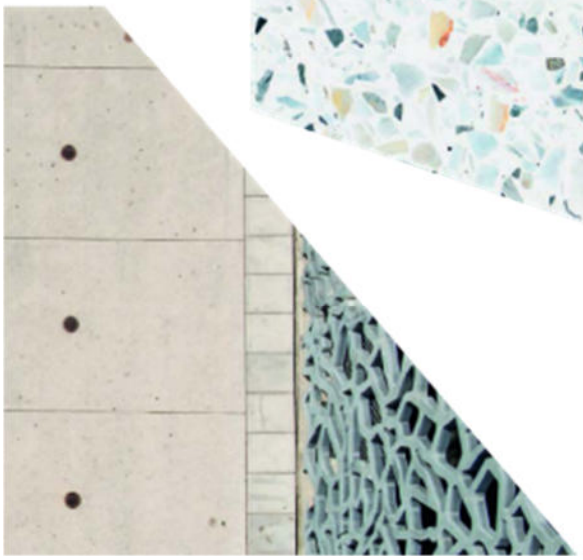
MINISTÈRE
DE L'ACTION
ET DES COMPTES
PUBLICS

Liberté
Égalité
Fraternité









DOCTRINE POUR DES BÂTIMENTS DE L'ÉTAT RÉSILIENTS SOUS 50°C

Scénario TRACC : France à +4°C

SOMMAIRE

RÉSUMÉ 4
Une doctrine d'orientation stratégique pour les opérations immobilières de l'État 5
Un changement de contexte climatique 5
Objectifs de la doctrine 5
Une approche en cinq principes structurants 5

DOCTRINE **8**

CADRE GÉNÉRAL DE LA DOCTRINE **9**
1.1. Inscription dans la politique immobilière de l'État 9
1.2. Périmètre d'application 9
1.3. Articulation avec l'exploitation 9

CONTEXTE, RAPPELS ET ENJEUX **10**
2.1. Une évolution du climat désormais structurante 10
2.2. Des cadres réglementaires dépassés 11
2.3. Une réponse structurée dans le cadre du PNACC 11

OBJECTIFS ET APPROCHE DE LA DOCTRINE **12**
3.1. Les deux objectifs visés par la doctrine 12
3.2. Les cinq principes structurants de la doctrine 12

PRINCIPE N°01 : TRAITER LA GESTION DES ÉPISODES DE CHALEUR COMME UN DÉTERMINANT MAJEUR DU PROJET **14**
4.1. Une exigence structurante intégrée dès l'amont 14
4.2. Une approche priorisant la sobriété et la limitation des besoins 14
4.3. Une prise en compte centrale des usages et de l'exploitation 14
4.4. Un dialogue structuré entre acteurs du projet 15
4.5. Un besoin de performance à inscrire dans les pièces contractuelles 16
4.6. Une approche en coût global dès la conception 16
4.7. Garantir la performance dans la durée : mise en service et exploitation 16
4.8. Adapter le montage d'opération et la gouvernance 17

PRINCIPE N°02 : PRENDRE EN COMPTE, DANS LES HYPOTHÈSES DE CONCEPTION, LA DÉRIVE CLIMATIQUE **18**

5.1. Concevoir pour un climat futur 18
5.2. Intégrer plusieurs horizons temporels 18
5.3. Utiliser des scénarios climatiques dimensionnants 18
5.4. Prendre en compte les incertitudes et les spécificités locales 20

PRINCIPE N° 03 : RECOURIR PRIORITAIREMENT À L'APPROCHE BIOCLIMATIQUE 21
6.1. FAIRE DE L'APPROCHE BIOCLIMATIQUE LE SOCLE DE LA CONCEPTION 21
6.1.1 Ancrer le bâtiment dans son contexte climatique 21
6.1.2 Maîtriser les apports solaires 21
6.1.3 Limiter la transmission de chaleur 22
6.1.4 Faciliter l'évacuation des calories emmagasinées 22
6.1.5 Compléments de conception bioclimatique 23
6.2 RECOURS AUX SYSTEMES SEMI PASSIFS ET ACTIFS 23
6.3 DEFINIR DES GARDES FOUS EN AMONT DES SIMULATIONS 24
6.4 L'APPROCHE BIOCLIMATIQUE EN REHABILITATION ET CONTRAINTES PATRIMONIALES 24

PRINCIPE 04 : INTÉGRER DES CONDITIONS D'USAGE ET D'OCCUPATION RÉALISTES DES BÂTIMENTS 25
7.1 Ancrer la conception dans des usages réalistes et incertains 25
7.2 La conception doit donc s'appuyer sur des profils d'usage et d'occupation réalistes, intégrant explicitement : 25
7.3 Intégrer des modes d'exploitation différenciés 25
7.4 Articuler les usages et l'occupation avec les simulations thermiques 26
7.5 Définir et intégrer les hypothèses d'usage dès l'amont 26
7.6 Tester les stratégies d'usage et d'exploitation 27

PRINCIPE N° 05 : MODELISER L'ENSEMBLE DE CES HYPOTHESES ET SOLUTIONS VIA LES SIMULATIONS THERMIQUES DYNAMIQUES (STD) 28
8.1 Utiliser la STD pour éclairer la décision 28
8.2 Mobiliser la simulation dès l'amont du projet 28
8.3 Déployer la STD tout au long du projet 29
8.4 Structurer les hypothèses et les scénarios 30
8.5 Raisonner en termes d'exploitabilité et de criticité 30
8.6 Traduire les exigences en scénarios et analyser les résultats 30
8.7 Formaliser et inscrire les résultats dans le projet 30

ANNEXES **32**
Annexe 1 : Exigences réglementaires actuelles 33
Annexe 2 : Intégration dans les documents de consultations 36
Annexe 3 : Généralisation des approches bioclimatiques – Préconisations techniques 40
Annexe 4 : Quels indicateurs pour suivre le confort thermique ? 55
Annexe 5 : Méthodologie opérationnelle pour la conduite d'une STD/SED 57
Annexe 6 : Audit / étude énergétique et SED, quelles différences avec la STD ? 60
Annexe 7 : Échantillonnage et zonage du bâtiment / liste des locaux critiques 61

GLOSSAIRE 63

RÉSUMÉ

Une doctrine d'orientation stratégique pour les opérations immobilières de l'État

La présente doctrine définit **un cadre d'orientation stratégique destiné à intégrer pleinement les enjeux liés aux épisodes de chaleur dans les opérations immobilières de l'État.**

Elle s'applique en priorité aux projets **de construction neuve et de réhabilitation lourde**.

Ses principes **ont toutefois vocation à guider l'ensemble des interventions sur le parc immobilier de l'État**, en s'appuyant sur un examen préalable des usages et activités accueillies et de leurs conditions d'exercice et en orientant ensuite les choix de conception, de travaux et d'exploitation vers une meilleure adaptation aux évolutions climatiques.

Un changement de contexte climatique

Le changement climatique se traduit déjà par une augmentation significative de la fréquence et de l'intensité des épisodes de chaleur, avec des températures inédites. **D'après les modélisations de Météo France, ces phénomènes vont s'amplifier significativement dans les années et décennies à venir**.

Dans le cadre du troisième Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-3), la France s'est dotée d'une trajectoire de référence dite « France à +4°C ». **À l'horizon 2050, un été comparable à celui de 2003 deviendra courant**. Les épisodes de chaleur seront susceptibles de s'étendre de mi-mai à fin septembre. Les situations dites « exceptionnelles » dureront alors jusqu'à un mois, avec des records pouvant atteindre les 50°C sur une partie du territoire métropolitain.

Dans ce contexte, **une part importante du parc immobilier de l'État, conçue pour un climat passé, n'est pas adaptée aux épisodes de chaleur actuels et futurs**. Les conséquences sont déjà concrètes et vont s'aggraver : dégradation du confort thermique pour les occupants, hausse des consommations énergétiques, fragilisation des systèmes techniques et difficultés d'exploitation.

Dans le même temps, **les cadres réglementaires actuels, fondés sur des données climatiques historiques et des hypothèses d'usage standardisées, ne répondent pas encore à ces enjeux**.

Objectifs de la doctrine

Les projets de construction neuve et de réhabilitation lourde doivent dorénavant satisfaire un double objectif :

- **Maintenir un « confort thermique » du bâtiment compatible avec les activités exercées par les occupants lors des épisodes « récurrents »** de chaleur définis selon TRACC.
- **Garantir la « résilience thermique » du bâtiment pour en assurer le maintien en condition opérationnelle lors des épisodes « exceptionnels »** de chaleur définis selon la TRACC. L'enjeu étant ici de préserver la continuité du service public.

Une approche en cinq principes structurants

La qualité d'usage et l'exploitabilité d'un bâtiment lors d'un épisode de chaleur dépendent des caractéristiques climatiques de l'évènement, du microclimat local, du site, du bâtiment lui-même ainsi que des conditions réelles d'occupation.

La doctrine s'articule autour de cinq principes structurants qui considèrent et agissent sur l'ensemble de ces dimensions :

***Principe 1 : Traiter la gestion des épisodes de chaleur comme un déterminant majeur du projet**, influençant les choix architecturaux, techniques et d'exploitation.*

La gestion des épisodes de chaleur doit dorénavant conditionner les orientations architecturales et techniques du projet et ce, dès les études de faisabilité et de programmation et tout au long du projet, en associant l'ensemble des acteurs (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, exploitants, usagers) et en anticipant les conditions réelles d'exploitation, y compris en situation dégradée.

***Principe 2 : Intégrer la dérive climatique définie selon la TRACC dans les hypothèses de conception**, selon des horizons temporels différenciés (2050 et 2100).*

Les références climatiques passées ne sont plus pertinentes : les projets doivent s'appuyer sur des fichiers climatiques dimensionnants, issus de scénarios prospectifs définis selon la TRACC, en intégrant un horizon 2050 pour le dimensionnement et un horizon 2100 pour évaluer la robustesse et la capacité d'adaptation ultérieure du bâtiment.

***Principe 3 : Recourir prioritairement à l'approche bioclimatique** et aux solutions techniques simplifiées (dites low tech) avant toute mobilisation de systèmes actifs.*

La réduction des besoins de rafraîchissement par l'approche bioclimatique doit constituer le socle de la conception.

Les systèmes techniques sont par la suite mobilisés selon une logique hiérarchisée :

- Solutions semi-passives type rafraichissement ;
- Solutions actives type climatisation.

Des garde-fous bioclimatiques doivent être définis dès la programmation. Les systèmes techniques doivent rester sobres, robustes et dimensionnés pour des conditions climatiques extrêmes notamment lorsqu'ils desservent des activités et des fonctions critiques.

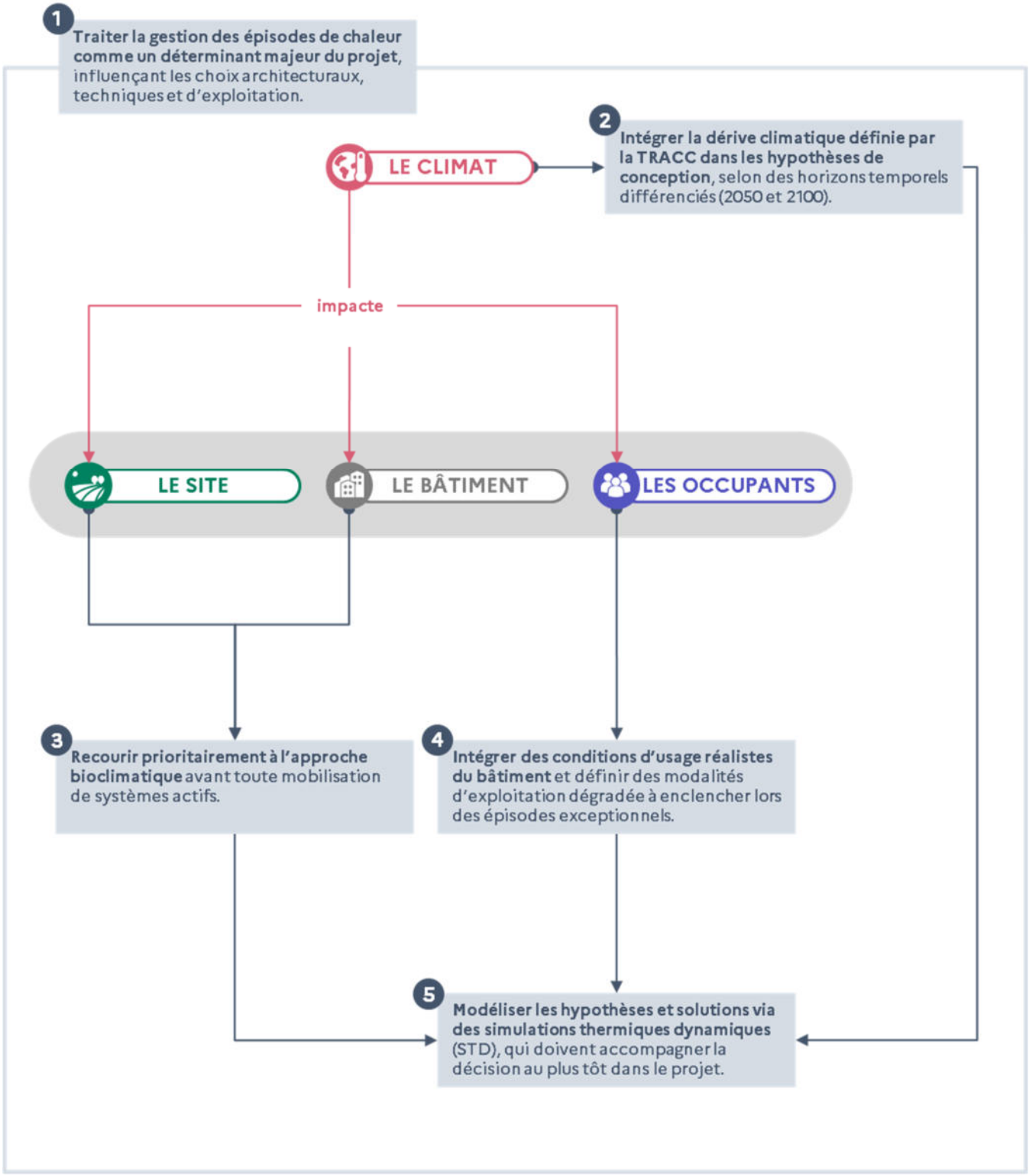
***Principe 4 : Intégrer des conditions d'usage réalistes du bâtiment** et définir des modalités d'exploitation dégradée à enclencher lors des épisodes exceptionnels.*

La conception doit s'appuyer sur des hypothèses réalistes, tenant compte de la variabilité des comportements et des écarts aux consignes (c'est-à-dire l'utilisation non optimale des systèmes par les occupants). Elle doit également anticiper des modes de fonctionnement dégradés, identifier les espaces et fonctions critiques, prévoir l'adaptabilité du bâtiment dans son cycle de vie et intégrer les stratégies d'exploitation dès l'amont du projet.

***Principe 5 : Modéliser les hypothèses et solutions via des simulations thermiques dynamiques** (STD), qui doivent accompagner la décision au plus tôt dans le projet.*

La STD doit être mobilisée tout au long du projet et le plus tôt possible, y compris sous forme simplifiée, en intégrant des scénarios climatiques futurs (2050 et 2100) et des situations dégradées. Elle ne doit pas être considérée comme prédictive, mais comme un outil d'aide à la décision permettant de comparer les solutions techniques et d'évaluer leur performance.

Schéma de synthèse des cinq principes structurants de la doctrine :



DOCTRINE

1. CADRE GÉNÉRAL DE LA DOCTRINE

1.1. Inscription dans la politique immobilière de l'État

La présente doctrine **s'inscrit dans le cadre plus large d'une « Stratégie pour un immobilier de l'État résilient et durable »**, fondée sur une approche systémique des défis actuels, en particulier environnementaux.

Les dispositions qu'elle propose doivent être mises en œuvre en cohérence avec les autres piliers de cette stratégie (sobriété immobilière, atténuation du changement climatique, choix des matériaux, gestion de l'eau, préservation de la biodiversité) **afin d'éviter tout transfert d'impact et de garantir une réponse globale, cohérente et durable**.

1.2. Périmètre d'application

La doctrine **ne concerne que les risques liés à la chaleur** et s'applique :

- **Aux opérations de construction neuve et de réhabilitation lourde, qu'elles soient soumises, ou non, à la labellisation ;**
- **Aux bâtiments tertiaires, techniques ou résidentiels, qu'ils soient ou non des établissements recevant du public (ERP) ;**
- **Aux biens appartenant ou occupés par l'État ou ses opérateurs ou ses établissements publics ;**
- **Sur le territoire de la France métropolitaine.**

Exclusions :

Elle ne s'applique pas aux opérations de type GER (gros entretien-renouvellement), mais ses principes peuvent utilement inspirer ces interventions.

Elle ne s'applique pas non plus, en l'état, aux territoires d'outre-mer, dont les conditions climatiques spécifiques (notamment marquées par des régimes de chaleur humide) appellent des approches adaptées. Toutefois, la philosophie générale et les principes qui la sous-tendent ont vocation à y être déclinés en tenant compte des contextes locaux.

La gestion du risque à l'échelle d'un parc immobilier relève quant à elle des schémas directeurs et stratégiques immobiliers (SDIR/SPSI). Ceux-ci doivent notamment permettre d'identifier les sites les plus vulnérables, les fonctions critiques à préserver, les bâtiments refuges, ainsi que les possibilités de mutualisation ou de report d'activité lors des épisodes exceptionnels de chaleur.

1.3. Articulation avec l'exploitation

La doctrine n'a pas vocation à traiter directement des modalités d'exploitation des bâtiments. **Elle doit toutefois être articulée avec les dispositifs existants**, notamment :

- Les plans d'actions relatifs à la gestion des épisodes de chaleur pour la protection des travailleurs (DUERP) ;
- Les plans de continuité d'activité[1] (PCA) définis localement ;
- Les plans d'exploitation et de maintenance afin d'assurer le bon fonctionnement des équipements et infrastructures ;
- Les contrats de performance.

Elle impose en revanche que les choix de conception intègrent, dès l'amont, les conditions réelles d'usage et les situations de fonctionnement dégradé (cf. principe 4), afin d'assurer la cohérence entre conception, exploitation et continuité de service (cf. Annexe 6).

2. CONTEXTE, RAPPELS ET ENJEUX

2.1. Une évolution du climat désormais structurante

La poursuite des émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine entraîne déjà des conséquences climatiques tangibles en France. Parmi celles-ci, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes, notamment des épisodes de chaleur (pics de chaleur[2], vagues de chaleur[3], canicule[4]) constitue un enjeu majeur.

Si les engagements internationaux actuels étaient respectés, un réchauffement global de l'ordre de +3°C d'ici la fin du siècle serait attendu ; ce qui correspondrait à +4°C en France.

Dans ce contexte, la France s'est dotée, dans le cadre du troisième Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-3[a]), d'une Trajectoire de réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique (TRACC[5]), dite « France à +4°C ». **Cette trajectoire projette un réchauffement de +2°C dès 2030, +2,7°C à l'horizon 2050 et jusqu'à +4°C à l'horizon 2100.** Elle est rendue opposable par son intégration au code de l'environnement (articles R. 229-1 à R. 229-3) par le décret n° 2026-23 du 23 janvier 2026[b].

Dans ce scénario, les saisons chaudes seront caractérisées par des épisodes de chaleur plus fréquents, plus longs et plus intenses, accompagnés d'un nombre accru de nuits tropicales[6]. Les séquences caniculaires débuteront plus tôt et se prolongeront plus tard dans l'année, pouvant s'étendre de la mi-mai à la fin septembre à l'horizon 2050. Elles pourront alors durer jusqu'à un mois à cet horizon.

Des températures jusqu'alors exceptionnelles deviendront la norme, avec des pics pouvant atteindre 47 °C à +2 °C (2030), 48 °C à +2,7 °C (2050), et au-delà de 50 °C dans la seconde moitié du siècle[c].

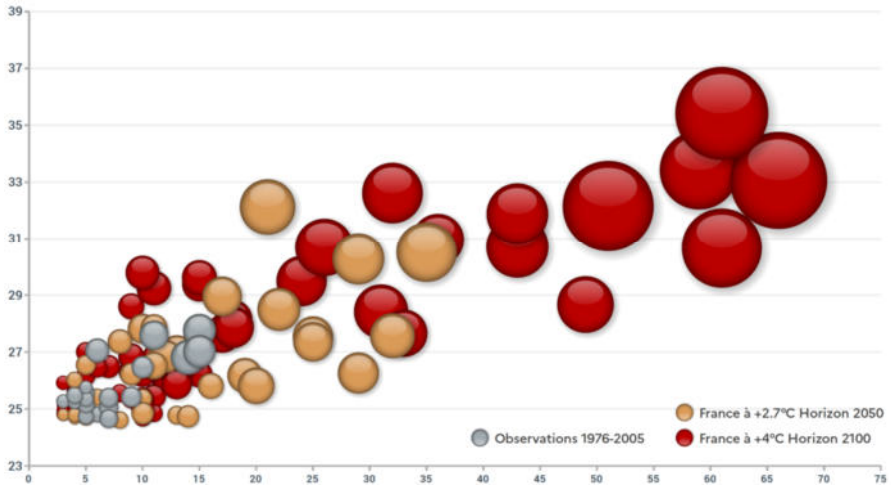


Figure 1 : Simulation de l'intensité et de la durée des vagues de chaleur en France métropolitaine – Source : Rapport de Météo France « À quel climat s'adapter selon la TRACC » Source – Partie 2.

En milieu urbain, l'effet d'îlot de chaleur urbain[7] (ICU) accentuera ces phénomènes.

Comme l'ensemble des infrastructures, les bâtiments sont particulièrement vulnérables à ces évolutions. **Conçus pour un climat désormais révolu, beaucoup sont déjà inadaptés et le seront davantage si les méthodes de conception (en construction neuve comme en réhabilitation) et**

[a] Pour consulter le PNACC : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/PNACC3.pdf
[b] Le décret : https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000053399130
[c] D'après le rapport Météo France « À quel climat s'adapter en France selon la TRACC ? » : https://meteofrance.com/sites/meteofrance.com/files/files/editorial/rapport-trajectoire-rechauffement-adaptation-changement-climatique-partie-2.pdf

d'exploitation ne changent pas. Cette vulnérabilité est renforcée par une culture constructive qui a longtemps sous-estimé l'enjeu de la maîtrise des apports solaires, au profit de solutions techniques destinées à corriger *a posteriori* les inconforts générés par la conception du bâtiment.

Cette inadéquation se traduit d'ores et déjà par :

- Une **détérioration du confort thermique**[8] des occupants ;
- Une **augmentation des consommations énergétiques** liées au rafraîchissement[9] ;
- Une **perte de performance** et une **défaillance des systèmes** techniques durant l'exploitation.

Dans de nombreuses métropoles, **les périodes d'inconfort thermique s'étendent désormais du printemps à l'automne, avec des épisodes précoces et prolongés**, mettant en difficulté les occupants des bâtiments.

Dans certains établissements recevant du public, la capacité à maintenir des conditions d'accueil acceptables s'est déjà trouvée questionnée, avec un impact direct sur la santé des occupants et la continuité du service public.

À terme, ces évolutions pourront conduire à une dégradation accélérée des équipements, à des risques sanitaires accrus et à une remise en cause de l'exploitabilité même de certains bâtiments.

2.2. Des cadres réglementaires dépassés

Pour les constructions neuves

La RE2020 a constitué une avancée notable en intégrant le confort d'été via l'indicateur des degrés-heures (DH) d'inconfort (cf. annexe 1).

Cependant, ses limites sont aujourd'hui clairement identifiées :

- Elle ne concerne qu'une partie du parc ;
- Elle repose sur des données climatiques historiques et non prospectives ;
- Elle utilise des scénarios d'usage standardisés ;
- Elle ne considère pas suffisamment la maîtrise des apports solaires en saison chaude.

À l'horizon 2050, un été comparable à celui de 2003 deviendra la norme, rendant obsolètes les modèles fondés sur le climat passé.

Ainsi, il est encore possible de concevoir des bâtiments neufs conformes à la réglementation mais vulnérables aux épisodes de chaleur actuels et futurs.

Pour les bâtiments existants

En réhabilitation, aucune exigence réglementaire spécifique n'encadre réellement le confort d'été (cf. annexe 1). Seules certaines démarches volontaires (HQE, BREEAM, Passivhaus, BDM/BDF, label Heolem etc.) abordent partiellement ces enjeux.

Cette absence de cadre renforce la vulnérabilité du parc existant alors qu'il est communément admis que 80% du parc de 2050 est déjà construit.

La réglementation apparaît donc aujourd'hui insuffisante pour garantir la qualité d'usage et la résilience[10] des bâtiments face aux conditions climatiques futures.

2.3. Une réponse structurée dans le cadre du PNACC

La présente doctrine constitue **une réponse à la mesure 12-1 du PNACC-3**, pilotée par la direction de l'immobilier de l'État (DIE), qui vise à anticiper les effets des épisodes de chaleur à venir dans les projets immobiliers de l'État.

Les enjeux liés à l'organisation du travail et aux conditions d'accueil des agents publics relèvent d'autres dispositifs, notamment :

- **Mesure 12-2 :** Adapter l'organisation du travail et les conditions d'accueil des agents ;
- **Mesure 11 :** Adapter les conditions de travail au changement climatique en renforçant les obligations de prévention des employeurs.

Néanmoins ces mesures sont interdépendantes car l'immobilier doit tenir compte des conditions d'usage envisagées et les mesures d'organisation sont tributaires des possibilités offertes par le bâtiment.

D'autres mesures du PNACC traitent également l'immobilier au-delà du périmètre de l'État et abordent des sujets complémentaires (voir notamment les mesures 9, 14, 15 et 19).

3. OBJECTIFS ET APPROCHE DE LA DOCTRINE

3.1. Les deux objectifs visés par la doctrine

Les projets de construction neuve et de réhabilitation lourde doivent dorénavant satisfaire un double objectif :

- **Maintenir un « confort thermique[11] » du bâtiment compatible avec les activités exercées par les occupants lors des épisodes « récurrents[12] »** de chaleur définis par la TRACC.
- **Garantir la « résilience thermique[13] » du bâtiment pour en assurer le maintien en condition opérationnelle lors des épisodes « exceptionnels[14] »** de chaleur définis selon la TRACC. L'enjeu étant ici de **préserver la continuité du service public**.

Le climat intérieur d'un bâtiment **résulte de l'interaction de plusieurs facteurs** :

- Le **climat** à l'échelle du territoire d'implantation du site (et le microclimat local) ;
- Les caractéristiques du **site** et de son foncier (ombrage, végétalisation, minéralisation) ;
- La conception architecturale et les choix techniques du **bâtiment** ;
- Les conditions réalistes d'usage et d'exploitation par les **occupants**.



La doctrine vise à agir de manière coordonnée sur ces différentes dimensions, qui conditionnent l'intensité des impacts des épisodes de chaleur.

3.2. Les cinq principes structurants de la doctrine

Cinq principes structurants constituent le cadre de référence pour la conception des bâtiments neufs et la réhabilitation des bâtiments existants :

1. Traiter la gestion des épisodes de chaleur comme un déterminant majeur du projet, influençant les choix architecturaux, techniques et d'exploitation ;

2. Intégrer la dérive climatique définie par la TRACC dans les hypothèses de conception, selon des horizons temporels différenciés (2050 et 2100) ;

3. Recourir prioritairement à l'approche bioclimatique avant toute mobilisation de systèmes actifs ;

4. Intégrer des conditions d'usage réalistes du bâtiment et définir des modalités d'exploitation dégradées à enclencher lors des épisodes exceptionnels ;

5. Modéliser les hypothèses et solutions via des simulations thermiques dynamiques (STD), qui doivent accompagner la décision au plus tôt dans le projet.

Ces principes et leur application opérationnelle sont détaillés dans la suite du document.

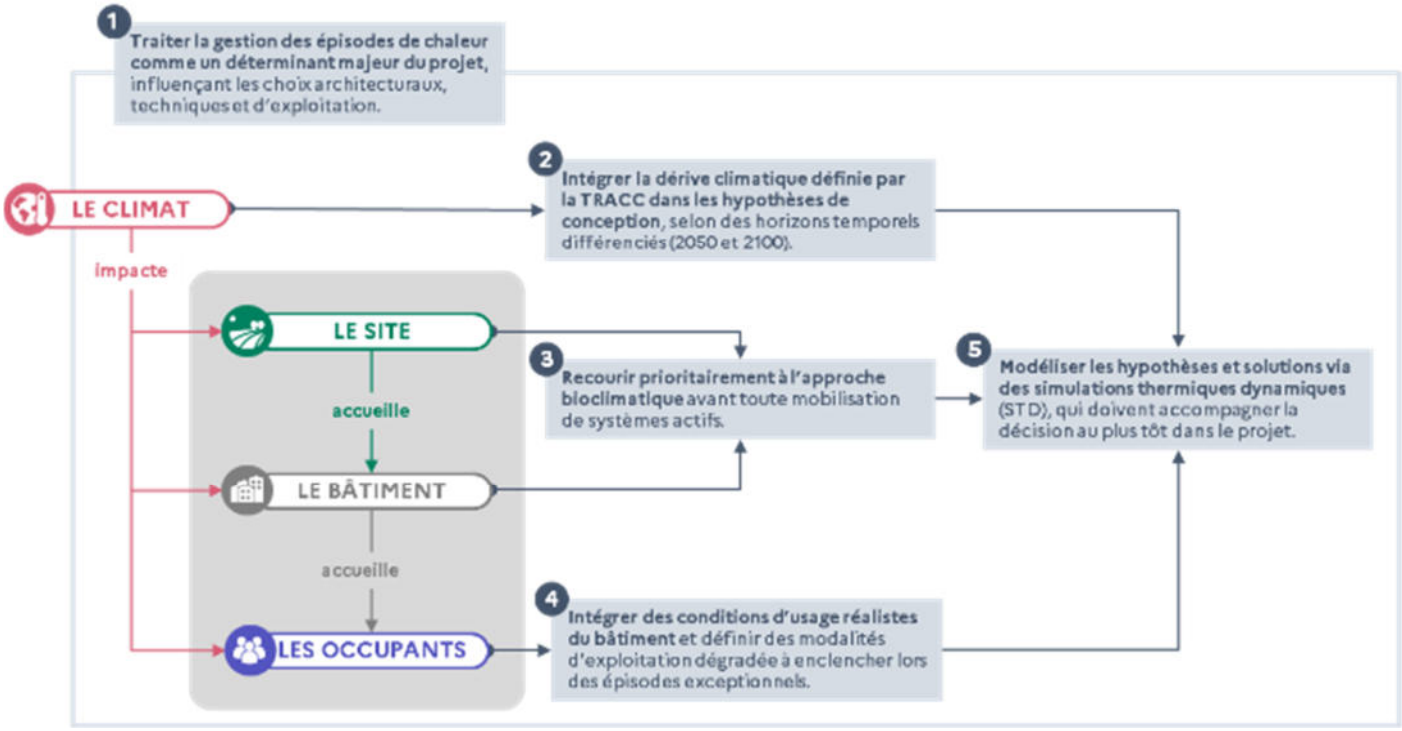


Figure : Schéma récapitulatif des 5 principes structurants de la doctrine.

4. PRINCIPE N°01 : TRAITER LA GESTION DES ÉPISODES DE CHALEUR COMME UN DÉTERMINANT MAJEUR DU PROJET



4.1. Une exigence structurante intégrée dès l'amont

La gestion des épisodes de chaleur doit être considérée comme **une exigence stratégique et structurante du projet immobilier**, au même titre que la performance énergétique, la sécurité ou l'accessibilité. Elle s'applique à l'ensemble du cycle de vie du bâtiment, de la faisabilité programmatique à l'exploitation, et **doit être intégrée dès les premières phases de conception**.

Elle doit s'inscrire dans une démarche plus large d'évaluation de la résilience du bâtiment et des activités hébergées au regard des risques climatiques et systémiques émergeants.

Encore peu encadrée réglementairement, la gestion de la chaleur impose de formuler des arbitrages explicites, notamment entre sobriété énergétique, coût d'investissement, limitation des systèmes techniques et robustesse face aux conditions climatiques futures. Elle conduit à dépasser une logique de conformité pour viser l'exploitabilité durable des bâtiments dans un climat qui se réchauffe.

4.2. Une approche priorisant la sobriété et la limitation des besoins

La stratégie de gestion des épisodes de chaleur repose d'abord sur la limitation des besoins de rafraîchissement, en mobilisant en priorité des solutions passives[15] et bioclimatiques et des technologies simples (cf. principe 3).

Les systèmes actifs[16] ne sont mobilisés que par la suite, au-delà de seuils d'inconfort définis en conception, **et ne peuvent se substituer à une conception inadaptée du bâtimen**t. Dans un contexte de réchauffement climatique, l'appréciation du confort thermique doit évoluer vers des approches plus adaptatives[17], tenant compte des conditions réelles d'usage et des capacités d'adaptation des occupants (cf. principe 4).

4.3. Une prise en compte centrale des usages et de l'exploitation

La capacité d'un bâtiment à faire face aux épisodes de chaleur dépend autant de ses caractéristiques intrinsèques que de ses conditions réelles d'usage et d'exploitation. Il est donc indispensable de **fonder la conception sur des hypothèses réalistes, intégrant les pratiques effectives, les contraintes d'exploitation et les modes d'occupation futurs** (cf. principe 4).

À ce titre, **les utilisateurs et le futur exploitant doivent être associés le plus en amont possible du projet, dès la phase de programmation.** Leur implication précoce est essentielle pour :

- Qualifier les usages réels et les besoins spécifiques ;
- Identifier les contraintes d'exploitation et de maintenance ;
- Définir des conditions acceptables d'exploitation en situation courante et dégradée ;
- Garantir la faisabilité et l'appropriation des solutions retenues.

L'optimisation des usages constitue un levier majeur, mobilisable à faible coût énergétique. Elle peut se traduire par une organisation adaptée des espaces, l'identification de zones plus favorables ou l'adaptation saisonnière des usages. Ces stratégies doivent être construites en lien étroit avec les utilisateurs en phase de programmation et reprises dans les contrats d'exploitation et de maintenance afin d'en garantir la pertinence et l'efficacité.

L'adaptation des usages peut concerner les prestations de service assurées dans le bâtiment. Certaines activités, telles que la restauration collective, peuvent en effet constituer d'importantes sources d'apports internes de chaleur et exposer les agents ou prestataires à des conditions de travail dégradées. Les contrats de service peuvent ainsi prévoir des modalités de fonctionnement adaptées lors des épisodes de chaleur (par exemple la réduction ou la substitution temporaire des repas chauds par des repas froids au-delà d'un certain seuil de température ou lors d'un épisode caniculaire), afin de préserver les conditions de travail, de limiter les besoins de rafraîchissement et de contribuer à la résilience globale du bâtiment.

La conception doit également intégrer des situations de fonctionnement dégradé, permettant d'assurer la continuité d'activité lors d'épisodes exceptionnels. Cela conduit à définir des priorités d'usage, des seuils de dégradation acceptables et, **lorsque nécessaire, des espaces refuges[18] climatisés**, permettant de concentrer les moyens techniques sur des zones critiques (cf. Principe 4).

Ces éléments doivent être cohérents avec les dispositifs existants, notamment le document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP) et les plans de continuité d'activité (PCA), qui doivent intégrer les risques liés aux épisodes de chaleur.

4.4. Une approche patrimoniale et territoriale de la résilience à la chaleur

La résilience face aux épisodes de chaleur ne peut être appréhendée à la seule échelle du bâtiment. Chaque opération immobilière s'inscrit dans un parc immobilier et dans un territoire avec lesquels elle interagit.

À l'échelle du parc immobilier, le projet doit contribuer à renforcer la résilience globale de l'administration, en identifiant les fonctions critiques à préserver, les possibilités de mutualisation, de report d'activité et les bâtiments refuges lors des épisodes exceptionnels de chaleur.

À l'échelle territoriale, le projet peut également constituer une ressource pour la gestion de crise, en offrant des capacités d'accueil ou en contribuant à la continuité des services essentiels. Sa conception doit donc tenir compte des vulnérabilités et des interdépendances territoriales (îlots de chaleur urbains, disponibilité de l'énergie et de l'eau, dépendance aux réseaux critiques, accès aux espaces de fraîcheur).

Cette approche doit être cohérente avec les schémas directeurs immobiliers, les plans de continuité d'activité et les stratégies territoriales d'adaptation au changement climatique.

4.5. Un dialogue structuré entre acteurs du projet

La gestion des épisodes de chaleur suppose **une collaboration étroite entre l'ensemble des parties prenantes** : MOA, MOE, futur exploitant et utilisateurs.

La MOA, accompagnée de son assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO programmiste), et éventuellement d'une assistance à maîtrise d'usage[d] (AMU), recueille les besoins, définit les objectifs de confort et de résilience, les conditions d'exploitation ainsi que les seuils d'acceptabilité, en s'appuyant sur les entretiens et les enquêtes du recueil d'usages menés durant la phase de programmation. La MOE formalise les réponses architecturales et techniques, en justifiant les choix au regard de ces objectifs, notamment à l'aide d'outils de simulation (cf. principe 5).

[d] Acteur qui pilote une démarche participative d'intégration des futurs usagers dès la conception du projet immobilier. Sa mission est de concevoir des espaces réellement adaptés aux besoins réels de ceux qui vont les occuper, en favorisant la concertation et la co-conception.

Ce dialogue doit être organisé, formalisé et continu tout au long du projet. Il repose sur une explicitation claire des responsabilités, des jalons décisionnels, des livrables attendus et des modalités d'arbitrage. Il doit également permettre d'assurer la traçabilité des hypothèses d'usage et des choix de conception associés.

4.6. Un besoin de performance à inscrire dans les pièces contractuelles

Les objectifs de confort et de résilience thermique **doivent être inscrits de manière explicite dans les documents de programmation et de consultation et traduits en conception** (cf. Annexe 2).

Cet engagement doit reposer sur une combinaison entre :

- Obligations de moyens (qualité de conception, cohérence des hypothèses) ;
- Evaluation de la performance relative dans un cadre défini, notamment par STD (cf. principe 5, Annexe 4, Annexe 5 et Annexe 7).

La MOA doit définir les conditions d'usage, les seuils d'acceptabilité et les scénarios climatiques de référence. La MOE doit expliciter les hypothèses retenues et les marges associées.

Ces exigences de confort et de résilience du bâtiment aux épisodes de chaleur doivent également être déclinées dans les contrats d'exploitation, de maintenance et de services. Ces contrats doivent préciser les modalités de pilotage, de maintenance et d'adaptation des installations en période de chaleur, ainsi que les responsabilités des différents intervenants. Des exigences de performance peuvent être intégrées (ex : disponibilité des locaux et des équipements en fonction de niveaux de criticité) afin d'engager le mainteneur.

4.7. Une approche en coût global dès la conception

Les choix de conception doivent intégrer une approche en coût global, prenant en compte les coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance. Cette exigence est prévue par le code de la commande publique[e].

Elle permet d'éclairer les arbitrages et de garantir la soutenabilité financière des choix dans la durée, en cohérence avec les conditions d'exploitation et la continuité du service public.

4.8. Garantir la performance dans la durée : mise en service et exploitation

La performance réelle du bâtiment dépend des conditions de mise en service et d'exploitation. **Elle doit s'appuyer sur des démarches de commissionnement et, le cas échéant, de rétro-commissionnement.**

Le commissionnement vise à vérifier, dès la programmation, le bon fonctionnement des systèmes, la cohérence des réglages et l'atteinte des performances attendues. Il s'inscrit notamment dans le cadre des exigences relatives aux systèmes techniques et aux systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments[f] (BACS).

Le rétro-commissionnement permet, en phase d'exploitation, d'identifier les dérives, d'ajuster les réglages et d'adapter le fonctionnement aux conditions réelles d'usage et aux évolutions climatiques.

Ces démarches doivent être anticipées dès la conception et formalisées dans les documents du projet, notamment dans le dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO), afin de garantir la maintenabilité et la pérennité des performances.

[e] Article R.2431-12 pour les constructions neuves et article R.2431-22 pour les réhabilitations.
[f] cf. articles R.111-22-2 et suivants du code de la construction et de l'habitation.

4.9. Adapter le montage d'opération et la gouvernance

Le montage de l'opération constitue un levier déterminant pour assurer la cohérence entre conception, réalisation et exploitation, et garantir la performance réelle du bâtiment dans la durée.

Les montages traditionnels de type « ex-loi MOP » offrent un cadre structurant, mais peuvent présenter des limites en matière de continuité entre les différentes phases du projet et d'engagement sur la performance en exploitation. Ils nécessitent une vigilance particulière dans l'organisation du dialogue entre acteurs et dans la définition des responsabilités (cf. Annexe 2).

Les marchés globaux de performance (MGP), ou les opérations de conception-réalisation intégrant l'exploitation-maintenance, permettent un rapprochement plus étroit entre conception, réalisation et exploitation. Ils offrent des leviers supplémentaires pour intégrer des objectifs de performance dans la durée, sous réserve d'une définition précise des besoins dès l'amont et d'une implication renforcée de la MOA et des utilisateurs.

Dans tous les cas, la MOA doit organiser une gouvernance adaptée, garantir la continuité des décisions tout au long du projet et définir, dès la conception, un mode de fonctionnement cible du bâtiment, partagé avec les exploitants et les occupants.

A RETENIR

La gestion des épisodes de chaleur constitue désormais un déterminant structurant du projet immobilier. Elle doit être intégrée dès la programmation et orienter les choix architecturaux, techniques et d'exploitation.

Elle implique :

- D'ancrer la conception dans des usages réalistes, en intégrant dès l'amont les besoins des utilisateurs et le futur exploitant ;
- D'organiser un dialogue continu et formalisé entre MOA, MOE et parties prenantes ;
- De prioriser la sobriété et la simplicité en favorisant les solutions passives et avant tout recours aux systèmes actifs ;
- D'inscrire le projet dans une réflexion à l'échelle du parc immobilier et du territoire, afin d'identifier les possibilités de mutualisation, de report d'activité et les ressources locales mobilisables en situation dégradée ;
- D'inscrire explicitement les objectifs de confort et de résilience thermique dans les pièces contractuelles des marchés de travaux mais aussi d'exploitation, de maintenance et de services ;
- D'assurer la performance dans la durée, par une mise en service maîtrisée et un suivi en exploitation ;
-

5. PRINCIPE N°02 : PRENDRE EN COMPTE, DANS LES HYPOTHÈSES DE CONCEPTION, LA DÉRIVE CLIMATIQUE

le climat

5.1. Concevoir pour un climat futur

Le climat actuel ne constitue plus une référence pertinente pour la conception des bâtiments. **La conception doit désormais intégrer des données prospectives reposant sur la TRACC.**

Ce changement traduit une évolution profonde des pratiques : il ne s'agit plus uniquement de satisfaire un cadre réglementaire, mais de concevoir des bâtiments capables de fonctionner dans des conditions climatiques futures, incertaines et plus intenses qu'aujourd'hui.

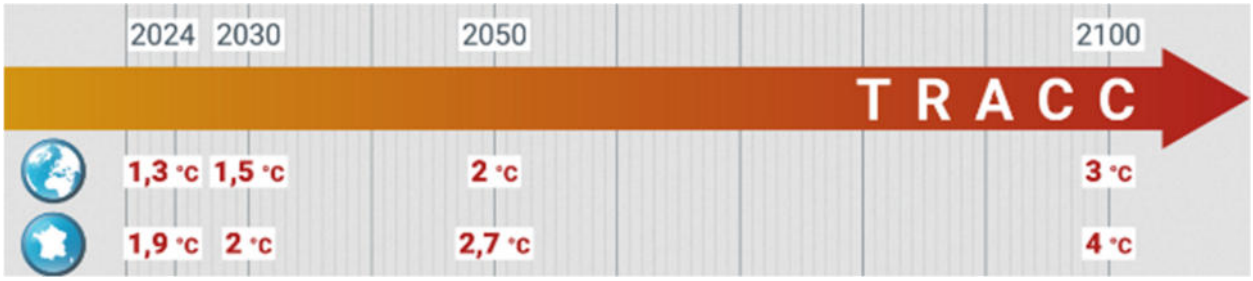


Figure 2 : Evolution du réchauffement climatique dans le Monde et en France hexagonale/Corse

5.2. Intégrer plusieurs horizons temporels

La conception doit s'appuyer sur une approche différenciée dans le temps, permettant de prendre en compte à la fois l'évolution progressive du climat et l'intensification des épisodes extrêmes.

Deux horizons doivent être considérés :

- **Horizon 2050 :** Cadre de référence pour l'ensemble des opérations, en construction neuve comme en réhabilitation ;
- **Horizon 2100 :** Anticipation de la seconde vie du bâtiment, en particulier pour les opérations neuves.

L'analyse à long terme ne vise pas à anticiper précisément les conditions d'exploitation futures, mais **à évaluer la robustesse intrinsèque du bâtiment et sa capacité d'adaptation future**. Elle permet notamment d'identifier les écarts de performance susceptibles d'apparaître dans le temps et d'orienter les choix de conception vers des solutions évolutives.

5.3. Utiliser des scénarios climatiques dimensionnants

Les STD doivent s'appuyer sur des fichiers climatiques prospectifs et dimensionnants[19] conformes à la TRACC, notamment ceux publiés conjointement par l'ADEME, Météo-France, le CSTB et la DHUP[g] en juin 2025 (cf. principe 5).

Ces fichiers, disponibles pour chacune des 8 stations de référence de la RE2020 et pour trois horizons de temps (2030, 2050 et 2100), proposent deux scénarios :

[g] Lien vers les fichiers :
2050 exceptionnel > https://data.ademe.fr/datasets/donnees-climatiques-prospectives-france-27c-vague-de-chaleur
2100 récurrent > https://data.ademe.fr/datasets/donnees-climatiques-prospectives-france-4c
2100 exceptionnel > https://data.ademe.fr/datasets/donnees-climatiques-prospectives-france-4c-vague-de-chaleur

- Une année météorologique typique, dite « récurrente » ;
- Une année météorologique avec une séquence « vague de chaleur exceptionnelle » (probabilité de 5%).

Bien que pleinement exploitables, ces fichiers présentent encore des limites : un maillage territorial insuffisant, souvent peu représentatif des contextes urbains, une prise en compte partielle des effets locaux (notamment des îlots de chaleur urbains) et une possible sous-estimation de l'intensité, de la durée et des effets cumulés des épisodes de chaleur, en particulier nocturnes. Des travaux sont en cours chez Météo France et au CSTB pour améliorer ces données, avec une déclinaison plus fine intégrant les effets d'îlots de chaleur urbains et un maillage territorial plus précis, attendue à court terme (2027).

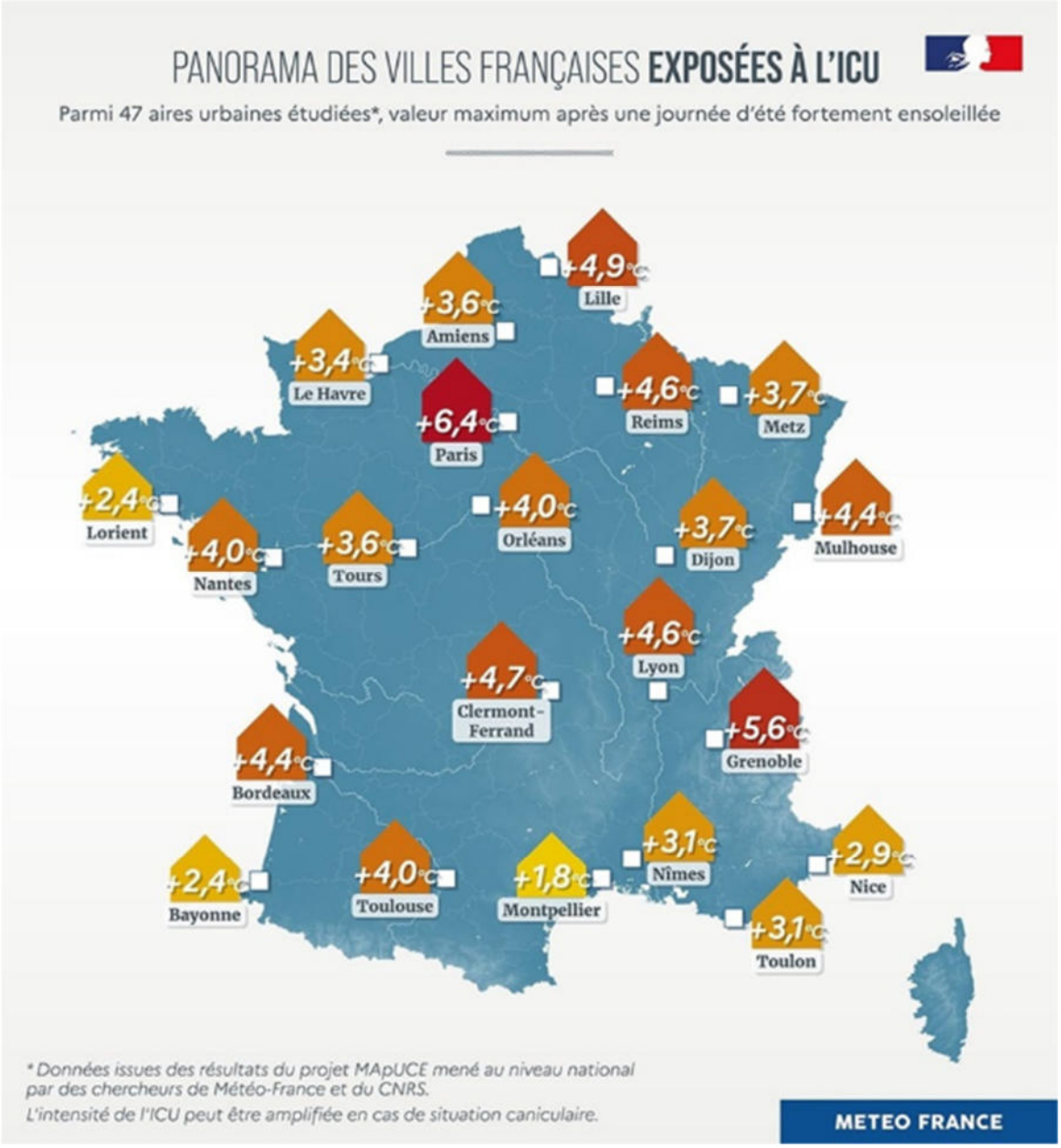


Figure 3 : Panorama des villes françaises exposées à l'ICU – Source : projet Mapuche, Météo-France / CNRS

En pratique :

- **Le dimensionnement des bâtiments, en construction neuve comme en réhabilitation, doit être réalisé sur la base du fichier climatique 2050 intégrant une vague de chaleur exceptionnelle, correspondant à la station météorologique de référence ;**

- **Les fichiers climatiques à l'horizon 2100, en conditions récurrentes et exceptionnelles, doivent être mobilisés pour évaluer la robustesse du bâtiment et sa capacité d'adaptation dans le temps, en particulier pour les opérations de construction neuve.**

Ces scénarios permettent :

- D'évaluer les risques de surchauffe[20] ;
- De tester la résilience thermique du bâtiment ;
- De dimensionner les stratégies passives et, le cas échéant, les systèmes actifs ;
- De tester l'efficacité des stratégies d'exploitation, notamment en mode dégradé.

5.4. Prendre en compte les incertitudes et les spécificités locales

Pour les projets localisés dans des contextes géographiques particuliers constituants des facteurs aggravants, en particulier les îlots de chaleur urbains (ICU), **il est possible d'utiliser d'autres fichiers climatiques à condition qu'ils soient plus dimensionnants que le fichier climatique 2050 intégrant une vague de chaleur exceptionnelle**.

Cette démarche peut s'appuyer sur des méthodologies reconnues, notamment celles proposées par le « Manifeste pour l'adaptation systématique du bâti aux vagues de chaleur »[h].

A RETENIR

- Les **climats passés et actuels ne constituent plus une référence pertinente** pour la conception des bâtiments ;
- Les hypothèses de conception doivent reposer **sur des fichiers climatiques prospectifs dimensionnants, définis selon la TRACC**.
- La conception doit intégrer **deux horizons temporels : 2050 et 2100**.
- Le dimensionnement doit être réalisé **sur la base du fichier climatique 2050 intégrant une vague de chaleur exceptionnelle de Météo France**, pour l'ensemble des projets, en construction neuve comme en réhabilitation.

[h] Lien vers la méthodologie : https://www.manifeste-batiment-durable.fr/?STD-donnees-climatiques

6. PRINCIPE N° 03 : RECOURIR PRIORITAIREMENT À L'APPROCHE BIOCLIMATIQUE



6.1. FAIRE DE L'APPROCHE BIOCLIMATIQUE LE SOCLE DE LA CONCEPTION

L'architecture bioclimatique est un mode de conception architectural qui recherche la meilleure adéquation possible entre le climat, le bâtiment et le confort de l'occupant.

Elle doit être mobilisée de manière prioritaire et exhaustive, en amont de tout recours à des dispositifs actifs. L'ensemble des leviers passifs doit être optimisé afin de limiter les besoins de climatisation.

Le recours à des solutions semi-passives puis actives ne peut intervenir qu'en complément, lorsque ces leviers ne permettent plus de garantir des conditions acceptables. En particulier, la climatisation constitue une option subordonnée, à mobiliser de manière ciblée et justifiée.

L'approche bioclimatique constitue ainsi le socle de la réponse aux épisodes de chaleur. Elle repose sur quatre leviers complémentaires :

- **Ancrer le bâtiment dans son contexte climatique ;**
- **Maîtriser les apports solaires ;**
- **Limiter la transmission de chaleur ;**
- **Faciliter l'évacuation des calories emmagasinées.**

Ces principes s'appliquent à l'échelle du bâtiment comme de la parcelle, et concernent aussi bien les constructions neuves que les opérations de réhabilitation (cf. Annexe 3).

6.1.1 Ancrer le bâtiment dans son contexte climatique

En construction neuve, certains paramètres doivent être optimisés dès la phase de programmation, **le projet doit ainsi s'appuyer sur une analyse environnementale[21] du site** (ensoleillement, vents dominants, topographie, végétation, microclimat). Cette analyse guide les choix d'implantation, de morphologie et d'organisation des espaces (cf. principe 4).

La volumétrie et la géométrie du bâti constituent des leviers structurants : compacité, porosité, organisation des masses bâties qui influencent directement les apports solaires, la ventilation naturelle et l'accumulation thermique.

En réhabilitation, du fait de l'implantation existante, des interventions ciblées sur le bâti et les aménagements peuvent améliorer significativement le comportement thermique du bâtiment, tenant compte de son environnement immédiat (masque existant, ICU, …) et des éléments naturels auxquels il est soumis (course du soleil, vents dominants…).

6.1.2 Maîtriser les apports solaires

La maîtrise des apports solaires constitue le premier levier de lutte contre la surchauffe (cf. Annexe 3). Elle repose sur une conception adaptée des façades selon leur orientation, une maîtrise des surfaces vitrées et l'intégration de protections solaires efficaces permettant une modulation saisonnière.

Toutes les orientations de façades doivent être prises en compte, y compris celles réputées moins exposées en début et fin de journée.

Le recours à des façades fortement vitrées doit être limité. Lorsqu'il est retenu, il doit être justifié par simulation (cf. principe 5), démontrant la maîtrise des surchauffes et le temps d'exposition.

6.1.3 Limiter la transmission de chaleur

La performance de l'enveloppe constitue un levier essentiel. Elle repose sur une isolation continue, la réduction des ponts thermiques, une étanchéité à l'air maîtrisée et le recours à des matériaux à forte inertie thermique[22] (cf. Annexe 3).

Ces dispositions doivent être conjuguées de manière cohérente avec les autres objectifs et impératifs du projet. Une inertie importante, **non associée à une stratégie d'évacuation efficace des calories emmagasinées, peut conduire à une accumulation progressive de chaleur lors d'épisodes prolongés**.

6.1.4 Faciliter l'évacuation des calories emmagasinées

L'évacuation de la chaleur repose en priorité sur des dispositifs passifs, notamment la sur-ventilation naturelle : traversante, en effet de cheminée, en période diurne (les premières heures de la matinée) et nocturne (cf. Annexe 3).

Les systèmes mécaniques, lorsqu'ils existent doivent venir en complément (sur-ventilation nocturne par CTA, …).

La configuration des protections solaires et des dispositifs de ventilation pensés depuis les menuiseries extérieures doit être conçue de manière coordonnée afin d'apporter une réponse efficace au traitement thermique (compatibilité avec les ouvertures, la sécurité incendie, l'entretien, la mise en place de ventilation mécanique, etc.)

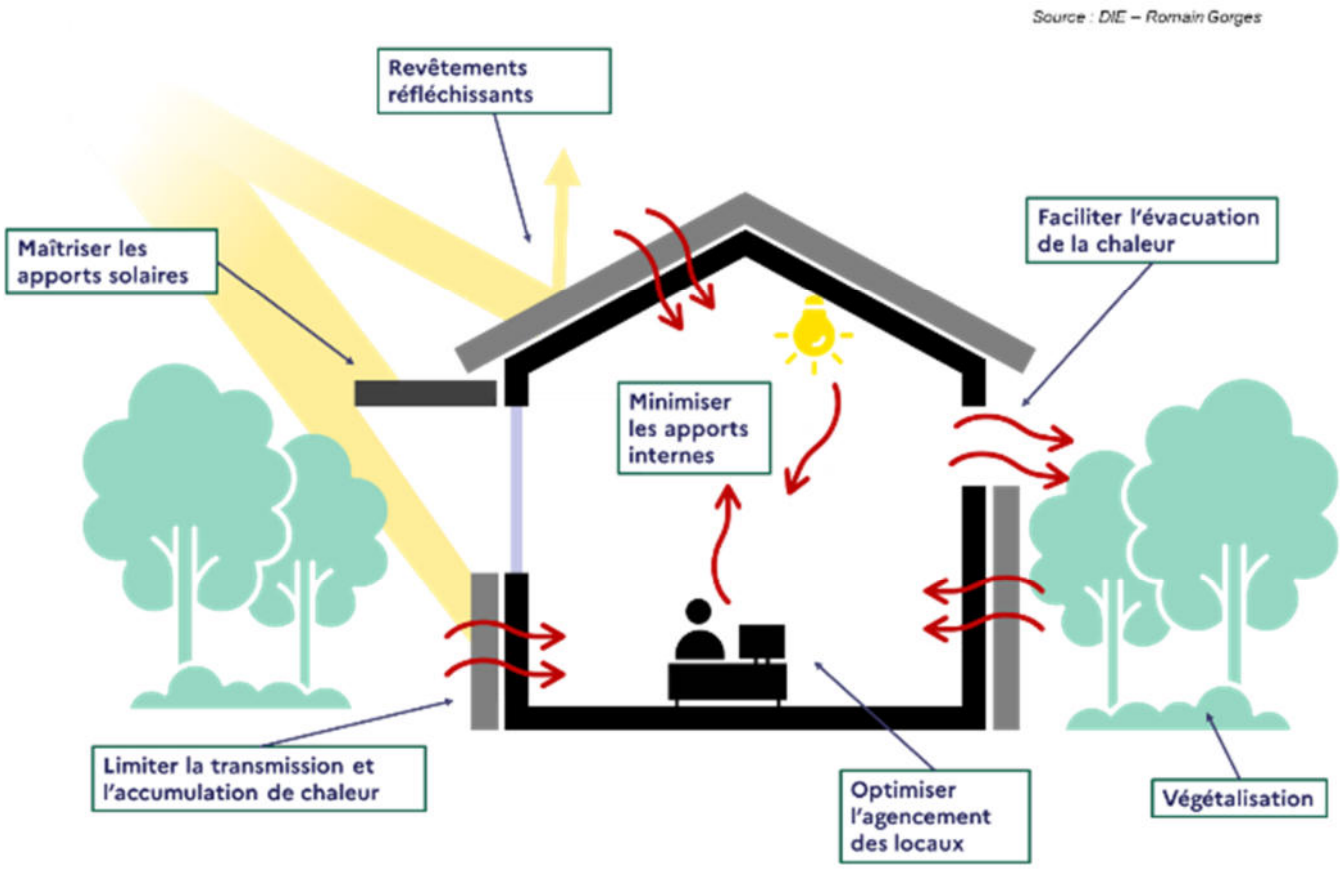


Figure 4 : Approche bioclimatique

6.1.5 Compléments de conception bioclimatique

D'autres dispositions contribuent à la performance thermique :

- Organisation des espaces (locaux sensibles sur façades favorables, zones tampons) ;
- Traitement des surfaces extérieures (albédo[23], perméabilité, végétalisation).

6.2 RECOURS AUX SYSTEMES SEMI PASSIFS ET ACTIFS

Le recours aux systèmes semi-passifs et actifs ne doit intervenir qu'après mobilisation complète des leviers de l'architecture bioclimatique. Cette règle répond à plusieurs enjeux structurants.

D'une part, le coût de l'énergie est appelé à évoluer dans un contexte incertain, **marqué par des tendances à la hausse et à la volatilité**. D'autre part, les systèmes de production et de distribution d'énergie sont eux-mêmes exposés à des risques, notamment climatiques. Enfin, les solutions techniques reposent sur des équipements dont la robustesse face aux conditions futures, aux exigences de maintenance et la disponibilité des composants ne peuvent être garanties dans la durée.

À l'inverse, **des solutions sobres et techniquement simples** (« *low tech* ») offrent généralement une meilleure robustesse, notamment en fonctionnement dégradé.

Dans ce contexte, le choix des systèmes doit privilégier des solutions efficaces, peu consommatrices d'énergie, robustes et adaptées aux usages réels. Elles doivent être mobilisées selon une logique progressive et hiérarchisée (cf. Annexe 3), en recherchant la combinaison la plus pertinente au regard du contexte du projet. Ainsi, en génie climatique, on distingue :

- La source de froid (air, sol, nappe,...) ;
- Le mode de production (passif ou actif).

La hiérarchisation des solutions suivantes peut être retenue :

- Mobilisation des principes passifs du bioclimatiques ;
- Solutions semi-passives de type rafraichissement ;
- Solutions actives (à privilégier sur certains locaux particulièrement sensibles au plan des usages).
- Solutions actives de type climatisation

Deux solutions peuvent se distinguer :

- Production centralisée (ou à faible impact carbone)
- Production décentralisée (ou local)

Dans tous les cas, les systèmes techniques **doivent rester complémentaires des stratégies passives** et être dimensionnés en cohérence avec les performances intrinsèques du bâtiment, afin de garantir sa robustesse, sa soutenabilité et sa capacité d'adaptation dans la durée.

Le dimensionnement des systèmes semi-passifs et actifs doit prendre en considération l'évolution et l'adaptation aux conditions climatiques futures les plus sévères, incluant des températures extrêmes pouvant atteindre 50°C dans les zones les plus exposées (ICU). **Pour les activités critiques, il convient de prévoir une adaptabilité des espaces concernés et des équipements afin de garantir la continuité de service en situation de chaleur extrême.**

Cette exigence de robustesse renforcée concerne spécifiquement les fonctions les plus indispensables et ne doit pas conduire à une généralisation de systèmes surdimensionnés.

6.3 DEFINIR DES GARDES FOUS EN AMONT DES SIMULATIONS

Les porteurs de projet sont invités à définir, avant toute STD, des garde-fous fondés sur une mobilisation maximale de ces principes bioclimatiques. Ces exigences garantissent un socle minimal de robustesse thermique, indépendant des résultats de simulation, et doivent être intégrées dès l'amont du projet.

Elles portent notamment sur :

- La maîtrise des apports solaires ;
- L'inertie thermique ;
- La ventilation naturelle et nocturne ;
- Le traitement des abords.

La STD intervient ensuite pour comparer et dimensionner les solutions afin objectiver les choix dans ce cadre.

6.4 L'APPROCHE BIOCLIMATIQUE EN REHABILITATION ET CONTRAINTES PATRIMONIALES

En réhabilitation, les deux principes fondamentaux de l'approche bioclimatique à savoir, **adapter le bâtiment à son environnement** et **optimiser son orientation**, sont des leviers **non maitrisables** et qui échappent à toute possibilité d'action (sauf si extension), dès lors, **ancrer le projet dans son contexte climatique** devient une **disposition subie**.

Dans ce contexte, il convient d'adopter une logique pragmatique, **en ciblant en premier lieu la maîtrise des apports solaires et de manière concomitante l'amélioration de l'isolation de l'enveloppe bâti, l'aménagement intérieur et la mise en place d'une ventilation**.

Pour les bâtiments classés, inscrits ou situés en périmètre protégé, la mise en œuvre des principes bioclimatiques doit être adaptée aux contraintes patrimoniales et discutés en amont de la programmation avec les services compétents (architectes des bâtiments de France), afin de concilier préservation du patrimoine et amélioration du confort thermique

A RETENIR

- **L'approche bioclimatique doit constituer le socle de la conception**, en mobilisant prioritairement et obligatoirement l'ensemble des leviers passifs.
- L'objectif est de **limiter au maximum les besoins de climatisation**, en agissant sur les apports solaires, l'accumulation de chaleur et son évacuation.
- **Les installations techniques ne doivent intervenir qu'en complément**, selon une logique de hiérarchisation : bioclimatique / semi-passif / actif.
- Le recours à la climatisation **doit être ciblé et justifié**.
- **Les systèmes techniques doivent être autant que possible robustes, sobres et simples d'exploitation (low tech)** : une complexité excessive introduit des vulnérabilités (maintenance, pannes, dépendances).
- L'adaptabilité du bâtiment et des systèmes techniques **desservant des fonctions critiques doit être prévu pour fonctionner en situation de chaleurs extrêmes**. Des marges de dimensionnement renforcées, voire des dispositifs redondants doivent être envisagés afin de garantir la continuité d'activité et selon les besoins préalablement identifiés.

- L'ensemble des choix **doit être cohérent à toutes les échelles du projet** (bâtiment, parcelle, usages) et évalué dans la durée (cf. principe 5) et au regard des besoins en investissement.

7 PRINCIPE 04 : INTÉGRER DES CONDITIONS D'USAGE ET D'OCCUPATION RÉALISTES DES BÂTIMENTS



7.1 Ancrer la conception dans des usages réalistes et incertains

Les hypothèses d'exploitation constituent un déterminant majeur de la conception thermique des bâtiments. **Elles restent toutefois trop souvent fondées sur des scénarios théoriques, insuffisamment représentatifs des conditions réelles d'usage et d'occupation.** Elles intègrent encore mal la diversité des pratiques, leur variabilité dans le temps, ainsi que les écarts inévitables entre usages prescrits et usages effectifs.

Cette approche **conduit à sous-estimer les besoins réels, à mal anticiper les situations de surchauffe et à générer des écarts significatifs entre performances théoriques et performances observées**, en particulier lors des épisodes de chaleur.

7.2 La conception doit donc s'appuyer sur des profils d'usage et d'occupation réalistes, intégrant explicitement :

- Les charges internes (occupation, éclairage, équipements), dans un contexte de densification des usages ;
- Les rythmes d'occupation (présence, intermittence, télétravail, horaires spécifiques) ;
- Les comportements des usagers, y compris leurs variabilités et leurs usages non conformes aux intentions de conception ;
- Leur vulnérabilité (petite enfance, personnes âgées, agents de restauration, etc.).

Il s'agit non seulement de décrire un usage « nominal », **mais également d'anticiper des situations dégradées ou imparfaites, afin de tester la robustesse intrinsèque du bâtiment**.

Ces hypothèses doivent être définies de manière concertée entre la MOA, le programmiste, l'utilisateur, les futurs exploitants en amont du projet puis, en lien avec la MOE avec (cf. principe 1).

7.3 Intégrer des modes d'exploitation différenciés

Les stratégies d'usage et d'occupation constituent un levier central de résilience face aux épisodes de chaleur (cf. principe 1). La conception doit ainsi intégrer des modalités d'exploitation différenciées selon les situations rencontrées.

Il convient de distinguer :

- Les conditions d'exploitation courante ;
- Les situations d'épisode de chaleur, qu'elles soient récurrentes ou exceptionnelles.

Cette distinction permet d'anticiper le fonctionnement du bâtiment en mode dégradé et d'en vérifier la capacité d'adaptation.

Les hypothèses d'usage structurent directement :

- L'organisation spatiale et le zonage thermique (cf. Annexe 7) ;
- L'identification de zones refuges ;
- La flexibilité des aménagements ;
- Les stratégies d'exploitation (priorisation des usages, adaptation des horaires, télétravail, regroupement des occupants).

Ces éléments doivent être définis dès la conception et traduits en scénarios d'exploitation explicites.

7.4 Articuler les usages et l'occupation avec les simulations thermiques

Les hypothèses d'usage et d'exploitation constituent des données d'entrée structurantes des STD. **Leur formalisation et leur traçabilité sont indispensables pour garantir la pertinence des analyses.**

Conformément au principe 5, les simulations doivent :

- Intégrer des profils d'usage et d'occupation réalistes définis par la MOA ;
- Tester des scénarios différenciés (fonctionnement courant, épisodes de chaleur récurrents et exceptionnels) ;
- Évaluer l'efficacité des stratégies d'adaptation en conditions réelles ;
- Intégrer des situations dégradées, incluant des usages imparfaits ou des utilisations non optimales des systèmes par les occupants.

L'objectif n'est pas l'exhaustivité mais l'identification des situations critiques susceptibles de mettre en défaut le bâtiment, afin d'en caractériser les limites de conception et de fonctionnement.

Cette approche permet :

- D'évaluer la robustesse du bâtiment face aux aléas d'usage ;
- De hiérarchiser les leviers d'action ;
- De dimensionner les marges de sécurité nécessaires.

7.5 Définir et intégrer les hypothèses d'usage dès l'amont

Dès la phase de programmation, la MOA, accompagnée du programmiste et, le cas échéant, d'une AMU, définit des profils d'usage et d'occupation cohérents, identifie les activités critiques et précise les objectifs d'exploitabilité en conditions normales et dégradées.

Ces éléments sont consolidés avec la MOE au cours des études et doivent être stabilisés suffisamment tôt pour orienter les choix structurants du projet.

Ils conditionnent notamment :

- L'implantation et le zonage des locaux ;
- La définition des espaces prioritaires ou refuges ;
- La conception des systèmes techniques ;
- Les modalités d'exploitation en situation dégradée.

Dans le cas de montages en marchés globaux, ces hypothèses doivent être définies en amont afin de garantir leur traduction dans les engagements contractuels (cf. principe 1).

7.6 Tester les stratégies d'usage et d'exploitation

Les simulations doivent intégrer des scénarios représentatifs, du fonctionnement nominal aux conditions extrêmes, afin de tester les stratégies d'adaptation définies (cf. principe 5).

Ces stratégies peuvent relever de plusieurs leviers complémentaires :

- Actions liées aux occupants : gestion des protections solaires et des ouvrants, ventilation nocturne, réduction des apports internes[24] ;
- Actions pilotées par l'exploitant : régulation et délestage via les systèmes de gestion technique, adaptation des consignes ;
- Actions organisationnelles : adaptation des horaires, télétravail, regroupement dans des zones rafraîchies, réduction temporaire des surfaces occupées.

Les effets induits, notamment liés à la concentration des occupants dans des zones rafraîchies, doivent être pris en compte.

Les stratégies de pré-refroidissement doivent également être anticipées, en mobilisant les leviers disponibles en amont des épisodes de chaleur afin de limiter la température initiale du bâtiment.

A RETENIR

- **Les hypothèses d'usage et d'occupation doivent être réalistes :** elles doivent intégrer la diversité des pratiques et **les écarts inévitables entre usages réels et usages prévus** ainsi que les stratégies d'occupation élaborées dans le cadre du PCA
- La conception **doit intégrer l'adaptabilité du bâtiment et anticiper des modes d'exploitation différenciés**, incluant des situations dégradées en période de vague de chaleur.
- Les usages sont un levier central de résilience : ils doivent être intégrés dès l'amont, en **associant MOA, Utilisateurs, exploitant et MOE**.
- **Les simulations doivent tester des situations critiques**, y compris des usages imparfaits, afin d'évaluer la robustesse du bâtiment (cf. principe 5).
- Les stratégies d'exploitation doivent être formalisées et intégrées aux dispositifs opérationnels (PCA, DUERP) pour garantir leur mise en œuvre effective.
- Les exploitants doivent être engagés afin de maintenir les locaux et équipements en condition opérationnelle lors des épisodes de chaleur.

8 PRINCIPE N° 05 : MODELISER L'ENSEMBLE DE CES HYPOTHESES ET SOLUTIONS VIA LES SIMULATIONS THERMIQUES DYNAMIQUES (STD)



8.1 Utiliser la STD pour éclairer la décision

La STD constitue un outil central de la démarche d'adaptation des bâtiments aux épisodes de chaleur (cf. Annexe 4). Contrairement aux approches réglementaires fondées sur des hypothèses standardisées, elle permet de modéliser de manière intégrée :

- Les conditions climatiques actuelles et futures (cf. principe 2) ;
- Les caractéristiques du site et de son environnement ;
- Les paramètres architecturaux et techniques du bâtiment ;
- Les conditions d'usage, d'occupation et d'exploitation réalistes.

En croisant ces dimensions, la STD peut permettre d'évaluer la sensibilité et la robustesse du bâtiment face aux épisodes de chaleur, qu'ils soient récurrents ou exceptionnels, ainsi que la pertinence des stratégies d'exploitation, y compris en mode dégradé.

Elle ne constitue pas un outil prédictif : les incertitudes liées aux usages, aux comportements et au climat limitent toute capacité de prévision fine. La STD doit être mobilisée comme un outil d'aide à la décision, permettant d'objectiver l'efficacité relative des solutions technique, d'en définir la performance, de comparer les scénarios et d'en déduire les marges de robustesse du bâtiment.

Le niveau d'approfondissement des études constitue un facteur déterminant de la robustesse du projet. Dans une logique de coût global, il est généralement plus économique d'investiguer davantage de variantes et de retenir des solutions adaptées dès la conception, même lorsqu'elles impliquent un investissement initial supérieur, que de corriger ultérieurement des défauts de conception. Ces derniers se traduisent fréquemment par des travaux correctifs, des surcoûts en exploitation ou directement sur l'activité hébergée du fait de la dégradation des conditions d'usage.

Elle vise avant tout à comparer des solutions et à d'en déduire les conditions dans lesquelles le bâtiment atteint ses limites.

La simulation énergétique dynamique (SED) en constitue le prolongement (cf. Annexe 6), en permettant d'analyser les interactions entre confort thermique, consommations énergétiques en exploitation.

Conformément au principe 3, la conception doit s'appuyer sur des exigences de moyens constituant des garde-fous bioclimatiques (cf. principe 3). Ces exigences définissent un socle minimal de robustesse thermique indépendant des résultats de simulation.

La STD intervient ensuite pour affiner l'analyse, comparer les variantes et objectiver les arbitrages au sein de ce cadre déjà structuré.

8.2 Mobiliser la simulation dès l'amont du projet

En construction neuve

La STD doit être engagée le plus tôt possible, dès la phase de programmation

À ce stade, elle peut être mise en œuvre **sous forme simplifiée**, à partir de modèles théoriques, afin d'éclairer les choix structurants à partir des données du site (implantation, orientation, morphologie). **Plus elle est réalisée tôt, plus les marges de manœuvre sont importantes et les parties prenantes sensibilisées au sujet.**

La réalisation d'une STD simplifiée en phase de programmation est fortement recommandée. Elle permet d'explorer différents scénarios, d'en comparer les ordres de grandeur (surface, besoins énergétiques, coûts) et d'objectiver les arbitrages de la maîtrise d'ouvrage dans une logique de coût global (cf. principe 1). Elle permet aussi de mieux orienter ses priorités auprès de la Moe. La précision absolue n'est pas recherchée, l'objectif est d'éclairer les ordres de grandeur et les choix structurants.

Ces simulations thermiques permettent notamment :

- D'analyser les contraintes climatiques et microclimatiques du site ;
- D'évaluer la sensibilité du bâtiment aux épisodes de chaleur dans son environnement immédiat ;
- De tester l'efficacité des leviers bioclimatiques (cf. principe 3).

Elles contribuent à identifier les priorités de conception, à fixer des objectifs de confort et de résilience, et à cadrer les exigences du programme.

En réhabilitation

La STD s'appuiera sur les données existantes du bâtiment et sur les contraintes et forces du site dans lesquels il s'implante. Le but étant de mobiliser tous les leviers possibles des solutions bioclimatiques passives. Le modèle doit être simulé sur les conditions réelles d'exploitation et sur la projection de son utilisation future après travaux, afin d'en améliorer la fiabilité.

8.3 Déployer la STD tout au long du projet

La STD doit accompagner l'ensemble des phases de conception et être actualisée à chaque étape (cf. Annexe 5) :

- PROGRAMMATION : Implantation, orientation, morphologie, occupation et usages ;
- APS / APD : Comparaison des variantes (architecturales, techniques, d'usages et d'occupation) ;
- PRO / DCE : Consolidation des performances et des marges d'adaptabilité ;
- RECEPTION : Mise à jour du modèle et transmission à l'exploitant.

La traçabilité des hypothèses, des scénarios et des arbitrages constitue un prérequis essentiel pour garantir la cohérence des analyses et sécuriser les engagements dans la durée.

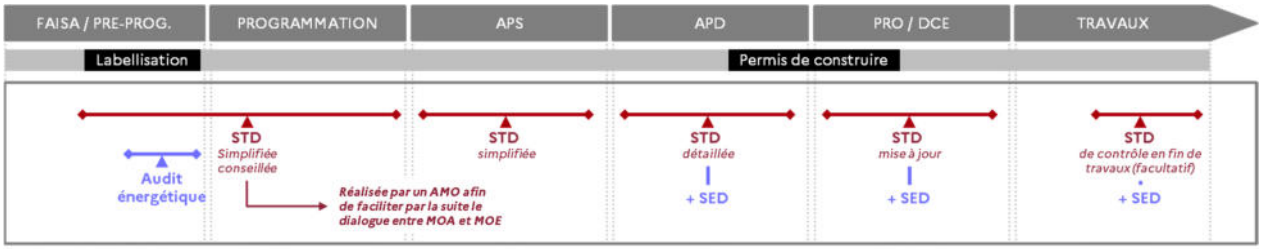


Figure 5 : Réalisation et mise à jour de la STD au cours du projet.

8.4 Structurer les hypothèses et les scénarios

La pertinence des simulations repose sur une définition rigoureuse et partagée des hypothèses.

Une note d'hypothèses doit être formalisée (cf. Annexe 5), précisant :

- Les scénarios climatiques (cf. principe 2) ;
- Les profils d'usage et d'occupation y compris en mode dégradé (cf. principe 4) ;
- Les stratégies d'exploitation, y compris en mode dégradé.

Les simulations doivent intégrer :

- Un horizon 2050, utilisé pour le dimensionnement ;
- Un horizon 2100, permettant d'évaluer la robustesse et la capacité d'adaptation.

Pour chacun de ces horizons, des scénarios dégradés doivent être testés (usages imparfaits, occupation maximisée et écarts aux consignes), afin d'évaluer la robustesse réelle du bâtiment et la pertinence des solutions techniques et organisationnelles.

8.5 Raisonner en exploitabilité et en criticité

L'objectif de la STD ne se limite pas à la vérification du confort thermique. Elle doit permettre de déduire le niveau d'exploitabilité du bâtiment et la continuité des usages en fonction des seuils retenus de dégradation acceptable d'activité (cf. principe 4). À ce titre, la simulation doit intégrer :

- Les enjeux critiques identifiés (espaces, équipements, fonctions) (cf. Annexe 7) ;
- Leur niveau de criticité ;
- Les seuils de fonctionnement associés (dégradation, rupture).

Elle permet ainsi de tester la capacité du bâtiment à maintenir des conditions acceptables en situation réelle, y compris en mode dégradé, et d'objectiver les marges de robustesse (maintien en condition opérationnelle).

8.6 Traduire les exigences en scénarios et analyser les résultats

La STD permet de traduire les exigences définies aux principes 2 et 4 en scénarios de simulation, combinant conditions climatiques futures, usages réels et modalités d'exploitation, y compris en mode dégradé.

L'enjeu principal est d'identifier les situations limites, c'est-à-dire de tester le fonctionnement du bâtiment en condition opérationnelle et identifier ses capacités de résilience.

L'analyse des résultats doit ainsi permettre :

- De révéler les vulnérabilités du bâtiment et de ses usages ;
- D'évaluer la robustesse des solutions architecturales et techniques ;
- De comparer l'efficacité relative des différentes solutions.

La STD constitue ainsi un outil d'arbitrage, permettant de hiérarchiser les leviers d'adaptation en fonction de leur performance réelle, en cohérence avec une approche en coût global (cf. principe 1).

8.7 Formaliser et inscrire les résultats dans le projet

Les résultats des simulations doivent être :

- Tracés et documentés ;

- Partagés entre les acteurs du projet ;
- Traduits en exigences de conception et d'exploitation.

Ils permettent de sécuriser les choix, de formaliser les engagements de performance et de préparer l'exploitation du bâtiment (cf. Annexe 5).

A RETENIR

- **La STD est un outil d'aide à la décision, non prédictif** : elle permet de comparer les solutions techniques et d'évaluer la robustesse du bâtiment face aux vagues de chaleur.
- **Elle doit être mobilisée dès l'amont du projet**, y compris sous forme simplifiée, pour orienter les choix structurants.
- **Les simulations doivent intégrer des climats futurs** (2050, 2100) et des scénarios dégradés pour tester le fonctionnement réel.
- L'objectif est d'**identifier les situations limites et les capacités de résilience** du bâtiment.
- **Elle doit intégrer des garde-fous bioclimatiques** pour sécuriser la conception.
- **Elle doit permettre d'identifier ses marges d'adaptabilité.**

ANNEXES

Annexe 1 : Exigences réglementaires actuelles

Cas du neuf

Pour les bâtiments neufs (ou parties nouvelles de bâtiments existants) soumis à permis de construire (logements et tertiaire), **c'est la réglementation environnementale RE2020 qui s'applique**. L'exigence « confort d'été » constitue l'une des cinq exigences de résultat définies par la réglementation. L'indicateur réglementaire **évalue la limitation des situations d'inconfort en période estivale**.

La RE2020 relève de l'article L.111-9 du Code de la construction et de l'habitation (CCH) et de ses textes d'application principaux :

- Décret n° 2021-1004 du 29 juillet 2021 relatif à la performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments ;
- Arrêté du 4 août 2021, fixant les exigences de performance énergétique et environnementale applicables aux bâtiments neufs et extensions.

Principes structurants

Les degrés-heures représentent le cumul sur l'année de la somme des heures durant lesquelles la température intérieure dépasse un seuil de confort : 26°C pour la nuit, entre 26 et 28°C en journée (prise en compte d'un seuil adaptatif jusqu'à +2°C après journées chaudes).

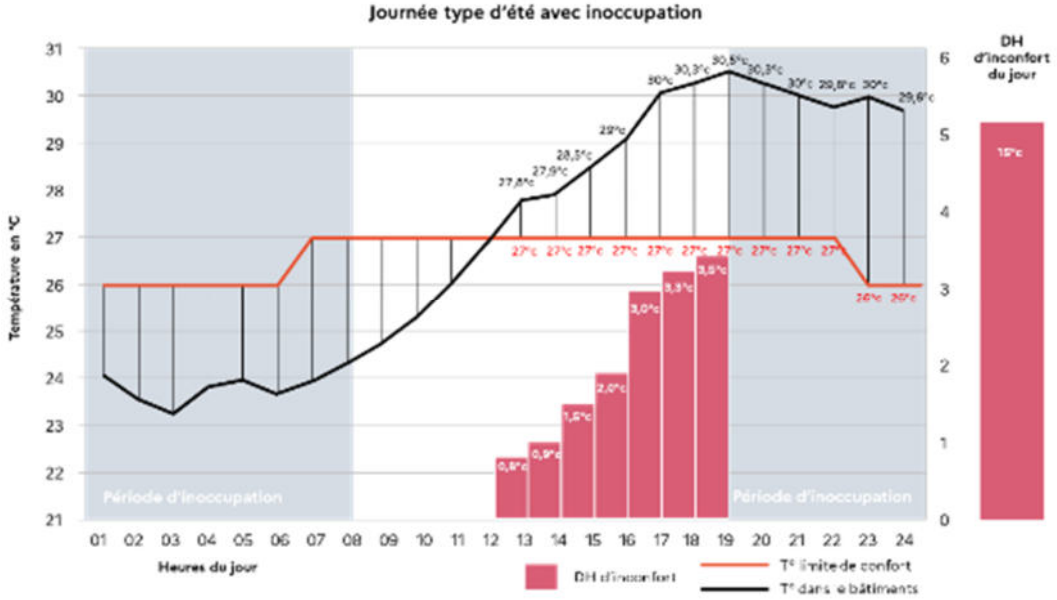


Figure 6 : Exemple de calcul des DH dans des bureaux sur une journée avec occupation de 8h à 19h.

Le fonctionnement thermique du bâtiment est simulé à l'échelle d'une année selon une méthodologie conventionnelle, d'un profil d'occupation et d'apports standardisés.

Le scénario météo utilisé inclut **une séquence caniculaire type été 2003**.

Le bâtiment est simulé sans climatisation active pour l'évaluation du confort d'été, même si une climatisation est installée.

Deux seuils encadrent l'indicateur : un seuil bas (350°C·h) garantissant un confort sans système de refroidissement, et un seuil haut (DH_max) au-delà duquel le bâtiment est non-conforme.

Objectifs et seuils à atteindre

Si DH ≤ 350°C·h : Le bâtiment est considéré comme confortable en période estivale, sans recours obligatoire à un système de refroidissement.

Si 350°C·h < DH ≤ DH_max : Le bâtiment reste conforme (exigence atteinte) mais est soumis à une pénalité forfaitaire dans le Cep (consommation de refroidissement fictive) afin de motiver l'optimisation passive.

Si DH > DH_max : la conformité à la RE2020 n'est pas atteinte pour l'exigence « confort d'été », le bâtiment est donc non réglementaire.

Il est à noter que le plafond autorisé pour les bureaux est le suivant :

▶ Bureaux

La valeur DH_max prend les valeurs suivantes, en fonction de la catégorie de contraintes extérieures, du caractère climatisé ou non, et de la surface moyenne des logements de la partie de bâtiment :

	Catégorie 1, sauf parties de bâtiments climatisées en zones H2d et H3	Catégorie 1 climatisé, en zone H2d et H3	Catégorie 2	Catégorie 3
DH_max	1 150	2 400	2 600	Pas de seuil

Figure 7 : Extrait des valeurs possibles du seuil réglementaire : DH-Max du guide RE2020- janvier 2024

Scénarios climatiques à utiliser

Les calculs utilisent des fichiers météorologiques conventionnels par zones climatiques (découpage en 8 zones à l'échelle de la France métropolitaine) mis à jour pour la RE2020.

Pour le confort d'été, ces fichiers intègrent une séquence caniculaire (insertion d'un épisode de type 2003) afin de prendre en compte les vagues de chaleur.

Occupation standardisée selon typologie (résidentiel ou tertiaire) : dans le tertiaire, les heures sont convenues et comptabilisées sur 24h

Limites de la méthodologie

Sur les fichiers météos utilisés : Les données utilisées ne reflètent pas les climats réchauffés. La séquence « caniculaire » est représentative d'un épisode type 2003. Or, à horizon 2050, la probabilité d'occurrence d'un tel épisode sera d'environ 50%. Par ailleurs, la France est réduite à 8 zones climatiques qui ne sont pas représentatives de la variabilité locale du climat. Les îlots de chaleur notamment ne sont pas simulés alors même qu'ils réduisent significativement la capacité des bâtiments à déstocker de la chaleur la nuit (on note par exemple, lors d'épisode exceptionnel de vagues de chaleur, jusqu'à 10°C d'écart la nuit entre Paris et sa banlieue).

Sur les hypothèses d'occupation :

Elles varient d'un projet à un autre. Les STD dans leurs simulations intègrent les variations climatiques et modélisent les usages et l'occupation des locaux.

Il est fréquemment observé des hypothèses de départ mal calibrées et ne reflétant pas toujours le comportement des utilisateurs et la configuration des locaux, ce qui entraine des dysfonctionnements techniques en phase exploitation.. Une attention particulière doit être

portée aux recueils des besoins et à la bonne définition des hypothèses de départ, bases nécessaires d'une modélisation juste pour un comportement thermique prévisionnel d'un bâtiment. Des fiches doivent être produites par typologie de locaux en phase programmation afin d'indiquer clairement les usages et hypothèses d'occupation.

Cas de la réhabilitation

En réhabilitation, les exigences relatives au confort thermique relèvent de **la réglementation thermique des bâtiments existants (RT existant)** issue des articles R.131-26 à R.131-28 du Code de la construction et de l'habitation, et des arrêtés du 3 mai 2007 (RT existant « élément par élément ») et du 13 juin 2008 (RT globale).

Ces textes s'appliquent aux bâtiments existants résidentiels et tertiaires sous certaines conditions cumulatives pour des travaux de rénovation ou de réhabilitation énergétique.

Principes structurants

La RT existant ne fixe pas d'indicateur chiffré de confort d'été (comme le DH).

A noter néanmoins que deux dispositions réglementaires obligatoires concourent à la maîtrise des températures estivales dans l'arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants.

Principe général de maintien du confort thermique : impose que toute modification d'un élément du bâtiment ou de son système énergétique vise à améliorer la performance énergétique globale, sans dégrader le confort des occupants. Cela inclut implicitement le confort d'été : les travaux ne doivent pas entraîner d'augmentation significative des surchauffes.

Sur les baies et protections solaires : L'arrêté impose l'installation ou le maintien de protections solaires mobiles ou fixes (stores, brise-soleil) et/ou le recours à un vitrage de contrôle solaire pour tout remplacement de menuiserie en façade exposée. L'objectif est de limiter les apports solaires directs responsables de la surchauffe.

Annexe 2 : Intégration dans les documents de consultations

Décliner cette doctrine de manière opérationnelle sur des opérations immobilières, suppose son intégration dès l'amont des projets, à la fois :

(i) En phase programmation (voir les préconisations techniques de l'Annexe 2) ;

(ii) Et dans les documents administratifs et techniques de la consultation (règlement de consultation, note programmatique, cahier de charges etc.).

Cette intégration vise à garantir que les équipes candidates prennent pleinement en compte, dès la conception, les enjeux de confort thermique et d'exploitabilité des bâtiments en situation de chaleur extrême, tels qu'analysés et vérifiés au moyen des STD.

PHASE CONSULTATION

1- OBJET DU MARCHE

Afin d'envoyer un signal clair aux candidats soumissionnaires aux **marchés de programmation, conceptionet de travaux,** il est conseillé d'être explicite dès la rédaction de l'objet du marché. Les formulations peuvent être générales ou plus techniques et opérationnelles. Elles dépendront des enjeux de chaque projet.

- **Formulations proposées – Marchés conduits en (MGP) ou en (ex loi MOP)**

« Réhabilitation d'un bâtiment [nom] intégrant des solutions d'adaptation aux vagues de chaleur à venir »

« Marché de travaux portant sur la réhabilitation d'un bâtiment [nom] avec prise en compte des futures vagues de chaleur, du confort d'été et de durabilité »

« Réhabilitation durable et résiliente du bâtiment [nom] intégrant des solutions et des dispositifs d'adaptation aux vagues de chaleur »

- **Formulation proposée pour un marché d'Assistance à Maitrise d 'ouvrage- AMO**

« Mission de conseil en Assistance à Maitrise d'Ouvrage pour la réhabilitation du bâtiment [nom] intégrant l'analyse des risques climatiques (notamment liés aux vagues de chaleur), le recueil des besoins, la définition des enjeux d'exploitabilité en période de chaleur extrême, l'accompagnement à la réalisation de simulations thermiques dynamiques et la définition de solutions d'adaptation aux vagues de chaleur »

2- REGLEMENT DE CONSULTATION - Marchés conduits en (MGP) ou en (ex loi MOP)

Le pouvoir adjudicateur doit préciser les compétences attendues **pour la composition du groupement** qui répondra au marché.

2.1 Compétences exigées

- *Pour **le bureau d'études thermique**, il est pertinent de préciser > une compétence avérée en STD appliquée au confort d'été et à la surchauffe / une expérience en architecture bioclimatique, passive, durable et résiliente / une capacité à intégrer des scénarios climatiques extrêmes et futurs dans les études. L'équipe devra également disposer de compétences en Simulation Energétique Dynamique et en systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments (Système de Gestion Technique du Bâtiment), afin d'assurer la cohérence entre conception, performance énergétique et conditions d'exploitation.*

2.2 Critère de jugement des candidatures

Les critères de sélection des candidatures permettent d'évaluer les **capacités professionnelles, techniques** et **financières** des candidats. Ils visent également à apprécier leur aptitude à intégrer de manière cohérente les dimensions techniques, d'usage et d'exploitation, afin de concilier durablement confort thermique, sobriété, performance et qualité de vie dans les bâtiments publics.

- *Les certificats de qualifications professionnelles suivants ou tout moyen de preuve équivalent peuvent être demandés pour la qualification de l'équipe de maîtrise d'œuvre :*
    - *Maîtrise d'œuvre de la performance énergétique dans le traitement climatique du bâtiment (Qualification OPQIBI : 1327 ou équivalent) ;*
    - *Maîtrise d'œuvre de la performance énergétique de l'enveloppe du bâtiment (Qualification OPQIBI : 1224 ou équivalent) ;*
    - *Économistes de la construction pour la construction passive (qualification OPQTECC ou équivalent) ;*
    - *Références de bâtiments conçus intégrant des exigences environnementales, énergétiques et de confort d'été ;*
    - *Etc.*
- *Des éléments complémentaires pourront être demandés afin d'apprécier la capacité du candidat ou du groupement à répondre aux enjeux du projet, notamment :*
    - *Formations en écoconstruction, bioclimatisme, adaptation climatique ;*
    - *Description des démarches d'intégration des usages et des occupants ;*

2.3 Critères de jugement des offres

2.3.1 Marché conduit en ex- loi MOP

En procédure formalisée, en phase offre, **la valeur technique s'évalue** au regard de la **note méthodologique** ou du **mémoire technique** fourni par le candidat. À ce stade, il n'est pas attendu des candidats qu'ils définissent des principes architecturaux et techniques détaillés. Les exigences liées à la thématique de la surchauffe et à l'exploitabilité peuvent être définies en critères par le pouvoir adjudicateur, de la manière suivante :

- *Une note méthodologique argumentée présentant la démarche proposée pour intégrer les enjeux de confort thermique d'été et d'exploitabilité des locaux en période de vagues de chaleur, qu'elles soient récurrentes ou exceptionnelles. Cette note précise notamment :*
    - *La méthode et les outils mobilisés pour intégrer ces enjeux tout au long de la conception (notamment simulations, itérations, gestion des hypothèses) ;*
    - *Les modalités envisagées pour articuler les dimensions techniques, d'usage et d'exploitation ;*
    - *Les principes de prise en compte des usages, incluant l'identification des fonctions critiques et des conditions d'exploitation normales et dégradées.*
- *La présentation de l'organisation de l'équipe, mettant en évidence les compétences en STD, thermique et adaptation au changement climatique. Le cas échéant, l'équipe devra également disposer de compétences en SED et en systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments afin d'assurer la cohérence entre conception, performance énergétique et conditions d'exploitation ;*
- *La démarche bioclimatique et les stratégies de rafraîchissement durable peuvent utilement être citées en démarche à privilégier dans les documents de consultation.*

2.3.2 Marché conduit en Marché Global de Performance (MGP)

En MGP, l'offre qui sera à remettre par les groupements dont la candidature aura été retenue sera de niveau équivalent d'un Avant Projet Sommaire (APS). Les critères suivants peuvent faire l'objet de sous-critères techniques ou critères spécifiques et leur classement peut s'appuyer sur les principes suivants :

- *Sur la qualité de la réponse au programme fonctionnel et architectural :*
    - *Prise en compte des usages, des situations sensibles et des fonctions critiques ;*
    - *Intégration des principes bioclimatiques dès la conception ;*
    - *Prise en compte des résultats de l'analyse des usages afin de favoriser l'adéquation des solutions proposées aux usages réels et leur appropriation en phase d'exploitation.*
- *Sur la qualité de la réponse technique et du parti constructif :*

Plusieurs critères peuvent être évoqués selon la particularité du projet :

    - *Choix des produits et procédés constructifs, privilégiant des matériaux durables ou biosourcés, et prenant en compte leurs propriétés thermiques (inertie)*
    - *Qualité de la réponse apportée au confort d'été/ à la surchauffe du bâtiment aux horizons 2050 et 2100, sur la base des données climatiques de la TRACC ;*
    - *Performance thermique et énergétique des façades ;*
    - *Efficience globale du bâtiment au regard des stratégies passives, en intégrant les enjeux de résilience thermique et de réduction de l'empreinte carbone ;*
    - *Prise en compte des enjeux environnementaux et des conditions d'exploitation, incluant la maîtrise des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre, le recours à des matériaux renouvelables, ainsi que la robustesse, la maintenabilité et les conditions réelles d'exploitation des équipements techniques.*
- *Sur la qualité de la réponse en matière d'exploitation-maintenance et de maintien des performances énergétiques et de confort thermique :*
    - *Organisation de l'exploitation-maintenance intégrant les enjeux de confort thermique d'été et d'exploitabilité des locaux en période de vagues de chaleur, qu'elles soient récurrentes ou exceptionnelles*
    - *Choix des gammes de maintenance sur les équipements contribuant à maintenir des conditions d'occupation acceptables en période de vague de chaleur ;*
    - *Engagement de performances.*
- *Par ailleurs, la justification du confort thermique en période de fortes chaleurs et de l'exploitabilité des locaux doit faire l'objet d'une démonstration approfondie et argumentée. Celle-ci doit être apportée au moyen :*
    - *D'une note argumentée du groupement présentant l'organisation des membres du groupement à chaque phase du projet de la phase conception à la phase exploitation, en précisant les responsabilités et les interfaces ;*
    - *D'une note argumentée du groupement présentant les choix architecturaux, constructifs et organisationnels retenus (inertie du bâtiment, protection des façades exposées, stratégies de ventilation, organisation des usages, modes dégradés, etc.), ainsi que leur cohérence au regard des objectifs de confort et de résilience ;*
    - *De STD réalisées conformément au cahier des charges fourni dans le dossier de consultation, intégrant les conditions climatiques futures aux horizons 2050 et 2100 ;*

- *Le cas échéant, de SED, permettant d'évaluer les consommations et les conditions d'exploitation du bâtiment, en articulation avec les enjeux de confort d'été.*

Ces analyses doivent être suffisamment documentées pour permettre leur vérification et leur appropriation par la MOA.

3- REGLEMENT DE CONSULTATION - Marché d'Assistance à Maitrise d'ouvrage (AMO)

Pour la consultation d'un AMO pour l'accompagnement à l'élaboration d'une stratégie d'adaptation au changement climatique (traitant par exemple plus spécifiquement la surchauffe des bâtiments), et hormis les critères habituels pour l'évaluation des qualifications et des compétences et du prix de la prestation, la valeur technique de l'offre peut s'appuyer sur les critères suivants :

- *Une note portant sur l'analyse du contexte et la bonne compréhension des enjeux liés aux impacts des futures vagues de chaleur sur les bâtiments (et plus généralement des risques climatiques et enjeux environnementaux) ;*
- *Incluant la gestion des surchauffes, tant sur les plans technique qu'organisationnel, ainsi que les questions de disponibilité des locaux et l'identification des enjeux critiques ;*
- *Une note portant sur la capacité à répondre au cahier des charges (méthodologie, points clefs de suivi du projet, outils mis en œuvre, dispositif de pilotage spécifique de la thématique, etc.).*

Annexe 3 : Généralisation des approches bioclimatiques – Préconisations techniques

1. ARHITECTURE BIOCLIMATIQUE

1.1. MAÎTRISER LES APPORTS SOLAIRES

La maîtrise des apports solaires constitue le premier levier de limitation de la surchauffe.

L'ensemble des orientations du bâtiment doit désormais être considéré comme contributif aux apports solaires. Cette évolution s'explique à la fois par l'importance du rayonnement diffus[25], qui représente une part significative des apports, et par les apports directs sur les façades est, ouest et nord en période estivale.

Dans ce contexte, le principe de conception repose sur la mise en place d'une protection solaire extérieure efficace sur l'ensemble des baies vitrées. L'absence ou la réduction de protection doit être justifiée par STD.

Le confort d'été doit être recherché en priorité par des moyens passifs. La conception architecturale doit ainsi intégrer une maîtrise adaptée des surfaces vitrées, en veillant à trouver un juste équilibre entre :

- Limitation des apports solaires en été,
- Valorisation des apports utiles en hiver,
- Maintien d'un bon niveau d'éclairage naturel.

Les surfaces vitrées constituent une source majeure d'apports thermiques en période estivale, pouvant représenter jusqu'à deux tiers des apports totaux selon les études de l'ADEME. Leur conception (surface, orientation, protection) est donc déterminante pour limiter les besoins de climatisation et réduire le recours aux systèmes actifs.

1.1.1. Ajuster la proportion des surfaces vitrées

L'objectif est de concilier confort lumineux, confort thermique et performance énergétique.

Les marges de manœuvre diffèrent selon la nature de l'opération et les modalités d'occupation. **En construction neuve**, la conception doit permettre d'optimiser dès l'origine le rapport entre surfaces vitrées et surfaces opaques. **En réhabilitation**, lorsque la modification des baies est contrainte, les leviers portent prioritairement sur la performance des vitrages, la mise en place de protections solaires efficaces et l'adaptation des usages à l'espace.

À titre indicatif, le pourcentage global de surface vitrée peut être compris entre 40 et 45 % de la surface développée de façade, sous réserve de validation par STD. La maîtrise du rapport plein / vide des façades est donc essentielle

La performance des baies doit être appréciée de manière globale, en tenant compte du complexe, menuiserie, vitrage et protection solaire associés. La performance du vitrage seul ne permet pas de garantir la maîtrise des apports solaires.

Le recours à des façades fortement vitrées, notamment de type mur rideau, est à éviter autant que possible en raison de leur contribution importante aux apports solaires et aux risques de surchauffe. Lorsqu'un tel choix est retenu, il doit faire l'objet d'une démonstration approfondie attestant de la maîtrise des surchauffes.

Les verrières, atriums et lanterneaux constituent des points particulièrement sensibles et doivent être conçus avec une vigilance renforcée. Ils doivent intégrer un niveau d'isolation

élevé, y compris au niveau des costières, et des protections solaires adaptées afin de limiter les apports thermiques et les déperditions.

À arbitrer avec la STD

Le pourcentage de surface vitrée doit être défini en corrélation avec l'ensemble des paramètres du projet (climat, usages, conception architecturale, systèmes), au regard des objectifs de confort visuel et acoustique et de résilience thermique.

1.1.2. Sélectionner des vitrages à performance adaptée

Bon à savoir – L'effet de paroi froide

La proximité d'une paroi dont la température de surface diffère significativement de celle de l'air ambiant **constitue une source d'inconfort**. Ce phénomène, appelé effet de paroi froide, résulte des échanges radiatifs entre le corps et la surface. Ce phénomène peut être évité en choisissant des vitrages performants.

Les performances des vitrages sont déterminantes pour limiter les apports solaires excessifs tout en assurant une isolation thermique efficace et en garantissant le confort des occupants.

Les menuiseries doivent combiner performance thermique et durabilité, en cohérence avec les conditions d'exploitation.

Le facteur solaire (Sg pour le vitrage ou Sw pour l'ensemble de la fenêtre) doit être adapté à l'orientation des façades et aux objectifs de limitation des apports solaires. Des valeurs faibles doivent être privilégiées pour les façades les plus exposées afin de limiter les risques de surchauffe.

Ce choix doit toutefois résulter d'un compromis entre :

- La limitation des apports en été,
- Les apports solaires utiles en hiver,
- Les besoins en éclairage naturel.

Il doit être simulé et justifié par la STD.

Recommandation

Lors de la phase de conception, il est recommandé d'exiger du candidat ou du groupement un tableau détaillé des performances des baies par façade. Ce document doit notamment préciser :

- Le pourcentage de surface vitrée ;
- Les performances des vitrages et des menuiseries (facteur solaire et transmission lumineuse) ;
- Les protections solaires associées ;
- La performance globale du système vitrage-menuiserie-protection.

Ce tableau constitue un support d'analyse essentiel pour apprécier la cohérence des choix de conception.

À arbitrer avec la STD

La STD doit permettre de comparer différentes configurations et performances des menuiseries extérieures et des vitrages, d'évaluer leur impact sur le confort thermique et de vérifier l'atteinte des objectifs globaux du projet.

1.1.3. Mettre en place des protections solaires extérieures sur les façades exposées

Bon à savoir – Apports thermique du rayonnement solaire

Lorsqu'ils ne sont pas protégés, les vitrages peuvent fortement dégrader le confort thermique. Ils exposent les occupants au rayonnement solaire direct et diffusent à l'intérieur des locaux la chaleur accumulée par la paroi.

À titre d'illustration, **une baie vitrée de 2 m² exposée au soleil direct peut produire un apport thermique équivalent à celui d'un radiateur en fonctionnement**.

Il est donc essentiel de bloquer le rayonnement solaire avant qu'il ne pénètre dans le bâtiment

Protections solaires fixes « casquettes »

Ces protections sont des éléments architecturaux généralement composés de lames horizontales ou intégrées à la structure (dalle en béton, bois ou métal) conçues pour contrôler l'apport solaire direct dans un bâtiment. Leur forme spécifique, évoquant une casquette, permet de projeter sur les façades une ombre efficace limitant ainsi la surchauffe estivale. Ces caquettes font l'objet d'une simulation et leur taille et forme résulte d'un dimensionnement réalisé en fonction des ombres portées sur la façade et de l'ensoleillement.

En hiver, lorsque le soleil est bas dans l'horizon, une partie de la lumière pénètre dans le bâtiment, contribuant à l'éclairement naturel et aux gains thermiques passif.

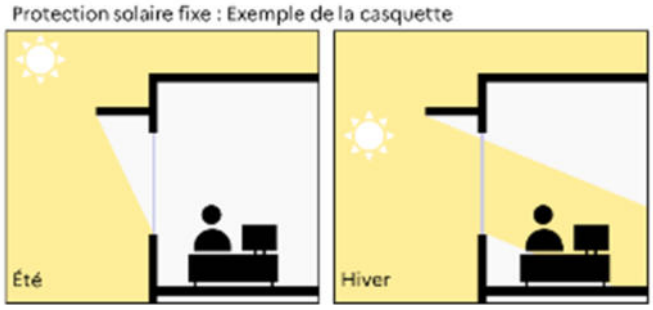


Figure 8 : Exemple de protection solaire – Source DIE

Les protections solaires fixes doivent être considérées comme un premier niveau de protection, à compléter par des dispositifs plus adaptatifs (mobiles) car elles peuvent poser de problèmes d'accès aux façades notamment pour l'entretien ou être refusées par les pompiers pour des raisons d'incompatibilité pour la lutte contre le feu.

Protections solaires extérieures mobiles (empilables et orientables)

Les protections mobiles (empilables et orientables) permettent d'adapter la protection solaire et l'apport de lumière naturelle en fonction des conditions climatiques (ensoleillement, saison, moment de la journée), ce que ne permettent pas les protections fixes.

Les solutions courantes réputées performantes incluent les brise-soleil orientables (BSO) qui doivent être mobiles (empilables et orientables) conjuguant performance thermique, apport de lumière et d'air pour un usage et une exploitation aisée.

Ainsi, les BSO préservent le confort visuel de l'usager et lui permettent d'adapter l'apport de lumière et par leur caractère mobile une ventilation naturelle diurne en intersaison.

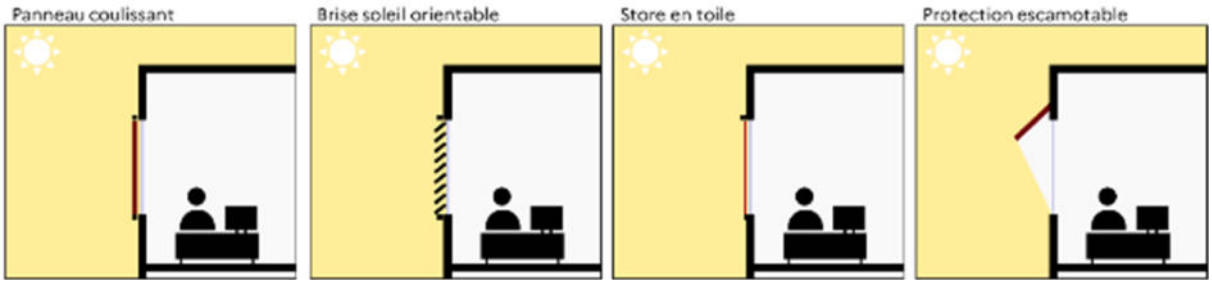


Figure 9 : Exemples de protection solaire – Source DIE

Bon à savoir – Confort visuel et thermique

Une bonne maîtrise des apports solaires, combinée à un confort visuel optimal permettant une régulation du flux lumineux en fonction des besoins des usagers, constitue un élément fondamental d'une gestion passive de l'éclairement.

Les caractéristiques des protections solaires, notamment des stores, en termes de confort thermique et de transmission lumineuse, doivent faire l'objet de simulations comparatives. Celles-ci permettent au MOA de faire un choix éclairé intégrant les objectifs de consommation énergétique, de confort thermique, d'éclairement naturel, de maîtrise de l'éblouissement et d'entretien.

Point d'attention – Maintenance et fiabilité des dispositifs de protection solaire

Les dispositifs de protection solaire mobiles et automatisés type BSO, présentent **des besoins de maintenance qui doivent être anticipés dès la phase de conception**.

Leur conception doit donc être pensée dans une approche globale tenant compte des **dispositifs choisis des menuiseries extérieures**, à titre d'exemple, la prise en compte de la présence de vantelles prévues en ouvertures automatiques pour un rafraîchissement nocturne(si une telle disposition est mise en œuvre, d'autres aspects de type sécuritaires doivent être discutés et considérés en amont).

Par ailleurs**, si un système de commande automatique est prévu sur ces protections**, il conviendra de le **coupler d'un dispositif manuel** qui permette de le débrayer en cas de panne. Les manipulations manuelles par les usagers doivent aussi faire l'objet d'attention pour éviter les systèmes trop fragiles (manivelles, chainettes, système à coulisse).

Enfin, **les caractéristiques techniques des lames** doivent faire l'objet d'une attention particulière s'agissant des matériaux utilisés (aluminium anodisé à privilégier), de leur robustesse (face à la prise eu vent) et de leur mise en œuvre (guidage par coulisses).

À arbitrer avec la STD

Les dispositions de protection solaire doivent être adaptées au projet et validées par la STD, afin d'en vérifier la pertinence au regard du contexte climatique, architectural et des usages.

En première approche, les principes suivants peuvent être retenus :

- Protection solaire extérieure mobiles (stores extérieurs à lames orientables et empilables) > pour les façades comprises dans le secteur suivant : NE (Nord-Est), E (Est), SE (Sud-Est), S (Sud), SO (Sud-Ouest), O (Ouest), NO (Nord-Ouest) ;
- Protection solaire intérieures (Stores à lames) > pour les façades comprises dans les secteurs compris entre N (Nord), NNE (Nord-Nord-Est) et NNO (Nord-Nord-Ouest) ;

- Protections solaires extérieures mobiles pour les verrières verticales dont l'orientation est comprise dans le secteur NE (Nord-Est), E (Est), SE (Sud-Est), S (Sud), SO (Sud-Ouest), O (Ouest), NO (Nord-Ouest), N-NO (Nord-Nord-Est).
- Les verrières et parois vitrées inclinées doivent systématiquement être équipées de protections solaires extérieures efficaces.

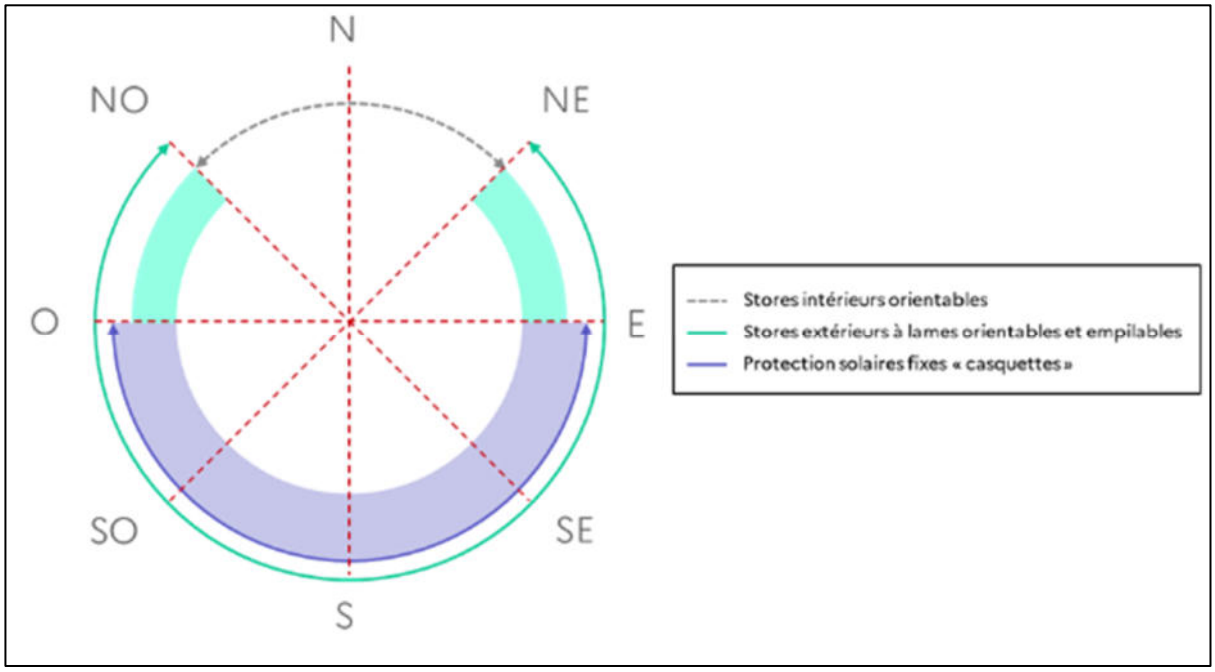


Figure 10 : Protections à prévoir selon les orientations des façades – Source : DIE

1.2. LIMITER LA TRANSMISSION DE LA CHALEUR

Une enveloppe performante constitue la première ligne de défense contre la surchauffe.

Le choix de matériaux à forte résistance thermique, la continuité de l'isolation et le traitement rigoureux des ponts thermiques permettent de limiter la pénétration de la chaleur vers l'intérieur du bâtiment. Les toitures, particulièrement exposées au rayonnement estival, doivent faire l'objet d'une attention renforcée, notamment par la mise en œuvre d'isolants adaptés, l'utilisation de revêtements à albédo élevé ou encore la conception de toitures ventilées.

L'enveloppe doit être conçue comme un système combinant isolation et inertie. Les matériaux à forte inertie thermique permettent de lisser les pics de température en stockant la chaleur en journée et en la restituant avec un décalage temporel la nuit. Afin que de bonnes conditions de déstockage[26] soient assurées, une sur-ventilation nocturne est nécessaire afin d'évacuer les calories emmagasinées.

Les menuiseries performantes, intégrant des vitrages à faible facteur solaire, une transmission lumineuse adaptée et des rupteurs de ponts thermiques, complètent ce dispositif.

Une attention particulière doit être portée à l'étanchéité à l'air, qui limite les infiltrations d'air chaud et contribue directement au confort d'été.

1.2.1. Assurer une isolation continue et une bonne étanchéité à l'air

Une isolation thermique continue par l'extérieur, réalisée « sans lever le crayon » et parfaitement raccordée aux menuiseries ainsi qu'aux points singuliers, constitue la solution la plus efficace pour limiter les ponts thermiques et garantir une enveloppe étanche à l'air.

Ce principe assure la continuité de la barrière isolante, limite les pertes énergétiques et améliore le confort d'été comme d'hiver.

Recommandations – Construction neuve

Les performances d'étanchéité à l'air peuvent viser, pour certains projets, le niveau du standard Passivhaus, soit un débit de fuite n50 inférieur ou égal à 0,6 h^{-1} lors du test d'infiltrométrie (test étanchéité à l'air).

Ce niveau constitue une référence exigeante, particulièrement pertinente pour les bâtiments neufs et l'atteinte de ces performances suppose une conception maîtrisée des jonctions (toiture/façade, menuiseries, planchers bas), une mobilisation de l'ensemble des corps d'état, y compris les lots techniques, ainsi qu'une mise en œuvre rigoureuse accompagnée de contrôles de chantier systématiques est requise.

Recommandations – Réhabilitation

En réhabilitation, la démarche débute par une évaluation de la perméabilité à l'air du bâtiment existant, réalisée dès la phase de faisabilité. Cette mesure permet de caractériser l'état initial et de définir un objectif de performance à inscrire dans le programme technique.

Cette mesure n'est pertinente que dans le cadre des réhabilitations lourdes. En effet, elle embarque un objectif de performance global sur le bâtiment. Atteignable en mobilisant les lots du clos et couvert et des installations techniques (CVC et Elec)

Dans un marché en ex-loi MOP, cette mesure peut être réalisée **à la demande de la maitrise d'œuvre en phase diagnostic** pour définir correctement **les objectifs à inscrire dans le Cahier des Charges destiné aux entreprises de travaux**.

Dans un marché global de performance (MGP), elle peut être **réalisée par la maîtrise d'ouvrage** et **discutée lors du Dialogue compétitif** afin d'être communiquée aux candidats avant **ajustement de leurs offres**, **elle deviendra alors contractuelle**.

À l'issue des travaux, un test final d'infiltrométrie doit être réalisé afin de vérifier l'atteinte des performances visées.

Tout comme pour les projets en constructions neuves, l'atteinte de ces performances repose sur une conception attentive des interfaces, une coordination efficace entre corps d'état et un suivi qualité rigoureux en phase chantier.

1.2.2. Utiliser des matériaux à forte inertie thermique : Stockage et déphasage

Les matériaux à forte inertie thermique, tels que le béton, la pierre, la brique ou certains isolants naturels à forte capacité calorifique comme la fibre de bois, possèdent une masse volumique et une capacité importante de stockage de chaleur.

Ils permettent d'introduire un décalage temporel, appelé déphasage, dans la transmission de la chaleur à travers l'enveloppe.

En période estivale (par la forte inertie du matériau), ce mécanisme permet de retarder la pénétration de la chaleur dans les espaces intérieurs (durant la journée) et de limiter les pics

de température. La chaleur est stockée en journée puis restituée en soirée ou durant la nuit, lorsque les températures extérieures sont plus faibles.

En période hivernale, ces mêmes matériaux permettent de stocker les apports internes et solaires et de les restituer progressivement. Ils contribuent ainsi à stabiliser la température intérieure.

L'efficacité de ces mécanismes repose sur une conception globale adaptée, intégrant le niveau d'isolation, les conditions de ventilation et la gestion des apports solaires.

Bon à savoir – Déphasage

Un déphasage de l'ordre de 12 heures est généralement recherché dans une stratégie de confort d'été. Il permet de retarder la transmission de la chaleur sur un laps de temps relativement long.

Point d'attention – Étanchéité à l'air et confort d'été

Une enveloppe très étanche limite efficacement les pertes de chaleur en hiver et les infiltrations d'air chaud en été. **Cependant, elle peut également freiner l'évacuation de la chaleur accumulée à l'intérieur du bâtiment avec un effet « thermos »**.

En l'absence de dispositifs adaptés, cette situation peut rendre le rafraîchissement passif difficile, voire inefficace. La conception doit donc impérativement intégrer des solutions permettant un renouvellement d'air efficace, en particulier la nuit pour bénéficier de la température plus fraîche de l'extérieur.

L'évacuation des calories emmagasinées constitue un enjeu central pour atteindre les objectifs de confort thermique. Ce point est souvent sous-estimé dans les opérations de réhabilitation énergétique, conduisant à des bâtiments performants en hiver mais inconfortables en été.

La conjugaison de plusieurs composantes (protection solaire, isolation des parois, étanchéité à l'air, rafraîchissement passif et ventilation) semble constituer une première réponse pertinente à cette problématique.

1.2.3. Prévoir des toitures et façades à albédo élevé

L'albédo correspond au pouvoir réfléchissant d'une surface vis-à-vis du rayonnement solaire. Il est exprimé par une valeur comprise entre 0 et 1.

Dans le comportement thermique du bâtiment, il constitue un levier important pour limiter les apports solaires non désirés, en particulier sur les surfaces fortement exposées.

Les toitures présentent un enjeu majeur. Une toiture claire, présentant un albédo élevé (supérieur ou égal à 0,6), permet de réfléchir une part importante du rayonnement solaire, de limiter l'échauffement de la surface et de réduire les transferts de chaleur vers l'intérieur. À l'inverse, une toiture sombre, avec un albédo faible (inférieur ou égal à 0,2), absorbe la majorité du rayonnement et peut atteindre des températures très élevées en période estivale.

Pour les façades, l'effet de l'albédo dépend de plusieurs paramètres, notamment l'orientation, la rugosité de la surface et la présence de protections solaires. Une façade à albédo élevé peut contribuer à limiter les apports thermiques.

Tout comme pour les toitures basses un albédo élevé de façade peut générer des phénomènes de réflexion lumineuse susceptibles d'être gênants pour l'environnement proche.

Une approche équilibrée consiste à combiner des toitures à albédo adapté, des façades aux teintes intermédiaires et des dispositifs de protection solaire efficaces. Cette combinaison permet d'améliorer le confort thermique intérieur, de limiter les phénomènes d'îlot de chaleur urbain et de réduire les besoins de climatisation.

1.3. FACILITER L'EVACUATION DES CALORIES EMMAGASINEES

Le traitement thermique d'un bâtiment ne se limite pas à la réduction des apports de chaleur. Il consiste également à organiser l'évacuation des calories accumulées, afin de maintenir des conditions de confort acceptables, notamment en période estivale.

Cette approche repose sur une gestion globale des flux de chaleur à travers :

- L'isolation de l'enveloppe ;
- La ventilation ;
- Le choix des matériaux (inertie) ;
- Et les dispositifs de protection solaire.

L'objectif est de maîtriser la manière dont les calories circulent, sont stockées puis rejetées hors du bâtiment.

Au-delà des stratégies de limitation des apports, il est possible de forcer l'extraction de la chaleur accumulée par des dispositifs passifs ou faiblement actifs tel que le rafraîchissement adiabatique. La nuit, lorsque les conditions extérieures deviennent plus favorables, cette extraction peut être assurée par, de la sur-ventilation nocturne : passive ou active.

1.3.1. La ventilation naturelle nocturne (VNN)

La ventilation naturelle nocturne vise à déstocker, durant la nuit, les calories accumulées dans le bâtiment au cours de la journée. Elle repose sur un fonctionnement passif, fondé sur les différences de température et de pression entre l'intérieur et l'extérieur.

L'air circule ainsi naturellement à travers le bâtiment, permettant de refroidir les parois et les volumes intérieurs.

Trois configurations principales peuvent être distinguées :

- La ventilation mono-façade, où l'air entre et sort par une même façade ;
- La ventilation traversante, plus efficace, qui permet une circulation d'air d'une façade à l'autre ;
- L'effet cheminée, dans lequel l'air chaud s'élève et est évacué par des ouvertures en toiture, créant un tirage naturel.

La mise en œuvre de cette stratégie repose en grande partie sur la configuration du bâtiment, la conception de ses ouvrants, leur dimensionnement et positionnement et leur capacité d'ouverture, ce qui conditionnera directement les débits de ventilation obtenus.

Bon à savoir – Implantation et dimensionnement des ouvrants

Les débits de ventilation dépendent principalement de deux paramètres : la surface des ouvrants et leur localisation dans le bâtiment. Une conception inadaptée peut fortement limiter l'efficacité du dispositif.

Point d'attention – Sûreté et exploitation

La ventilation naturelle nocturne doit être compatible avec les exigences de sûreté du bâtiment. L'ouverture des baies pendant la nuit peut en effet poser des questions de sécurité.

Il est donc nécessaire de prévoir des dispositifs adaptés, tels que des ouvrants sécurisés (vantelles à titre d'exemple), des protections fixes en façade ou des systèmes limitant les risques d'intrusion ou le déclenchement d'alarme par courant d'air, tout en permettant un passage d'air suffisant.

Par ailleurs, le fonctionnement de ces dispositifs doit être compatible avec les conditions d'exploitation du bâtiment. Le recours à des systèmes automatisés peut faciliter leur utilisation, mais doit être conçu de manière robuste et fiable.

À arbitrer avec la STD

La ventilation naturelle nocturne doit être intégrée dans la STD afin d'évaluer son apport dans le traitement thermique de l'immeuble.

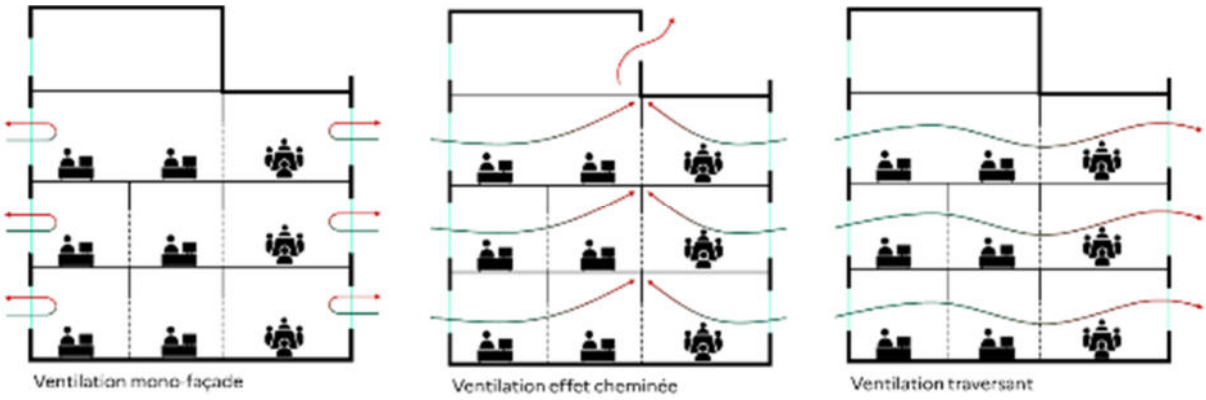


Figure 11 : Différents type de ventilation - Source DIE

1.3.2. La sur-ventilation mécanique

La sur-ventilation mécanique nocturne est un principe de renouvellement d'air actif. Elle consiste à augmenter les débits de renouvellement d'air au-delà des besoins hygiéniques, afin d'exploiter les températures extérieures plus faibles durant la nuit.

Pour être efficace, la sur-ventilation mécanique suppose une conception aéraulique spécifique, permettant de distribuer les débits d'air de manière homogène dans les espaces :

- Elle peut constituer un réseau indépendant mais nécessitant un coût d'investissement plus élevé et des contraintes techniques et énergétiques
- Elle peut être intégrée au système de ventilation hygiénique avec un dimensionnement adapté

La sur-ventilation est un dispositif particulièrement pertinent lors d'épisodes de chaleur exceptionnels, lorsque la ventilation naturelle ne permet pas d'assurer un déstockage suffisant.

Bien qu'elle s'écarte d'une approche strictement passive, elle constitue un levier efficace pour la décharge thermique du bâtiment.

Point d'attention

La sur-ventilation n'est pas toujours facile à mettre en œuvre dans les bâtiments existants du fait de l'encombrement des gaines de ventilation dans les plenums parfois réduits.

Un diagnostic pour le relevé des existants (dans les plenums) est fortement conseillé pour mettre en œuvre un système de ventilation ou de sur-ventilation.

À arbitrer avec la STD

La STD permet de déterminer les débits nécessaires, les périodes de fonctionnement et l'efficacité globale du dispositif, en lien avec les objectifs de confort et de performance énergétique.

1.3.3. Autre levier - Optimiser l'agencement des locaux

L'organisation interne des espaces constitue un levier important pour limiter les phénomènes de surchauffe, en particulier lors des épisodes les plus critiques. Ainsi, certains principes d'organisation peuvent être privilégiés

- **Les locaux techniques ou les espaces à fort potentiel calorifique** (locaux techniques, cuisines, etc.) côté nord afin qu'ils fonctionnent comme des volumes tampons, réduisant l'impact sur les zones principales.
- **Pour les locaux à forte occupation,** limiter l'exposition directe des espaces à forts apports internes (salles de réunion, bureaux densément occupés) en les positionnant quand les besoins le permettent dans les zones les plus favorables du point de vue thermique ; en second jour, côté atriums, ou côté nord.
- **Dans les constructions neuves**, les patios agissent comme des « poumons passifs » en apportant lumière naturelle et ventilation interne. Ils participent à l'éclairage naturel tout au long de l'année et au confort thermique en été, en facilitant la circulation de l'air chaud vers l'extérieur.

Ces optimisations spatiales contribuent à améliorer la ventilation naturelle, à limiter les surchauffes localisées et à maximiser l'efficacité globale des dispositifs passifs.

Lorsque l'activité le permet, une migration saisonnière peut aussi être mise en place afin de repositionner les agents dans les locaux présentant les meilleures conditions de confort.

1.3.4. Autre levier -Végétaliser la parcelle et le bâti

La végétalisation constitue un levier complémentaire de régulation thermique, agissant à la fois à l'échelle du bâtiment et de son environnement.

Elle contribue à abaisser la température ambiante par évapotranspiration, à limiter les apports solaires par effet d'ombrage et à atténuer les phénomènes d'îlot de chaleur urbain.

Végétalisation de la parcelle

La végétalisation des espaces extérieurs, incluant arbres, haies, pelouses et massifs plantés, permet de créer un microclimat plus favorable autour du bâtiment.

Les arbres à feuillage caduc sont particulièrement adaptés, car ils apportent une ombre dense en été tout en laissant passer la lumière et les apports solaires en hiver. Cette caractéristique permet de concilier confort d'été et apports passifs hivernaux.

L'intégration de surfaces perméables et de zones plantées favorise également l'infiltration des eaux pluviales, contribue à réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain et participe à l'augmentation de l'humidité locale de l'air, facteur de fraîcheur en période de fortes chaleurs.

La récupération des eaux pluviales devra aussi être favorisée pour la création de noues et de zones humides sur les parcelles lorsque cela est possible.

Végétalisation du bâti

Les toitures végétalisées offrent une double fonction : elles protègent l'enveloppe des rayonnements solaires directs et créent une couche isolante supplémentaire grâce au substrat et à la végétation. Cette combinaison réduit les transferts thermiques vers l'intérieur et augmente l'inertie de la paroi. Le choix des espèces doit privilégier des plantes adaptées et résistantes à la sécheresse. Les risques d'allergies et l'entretien sont des paramètres à prendre en compte également.

A RETENIR

En résumé, **l'approche bioclimatique permet un traitement thermique raisonné du bâtiment reposant** sur une **approche intégrée combinant plusieurs leviers complémentaires** :

- Maîtrise des apports solaires par des protections extérieures adaptées ;
- Préservation de la capacité de stockage des parois avec une bonne isolation, idéalement par l'extérieur afin de limiter les ponts thermiques ;
- Gestion de la ventilation y compris nocturne en permettant l'évacuation des calories accumulées et le rétablissement de conditions de confort acceptables.

Lorsque ces leviers ne peuvent plus être mobilisés, la mise en place d'une stratégie de rafraîchissement prioritairement passif est requise permettant de limiter les températures en journée. La climatisation n'est envisagée que par la suite et devra être justifiée par la simulation des scénarios comparatifs.

Cas des réhabilitations et des bâtiments patrimoniaux

- Dans le cas des bâtiments existants à réhabiliter, l'adaptation au site naturel n'est pas maîtrisable, l'approche bioclimatique doit d'abord s'appuyer sur une analyse fine du fonctionnement thermique du bâtiment : La typologie des parois à isoler, le système de ventilation, la configuration des menuiseries extérieures.

  Ainsi une logique de priorisation doit être mise en place, **ciblant en premier lieu la maitrise des apports solaires et de manière concomitante le traitement de l'isolation et de la ventilation** pour permettre l'évacuation continue des calories emmagasinées.

Comme pour les constructions neuves, les stratégies de rafraichissement puis de climatisation doivent intervenir par la suite en privilégiant tout d'abord les dispositifs passifs.

- **Pour les bâtiments patrimoniaux**, une approche identique doit être menée, **analyse fine du fonctionnement thermique du bâtiment** puis, selon les contraintes patrimoniales qui pèsent sur le bâti, il conviendra **d'adapter les dispositifs**. Certaines **caractéristiques constructives peuvent constituer des atouts** en période estivale, notamment l'inertie des parois, l'épaisseur des murs ou encore les dispositifs de ventilation naturelle.

Dans tous les cas de figure**, lorsque les contraintes patrimoniales présentent un frein au traitement thermique du bâtiment**, un **dialogue très amont doit être engagé avec l'Architecte des bâtiments de France** afin **d'identifier les solutions**, les simuler et évaluer leur pertinence pour l'atteinte des objectifs visés

Lorsque les **possibilités d'intervention sont limitées**, des **approches alternatives** peuvent être mobilisées. Celles-ci peuvent porter sur l'organisation des usages, le recours à des protections réversibles, la mise en place de dispositifs intérieurs ou encore l'adaptation des stratégies d'exploitation.

2. SYSTÈMES DE RAFRAÎCHISSEMENT TYPE SEMI-PASSIFS

Les solutions dites semi-passive en génie climatique implique des dispositifs **sans production mécanique du froid** même si des pompes et des ventilateurs nécessaires à leurs fonctionnement consomment un peu d'électricité (la consommation électrique est limitée aux pompes et aux automatismes- Energie auxiliaire) – Ces solution permettent d'abaisser la température des quelques degrés (3 à 6°C en France métropolitaine)

Ces solutions présentent un bon compromis entre efficacité, sobriété énergétique, coût maîtrisé et simplicité technique :

- Augmentation de la vitesse de l'air (brasseurs d'air) ;
- Rafraîchissement par évaporation (système adiabatique) ;
- Valorisation des ressources naturelles (géocooling passif, puits canadiens,…)

2.1. AUGMENTATION DE LA VITESSE DE L'AIR (brasseurs, ventilation assistée ou hybride)

Ces dispositifs visent à améliorer le confort thermique ressenti en augmentant la vitesse de l'air au niveau des occupants, sans abaisser directement la température de l'air.

Ils favorisent les échanges thermiques du corps humain (évaporation, convection) et permettent ainsi d'augmenter les seuils de tolérance thermique.

Le recours à des brasseurs d'air (notamment ventilateurs de plafond) doit être systématiquement étudié, en construction neuve comme en réhabilitation lorsque les conditions le permettent.

Leur efficacité dépend notamment :

- De la hauteur sous plafond ;
- De leur implantation par rapport aux zones occupées ;
- De la vitesse d'air générée (généralement comprise entre 0,5 et 1 m/s) ;
- Et de la maîtrise des nuisances acoustiques.

Ces dispositifs constituent une solution simple, robuste et peu énergivore, permettant de limiter le recours à la climatisation, notamment en période de chaleur modérée.

2.2. RAFRAICHISSEMENT PAR EVAPORTAION (système adiabatique)

Le rafraîchissement adiabatique repose sur le principe d'évaporation de l'eau, qui absorbe de la chaleur et permet d'abaisser la température de l'air traité.

Il s'agit d'une solution sobre en énergie, ne reposant pas sur une production de froid. Ce système permet un rafraîchissement passif et doit être couplé à une CTA double flux pour un fonctionnement optimal.

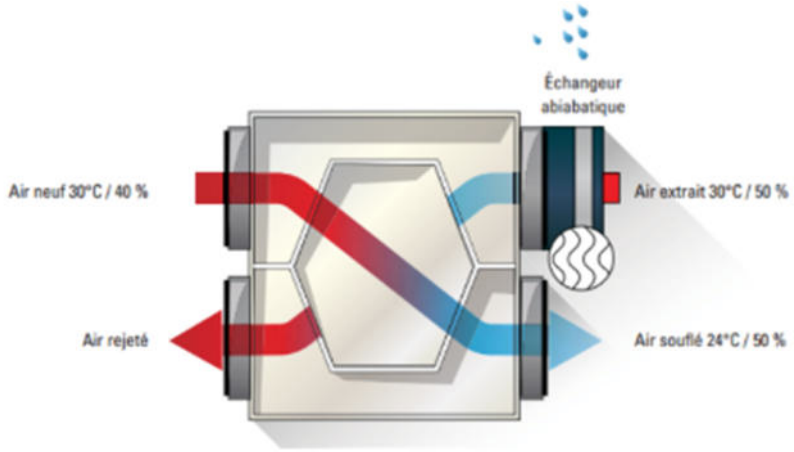


Figure 12 : Schéma de principe du rafraîchissement adiabatique par échangeur classique, Source : Guide des solutions de rafraîchissement adiabatique dans les bâtiments tertiaires en rénovation, Profeel

Point d'attention – Limites du rafraîchissement adiabatique

Le rafraîchissement adiabatique permet d'abaisser la température de l'air, de l'ordre de 3 à 4°C selon les conditions extérieures (forte humidité ou pas) et peut constituer une solution pertinente en période estivale modérée ou en complément d'autres dispositifs.

Toutefois, ses performances peuvent s'avérer insuffisantes en période de canicule intense, notamment lorsque les températures extérieures sont très élevées et que l'humidité de l'air augmente.

Par ailleurs, ces systèmes présentent une sensibilité importante aux conditions d'exploitation (réglages, maintenance, qualité de l'air) et **peuvent entraîner un surplus de consommations d'eau** en particulier en l'absence de dispositifs de récupération ou de recyclage.

Leur mise en œuvre doit donc être étudiée avec précaution, en associant dès la conception les équipes d'exploitation et de maintenance, afin de garantir leur bon fonctionnement, leur acceptabilité et leur cohérence avec les contraintes de gestion de la ressource en eau, ainsi que le respect des normes sanitaires.

Point d'attention – Entretien et accessibilité

Les solutions mises en œuvre doivent intégrer leurs modalités d'entretien et d'intervention ultérieure. Le choix des dispositifs (casquettes, protections solaires, végétalisation,…) doit notamment prendre en compte l'accessibilité et les moyens nécessaires à l'entretien des ouvrages.

2.3. VALORISATION DES RESSOURCES NATURELLES (géocooling passif, puits canadiens etc.)

Ces solutions exploitent la température relativement stable du sol ou de l'eau (nappe phréatique) pour pré-refroidir l'air ou les fluides circulant dans le bâtiment.

Elles permettent de mobiliser une source de fraîcheur renouvelable, avec un besoin énergétique limité.

Leur efficacité dépend toutefois :

- Des conditions géologiques ;
- De la surface disponible sur le site (le cas des puits canadiens) ;
- De la qualité de conception ;
- Et de la capacité à intégrer ces dispositifs dès les phases amont du projet.

Elles constituent des solutions particulièrement pertinentes dans une logique de sobriété énergétique et de résilience.

3. SYSTÈMES ACTIFS TYPE CLIMATISATION

Elle doit être mobilisée pour couvrir les pointes de chaleur ou les périodes où les solutions passives ne suffisent plus.

Deux solutions peuvent se distinguer :

3.1. PRODUCTION CENTRALISEE (ou à faible impact carbone)

Ces solutions permettent de mutualiser la production de froid et d'en limiter l'impact environnemental. La production est réalisée dans une centrale puis distribuée vers les locaux, mais elle implique des infrastructures plus lourdes :

- Réseaux de froid urbains ;
- Centrale de production (alimentation par géothermie ou Thalassothermie [27]) ;
- Groupe froid centralisé.

3.2. PRODUCTION DECENTRALISEE (locale)

La production est réalisée au niveau du bâtiment desservi (climatisation à détente directe (Split, multisplit, VRV) , PAC réversibles,…)

Point d'attention – Production décentralisée

Les systèmes autonomes de type split ou multi-split sont des solutions décentralisées, adaptées à des locaux spécifiques ou de petite taille, ils ne sont donc pas adaptés à des locaux tertiaires

Les systèmes à détente directe centralisée (DRV/VRV) permettent de desservir plusieurs zones avec une régulation fine. Ils offrent une grande flexibilité mais reposent sur des quantités importantes de fluides frigorigènes d'une part et d'une maintenance plus compliquée. Par ailleurs, le cout d'investissement n'est pas optimisé.

Les Pompes à Chaleur sont plus adaptées à des bâtiments tertiaires.

Point d'attention – Conditions extrêmes

Les systèmes de climatisation **peuvent voir leur rendement dégradé lorsque les températures extérieures deviennent très élevées** (au-delà 40°C). Un léger surdimensionnement est possible (5 à 15%). Au-delà, le cout d'investissement et de maintenance est à considérer. Leur lieu d'implantation sur le bâtiment est aussi stratégique pour limiter la surchauffe de l'équipement.

Bon à savoir – Limites de la climatisation

La climatisation, bien qu'efficace pour répondre à l'inconfort d'été, présente plusieurs limites.

Elle contribue au phénomène d'îlot de chaleur urbain en rejetant la chaleur à l'extérieur et repose sur l'utilisation de fluides frigorigènes à fort impact climatique en cas de fuite. Elle contribue par ailleurs à augmenter la facture énergétique.

L'enjeu n'est pas de l'exclure, mais d'en maîtriser l'usage, en la réservant prioritairement :

- Aux espaces sensibles accueillant des activités stratégiques pour assurer la continuité du service public ;
- Aux situations critiques (vulnérabilité des occupants) ;
- Ou comme solution de secours.

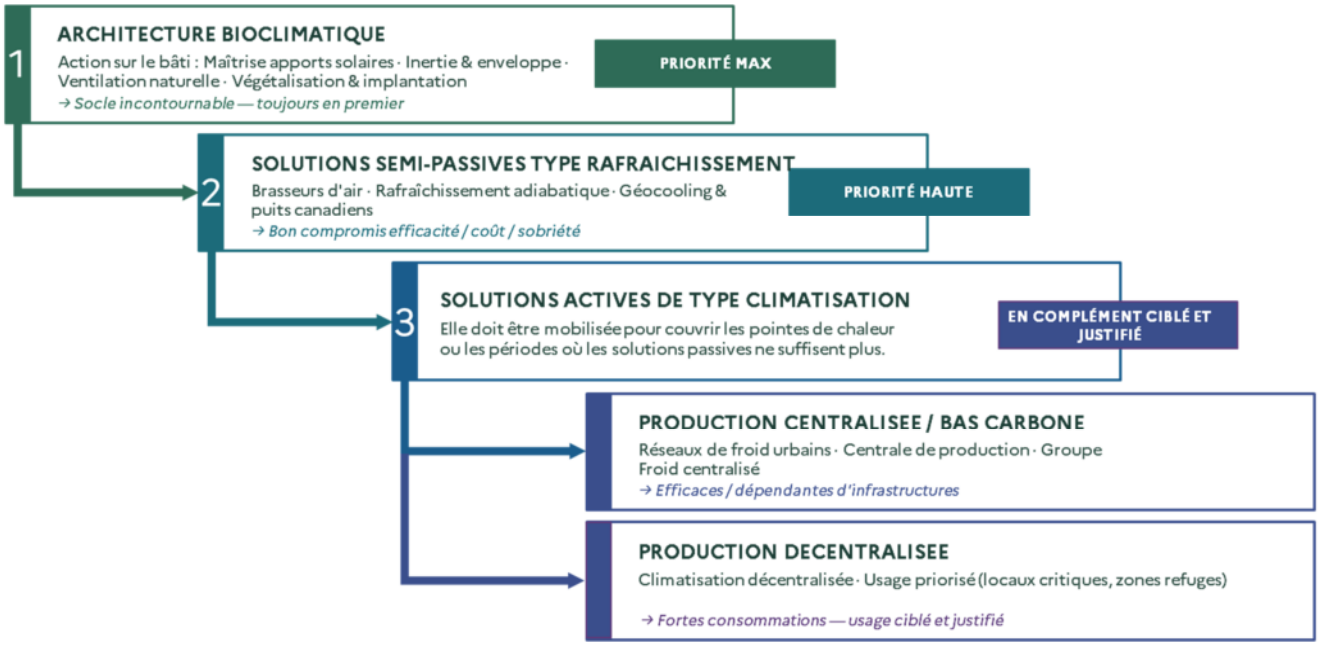


Figure 13 : Logigramme détaillé de la hiérarchisation des solutions

Annexe 4 : Quels indicateurs pour suivre le confort thermique ?

Les paramètres influant le confort thermique

Le confort thermique ne dépend pas uniquement de la température de l'air. Il résulte de l'équilibre entre six paramètres physiques et comportementaux qui conditionnent les échanges de chaleur entre le corps humain et son environnement. Leur compréhension est essentielle pour concevoir des bâtiments sobres, robustes et adaptés aux épisodes de chaleur.

Les paramètres environnementaux (liés au bâtiment)

1. La température de l'air : C'est le paramètre le plus intuitif et le plus couramment utilisé. Elle traduit l'ambiance thermique générale et renvoie directement aux systèmes de chauffage ou de refroidissement. Cependant, prise isolément, elle ne permet pas de caractériser le confort réel.
2. La température radiative moyenne : Elle traduit les échanges de chaleur par rayonnement entre le corps et les surfaces environnantes (murs, vitrages, plafonds). Une paroi froide ou chaude peut fortement dégrader le confort, indépendamment de la température de l'air.
3. L'humidité de l'air : Elle conditionne l'efficacité de la transpiration, principal mécanisme de refroidissement du corps. Une humidité élevée limite l'évaporation et accentue la sensation de chaleur.
4. La vitesse de l'air : Le mouvement de l'air augmente les échanges convectifs et favorise le rafraîchissement du corps. Une légère vitesse d'air peut améliorer significativement le confort en été.

Les paramètres comportementaux (liés aux usagers)

5. Le niveau d'activité (métabolisme) : Le corps produit de la chaleur en fonction de l'activité (de 0,9 met au repos à >10 met en activité intense). Plus l'activité est élevée, plus le besoin de dissipation thermique est important.
6. L'habillement : Le vêtement constitue une barrière thermique entre le corps et l'environnement (exprimée en clo). Il influence directement les échanges de chaleur et donc le confort ressenti.

Ces six paramètres interagissent en permanence. Le confort thermique résulte de leur combinaison et non de la maîtrise d'un seul facteur :

- Une température élevée peut être compensée par une augmentation de la vitesse d'air ;
- Une forte inertie peut améliorer la température radiative malgré un air chaud ;
- Une adaptation des usages ou de l'habillement peut éviter le recours à des systèmes actifs.

Ces paramètres doivent être pris en compte autant que possible pour évaluer de manière pertinente les conditions thermiques d'un bâtiment.

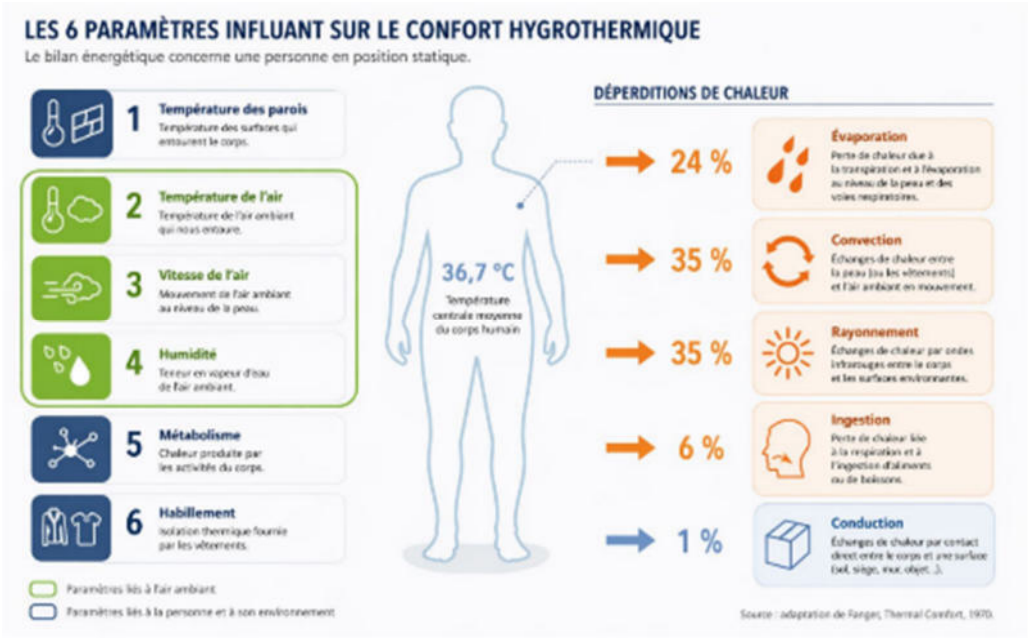


Figure 14 : Bilan énergétique d'une personne statique – Adaptation de Fanger, Thermal Comfort, 1970.

Annexe 5 : Méthodologie opérationnelle pour la conduite d'une STD/SED

1. Objectifs et périmètre de la STD

Le cahier des charges pour la réalisation de la STD indiquera l'ensemble des hypothèses qui devront être renseignées par le bureau d'études et la trame de présentation des résultats.

Dans un contexte de multiplication et d'intensification des épisodes de chaleur, la STD ne vise plus uniquement à vérifier le respect d'indicateurs de confort thermique, mais constitue en plus un outil central pour garantir l'exploitabilité des locaux et la continuité des usages, y compris en conditions climatiques extrêmes.

La STD doit permettre :

- D'identifier les usages : zones et fonctions critiques du bâtiment ;
- De tester la robustesse des choix architecturaux, techniques et organisationnels face aux scénarios climatiques futurs ;
- De hiérarchiser les leviers d'adaptation au regard de leur efficacité réelle pour assurer la continuité de service.
- De qualifier les niveaux d'exploitabilité attendus en situation courante et dégradée ;

Le nom du logiciel et sa version devront être précisés.

Seront seuls utilisables pour la réalisation de ces études des outils de calcul de simulation dynamique fonctionnant avec un pas de temps horaire.

2. Identification des enjeux (services, typologies d'occupants et équipements sensibles)

En amont de la modélisation et dès la phase programmation un inventaire exhaustif des usages est réalisé et reporté sur les fiches programme, portant sur :

- Les espaces à occupation prolongée ;
- Les locaux à usage spécifique (salles informatiques, espaces accueillant des publics vulnérables etc.) ;
- Les équipements techniques sensibles à la surchauffe ;
- Les fonctions critiques nécessaires au maintien de l'activité, de la sécurité ou du service public.

Chaque usage ou fonction est hiérarchisé selon son niveau de criticité, en tenant compte :

- Des impacts d'une dégradation thermique sur la santé et la sécurité des occupants ;
- Des conséquences sur la qualité du service rendu et la continuité d'exploitation ;
- Des relations d'interdépendance entre les différentes fonctions et organes du bâtiment.

Pour chaque usage identifié, sont définis :

- Le niveau d'inopérabilité ou d'indisponibilité acceptable ;
- Les seuils de rupture, au-delà desquels l'usage ne peut plus être assuré ;
- Les seuils intermédiaires de dégradation, traduisant une altération progressive des conditions d'usage ou de performance.

Ces seuils sont exprimés à partir d'indicateurs adaptés : températures opératives[28], durées d'exposition à des températures élevées, dépassements de seuils normatifs ou réglementaires, indicateurs de stress thermique, etc.

3. Les paramètres

Les hypothèses renseignées dans le modèle doivent être indiquées dans le rapport STD, en particulier pour les éléments suivants :

- Saisie graphique du projet détaillée en un nombre de zones suffisamment représentatives en termes d'exposition et de fonctionnement ;
- Prise en compte des masques proches et lointains (des sorties graphiques 3D de la modélisation avec ombres portées devront être rendues) ;
- Caractéristiques géométriques des bâtiments et découpage en zones thermiquement homogènes ;
- Composition des parois ;
- Intégration des systèmes ;
- Intégration des équipements ;
- La température intérieure de consigne ;
- Le réduit en période d'inoccupation ;
- Le nombre d'occupants et les activités liées (matériels …) ;
- Le planning de fonctionnement des équipements (suivant hypothèses de calcul détaillé).

Les modèles intègrent :

- Les scénarios climatiques définis au principe 02 (horizons temporels et scénarios) ;
- Des profils d'occupation et d'usage réalistes ;
- Les stratégies de gestion et les modes d'exploitation, y compris en situation dégradée.

Elle permettra d'évaluer sur l'année simulée les besoins énergétiques en chauffage et le cas échéant en rafraîchissement, les périodes critiques génératrices d'inconfort et le coût des consommations des fluides en exploitation, en prenant en compte tous les postes consommateurs (chauffage, ECS, auxiliaires, éclairage, rafraîchissement).

4. Echantillonnage et zonage du bâtiment

Le zonage thermique du bâtiment consiste en un découpage en zones thermiquement homogènes du bâtiment. Il permet de définir les mêmes hypothèses d'occupation, d'utilisation et de fonctionnement communs à différents locaux du bâtiment. Les résultats sont alors disponibles pour ces regroupements de locaux, ou par zone thermique.

La modélisation doit tenir compte d'une analyse de l'enveloppe et des équipements sur un nombre suffisant de zones thermiquement homogènes correspondant à des expositions spécifiques et à des modalités d'occupation et d'exploitation du bâtiment, en privilégiant celles ayant été identifiées comme lieux d'inconfort. Elle intégrera la nature des activités hébergées et les équipements en découlant, ainsi que tout autre paramètre pouvant peser sur les bilans énergétiques.

L'Annexe 7 apporte des précisions.

5. La simulation de variantes d'optimisation

Un des principaux intérêts de la STD est de pouvoir réaliser un certain nombre de variantes afin d'évaluer leur impact sur l'exploitabilité des locaux, la continuité des usages et la réduction des situations d'inconfort en période estivale par comparaison d'indicateurs préalablement définis. La STD doit donc tester différents scénarios climatiques et d'occupation, ce qui permettra d'apprécier la robustesse de la conception envisagée.

Pour chacun des scénarios climatiques, différentes **variantes** doivent donc être **simulées afin de permettre un choix raisonné** (solutions techniques, architecturales ou organisationnelles), notamment :

- Pour les réhabilitations, une simulation « **initiale** » avant travaux pour évaluer le comportement du bâtiment en l'état aux conditions futures.
- Une variante « **optimale** » intégrant l'ensemble des leviers d'adaptation mobilisables.

- Une variante « **projet** » correspondant aux choix architecturaux (identiques en 2050 et 2100) et techniques retenus (modulables à moindre coût de 2050 à 2100).

Les résultats permettent de quantifier :

- Le nombre et le pourcentage d'heures d'occupation dépassant les seuils définis ;
- L'intensité et la durée des situations de dépassement ;
- Les marges de robustesse ou de vulnérabilité restantes.

Chaque variante fait l'objet d'une analyse argumentée, conduisant à des arbitrages explicites, à l'identification de points de vigilance et seuil climatique engendrant un changement notable de confort, des usages ou des équipements.

6. Les résultats attendus

Sur le confort thermique et l'exploitabilité

Le cahier des charges devra exiger des candidats/groupement de mettre en évidence le comportement thermique du bâtiment, sans rafraîchissement mécanique (à l'exception des brasseurs d'air), avec restitution des résultats suivants :

- Température maximale par zone ;
- Le nombre d'heures de dépassement des seuils thermiques définis par usage ;
- L'évolution des températures lors des épisodes les plus critiques ;
- Évolution des températures le jour le plus chaud ;
- Évolution des températures sur des locaux type ;
- Condition de confort sur plusieurs zones types (exemple pour le tertiaire : bureaux, salle de réunion, espace restaurant, salle du conseil, salle de formation) ;
- L'analyse détaillée de locaux représentatifs ou critiques (exemple : local serveur et autres locaux techniques sensibles, poste de commandement, zone refuge etc.) aux caractéristiques les plus défavorables du bâtiment.

Les zones d'étude auront au préalable fait l'objet d'une validation de la part du MOA ou de son AMO.

Sur la consommation énergétique :

- Les bilans des besoins de puissance à installer en chaud et froid ;
- Les consommations en énergie finale (électrique / réseau de froid / géothermie etc.) par usage en kWhef ;
- Les émissions de GES par usage en kgeqCO2 ;
- En option l'empreinte des équipements et matériaux mobilisés (dans une logique ACV) ;
- Le coût d'exploitation par poste en € HT/an sur la base des hypothèses de calcul.

Dans le cadre d'un Marché Global de Performance, un engagement associé à des pénalités doit être intégré pour garantir l'exploitabilité des locaux les plus critiques lors des fortes chaleurs. Même si cet engagement reste complexe à suivre en exploitation, il contraint le groupement dans la recherche en phase conception de solutions robustes face aux vagues de chaleur.

Annexe 6 : Audit / étude énergétique et SED, quelles différences avec la STD ?

1. L'audit énergétique

L'audit énergétique s'applique principalement aux bâtiments existants et vise à établir un diagnostic global de leur état thermique et énergétique.

Il repose sur :

- L'analyse de l'enveloppe et des systèmes (chauffage, ventilation, éclairage) ;
- L'étude des consommations énergétiques.

Il permet d'identifier les qualités et les faiblesses du bâtiment, puis de proposer des scénarios de travaux accompagnés d'ordres de grandeur de coûts, de gains énergétiques et de temps de retour sur investissement (estimations indicatives à manier avec prudence).

L'audit constitue ainsi un outil d'aide à la décision, orienté vers la planification des rénovations, souvent disponible dès les phases amont.

1. La Simulation Thermique Dynamique (STD)

La STD est utilisée en phase de conception, en neuf comme en réhabilitation. Elle modélise heure par heure le comportement thermique du bâtiment sur une année climatique, en intégrant les caractéristiques du bâti, les conditions climatiques et les usages.

Elle permet notamment :

- D'évaluer la réponse du bâtiment aux variations du climat ;
- De dimensionner différentes configurations architecturales et réponses techniques ;
- De tester des hypothèses d'exploitation.

La STD ne doit pas être considérée comme un outil prédictif fournissant une représentation exacte des conditions futures. Elle est avant tout un outil d'aide à la décision, permettant :

- D'objectiver l'efficacité relative des solutions ;
- De comparer différents scénarios de conception et d'exploitation ;
- D'identifier les marges de robustesse du bâtiment.

La STD se concentre sur les besoins thermiques et le confort, sans modéliser en détail les systèmes énergétiques. Elle constitue un outil essentiel et complémentaire à l'audit énergétique.

2. La Simulation Énergétique Dynamique (SED)

La SED prolonge la STD en intégrant le fonctionnement détaillé des systèmes énergétiques et leurs interactions avec les usages.

Elle permet :

- D'évaluer les consommations énergétiques et les émissions de CO_2 ;
- D'analyser les coûts d'exploitation ;
- De comparer différentes stratégies techniques et de régulation.

Elle constitue un outil de conception avancée pour affiner les choix énergétiques.

Annexe 7 : Échantillonnage et zonage du bâtiment / liste des locaux critiques

1. Principes du zonage thermique

Le zonage thermique consiste à découper le bâtiment en volumes homogènes du point de vue de leur comportement thermique, afin de représenter fidèlement les phénomènes physiques simulés en STD. Une zone thermique regroupe des espaces présentant des caractéristiques similaires en termes :

- D'usage et d'occupation ;
- D'apports internes ;
- D'enveloppe (orientation, isolation, inertie) ;
- De ventilation ;
- De systèmes techniques.

Le zonage ne doit pas être fondé sur une logique géométrique ou programmatique seule.

Exigences :

- Une zone thermique ne doit pas regrouper des espaces présentant des différences significatives d'exposition solaire, d'usage ou de systèmes ;
- Toute zone desservie par des systèmes de régulation distincts doit être modélisée séparément ;
- Les zones contribuant aux situations les plus pénalisantes en confort d'été doivent être explicitement identifiées ;
- Un zonage est considéré comme non conforme s'il conduit à lisser ou masquer des phénomènes de surchauffe localisés.

3. Méthodologie d'échantillonnage

L'échantillonnage consiste à modéliser un nombre limité de zones représentatives dans les bâtiments présentant des répétitivités (plateaux tertiaires, trames régulières).

Il doit viser à représenter les configurations typiques et les situations les plus défavorables.

L'échantillonnage est interdit pour :

- Les locaux critiques ;
- Les derniers niveaux ;
- Les façades fortement exposées (notamment ouest) ;
- Les configurations atypiques (atriums, double hauteur, zones peu ventilées).

Une approche simplifiée n'est acceptable qu'en phase amont ou pour des espaces strictement homogènes.

4. Règles de zonage

Le zonage doit distinguer toute situation entraînant un écart significatif de comportement thermique. Doivent être modélisés en zones distinctes :

- Les façades selon leur orientation (au minimum nord / sud / est / ouest) ;
- Les derniers niveaux et zones sous toiture ;
- Les locaux d'angle ;
- Les zones à forte densité d'occupation ;

- Les espaces à apports internes élevés ;
- Les zones présentant des stratégies de ventilation différentes ;
- Les espaces desservis par des systèmes CVC distincts.

Les zones en cœur de bâtiment peuvent être regroupées uniquement si leurs conditions sont homogènes. Tout regroupement de zones doit être justifié.

5. Locaux critiques à modéliser en priorité

Certains locaux doivent faire l'objet d'un zonage spécifique et d'une modélisation fine, sans simplification.

Locaux critiques liés aux équipements, par exemple :

- Locaux électriques ;
- Salles serveurs, locaux informatiques, data centers ;
- Laboratoires et locaux techniques spécialisés.

Ces espaces présentent des apports internes élevés, souvent continus, des exigences strictes de stabilité thermique, une faible tolérance aux dérives.

Exigences :

- Zonage dédié obligatoire ;
- Scénarios d'exploitation spécifiques ;
- Analyse en conditions climatiques extrêmes.

Locaux critiques liés aux usages, par exemple :

- Centres de commandement ;
- Cellules de crise ;
- Salles de supervision ;
- Espaces stratégiques nécessitant une continuité de fonctionnement.

Exigences :

- Zonage dédié obligatoire ;
- Prise en compte de scénarios d'occupation prolongée ;
- Vérification du maintien de conditions acceptables en situation de vague de chaleur ;
- Intégration de scénarios dégradés si pertinent.

GLOSSAIRE

[1] **Plan de Continuité d'Activité (PCA) :** Document définissant les mesures permettant de maintenir les fonctions essentielles d'un bâtiment en situation dégradée (vague de chaleur extrême, panne). Il inclut organisation, priorisation des usages, basculement vers zones refuges et ajustement des horaires. Pilier de la résilience opérationnelle.

[2] **Pic de chaleur :** Désigne un épisode bref (24 à 48 h) durant lequel les températures sont nettement supérieures aux normales de saison (localement ou nationalement)

[3] **Vague de chaleur :** Épisode de températures anormalement élevées, sur plusieurs jours consécutifs, dépassant les normales saisonnières locales. Ces épisodes impactent fortement les bâtiments en raison de la charge thermique cumulée. Pour répondre aux critères cumulatifs d'une vague de chaleur, l'indicateur thermique national :

- Doit être supérieur ou égal pendant un jour à 25,3°C ;
- Doit être supérieur ou égal à 23,4°C pendant au moins 3 jours.

La vague de chaleur se termine lorsque l'indicateur thermique national redescend sous 23,4°C pendant 2 jours consécutifs ou lorsqu'il redescend même une journée sous 22,4°C.

[4] **Canicule :** Le terme canicule désigne un épisode de températures élevées, de jour comme de nuit, sur une période prolongée (au moins 3 jours). Pour les identifier, les météorologues de Météo-France ont défini des seuils de température et de durée qui varient selon les départements. 4 niveaux différenciés :

- Niveau de Vigilance vert > pas de vigilance particulière

- Niveau de Vigilance jaune > correspond à un pic de chaleur, soit une exposition de courte durée (1 ou 2 jours) à une chaleur intense présentant un risque pour les populations fragiles ou surexposées (conditions de travail ou activité physique). Il peut aussi correspondre à un épisode persistant de chaleur (supérieur à 3 jours) ;

- Niveau de Vigilance orange > correspond à une canicule, soit une période de chaleur intense pendant au moins 3 jours et 3 nuits consécutifs, susceptible de constituer un risque sanitaire pour l'ensemble de la population exposée ;

- Niveau de Vigilance rouge > correspond à une canicule extrême, exceptionnelle par sa durée, son intensité, son extension géographique, et présente un fort impact sanitaire pour l'ensemble de la population et des impacts sociétaux (sécheresse, approvisionnement en eau potable, aménagement ou arrêt de certaines activités, etc.).

[5] **TRACC :** Scénario national de référence décrivant l'évolution climatique de la France jusqu'en 2100 (+4°C). Il sert de base à la conception résiliente en intégrant dérive climatique, fréquence des vagues de chaleur et intensification des extrêmes. Indispensable pour dimensionner les projets à long terme.

[6] **Nuit tropicale :** Nuit au cours de laquelle la température ne descend pas en dessous de 20°C

[7] **Îlot de chaleur urbain (ICU) :** Phénomène d'élévation locale des températures en zone urbaine par rapport aux zones rurales voisines, dû à l'imperméabilisation, à l'inertie des matériaux et à la faible végétalisation. Il réduit l'efficacité du rafraîchissement nocturne et accentue les risques de surchauffe.

[8] **Confort thermique :** Action technique visant à réduire la température ressentie de manière passive.

[9] **Rafraîchissement :** Action technique visant à réduire la température ressentie de manière passive.

[10] **Résilience :** Capacité des systèmes sociaux, économiques et environnementaux à faire face à un événement, une tendance ou une perturbation dangereuse, en répondant ou en se réorganisant de manière à maintenir la capacité d'adaptation, d'apprentissage, et de transformation (définition du GIEC).

[11] **Confort thermique :** Le confort thermique d'été correspond à la capacité d'un bâtiment à maintenir, en période chaude, des conditions intérieures acceptables pour les occupants, compte tenu du climat, du bâti et des stratégies de rafraîchissement. Il dépend de plusieurs paramètres physiques, notamment la température de l'air et des parois, l'humidité relative et les mouvements d'air, tels que définis par la norme ISO 7730.

[12] **Épisode récurrent de vague de chaleur :** Se réfère à un phénomène de vague de chaleur dont la probabilité d'occurrence à l'horizon temporel concerné est de 50% (une année sur deux).

[13] **Résilience thermique :** Capacité d'un bâtiment à conserver son exploitation, sa sécurité et des conditions sanitaires acceptables lors d'un épisode exceptionnel, y compris via des modes dégradés d'exploitation.

[14] **Épisode exceptionnel de vague de chaleur :** Se réfère à un phénomène de vague de chaleur dont la probabilité d'occurrence à l'horizon temporel concerné est de 5% (une année sur vingt).

[15] **Système passif :** Dispositif ou principe de conception permettant d'assurer le confort thermique sans recours à une consommation énergétique dédiée. Il repose sur les caractéristiques du bâtiment et de son environnement et constitue le premier niveau d'intervention en conception bioclimatique.

[16] **Système actif :** Dispositif technique assurant le chauffage, le rafraîchissement ou le traitement de l'air par une production d'énergie dédiée, indépendante des conditions climatiques. Dans le cadre du confort d'été, il s'agit notamment des systèmes de climatisation reposant sur un cycle frigorifique. Leur usage doit rester ciblé et complémentaire à une conception bioclimatique performante.

[17] **Confort adaptatif :** Approche du confort thermique fondée sur la capacité d'adaptation des occupants aux conditions intérieures et extérieures. Elle prend en compte les interactions entre environnement, usages et comportements, et permet d'élargir les plages de confort acceptables, en particulier en période estivale, afin de limiter le recours aux systèmes actifs.

[18] **Zone refuge :** Espace du bâtiment maintenu dans des conditions thermiques acceptables lors d'épisodes de chaleur extrême, permettant d'accueillir temporairement les occupants lorsque les autres zones deviennent inconfortables.

[19] **Fichier climatique dimensionnant :** Fichier de référence, représentatif d'épisodes de chaleur sévères, aujourd'hui considérés comme exceptionnels mais appelés à devenir beaucoup plus fréquents à l'horizon 2050. Il doit reproduire au minimum les événements les plus intenses observés au cours des deux dernières décennies (ex. 2003, 2019). Il est utilisé en conception pour tester les bâtiments dans des conditions exigeantes et garantir leur robustesse et leur confort thermique sur le long terme.

[20] **Surchauffe :** Situation dans laquelle les conditions thermiques intérieures dépassent les seuils de confort acceptables pour les occupants, de manière ponctuelle ou prolongée, généralement liée à une accumulation excessive de chaleur.

[21] **Analyse environnementale de site :** Analyse réalisée en phase de programmation visant à caractériser les conditions climatiques, urbaines et écologiques spécifiques d'un site (ensoleillement, vents, îlot de chaleur, végétation, sols, ressources locales).

Elle permet d'identifier les contraintes et les potentiels du site afin d'orienter les choix de conception vers des solutions bioclimatiques adaptées et d'améliorer la robustesse du projet face aux conditions climatiques actuelles et futures.

[22] **Inertie thermique :** Capacité d'un matériau ou d'un bâtiment à stocker de la chaleur et à en retarder la restitution, contribuant à lisser les variations de température intérieure.

[23] **Albédo :** Capacité d'une surface à réfléchir le rayonnement solaire, exprimée par un coefficient compris entre 0 et 1. Plus l'albédo est élevé, plus la surface réfléchit l'énergie solaire et limite son échauffement. À l'inverse, une surface à faible albédo absorbe davantage de chaleur. Le revêtement clair sont donc utiles pour renvoyer une partie des rayonnements du soleil.

[24] **Apports internes :** Ensemble des apports de chaleur générés à l'intérieur du bâtiment par les occupants, les équipements et l'éclairage.

[25] **Rayonnement diffus :** Part du rayonnement solaire qui atteint les façades et toitures après diffusion dans l'atmosphère, provenant de l'ensemble du ciel et non directement du soleil. Dans le bâtiment, il constitue une source d'apports thermiques significative, y compris sur des façades peu exposées au soleil direct (notamment au nord), et doit être pris en compte dans la conception des protections solaires et des surfaces vitrées.

[26] **Déstockage thermique :** Processus d'évacuation de la chaleur accumulée dans les parois et les volumes intérieurs d'un bâtiment, généralement favorisé par la ventilation nocturne ou des dispositifs de rafraîchissement passif ou actif.

[27] **Thalassothermie :** Système énergétique utilisant l'eau de mer comme source de chaleur ou de fraîcheur pour assurer le chauffage, le rafraîchissement ou la production d'eau chaude d'un bâtiment, généralement au moyen d'échangeurs et de pompes à chaleur.
La thalassothermie permet de valoriser une ressource thermique renouvelable locale, principalement dans les zones littorales.

[28] **Température opérative :** Température représentative du confort thermique ressenti, résultant de la combinaison de la température de l'air et de la température moyenne des parois environnantes.