

Guide méthodologique pour l'adaptation des bâtiments existants au changement climatique



Avant-Propos et Remerciements

Les phénomènes climatiques de ces dernières années nous le rappellent : nos infrastructures, au premier rang desquelles nos bâtiments, ne sont pas prêtes à faire face à l'évolution du climat. Cette impréparation entraîne déjà des conséquences majeures sur les populations et l'économie : 300 décès en excès enregistrés lors de la canicule d'août 2025 ; 3,5 Mds d'euros de dommages suscités par la sécheresse exceptionnelle en 2022.

Face à ce constat et à la faveur de la dynamique récente en faveur de l'adaptation (en particulier avec la présentation du 3^{ème} Plan National d'Adaptation au Changement Climatique), les acteurs de la filière du bâtiment et de l'immobilier s'organisent. Un nombre croissant d'entre eux souhaitent initier une stratégie d'adaptation de leurs bâtiments pour en réduire les vulnérabilités et être mieux préparés face à un climat qui évolue.

En construction neuve, la **RE2020** a pris toute sa place et démontré l'importance de faire précéder les évolutions réglementaires par des expérimentations et des labels. Ces démarches permettent aux membres de la filière, déjà engagés sur les aspects environnementaux, de tester, partager et promouvoir de nouveaux critères vertueux pour leur secteur.

Dans cet esprit, la démarche **CAP2030**, initiée par le Plan Bâtiment Durable et portée par l'Alliance HQE-GBC, le collectif Effinergie, le collectif des Démarches QBD, avec le soutien du CSTB, de la DGALN et de l'ADEME, propose **pour la construction neuve** de nouvelles thématiques, en plus du carbone et de l'énergie, telles que la gestion de l'eau, la préservation de la biodiversité, l'économie circulaire, la qualité des environnements intérieurs ainsi que l'adaptation au changement climatique.

En revanche, **pour le parc existant**, les politiques publiques récentes (décret tertiaire, soutien à la rénovation énergétique) se sont largement concentrées sur l'amélioration de la performance énergétique (et la baisse des émissions de gaz à effet de serre) sans prise en compte d'autres objectifs environnementaux ou d'adaptation.

Ainsi, malgré la volonté croissante des acteurs de la filière, il n'existait jusqu'à aujourd'hui ni référentiel, ni cadre commun, partagé et consensuel sur l'adaptation des bâtiments existants au changement climatique. Cette absence de cadre était régulièrement évoquée comme un des principaux freins par les organisations qui souhaitent se lancer dans une telle démarche.

L'élaboration de ce guide a donc été décidée au sein du bureau du Plan Bâtiment Durable en octobre 2024 pour combler ce manque en proposant un cadre méthodologique commun pour l'adaptation des bâtiments existants.

Ce document a été élaboré sur la base des éléments techniques existants produits par la filière et consolidés par l'expertise d'une douzaine de structures regroupées au sein d'un groupe de travail ainsi dénommé, le **"GT Réha'DAPT"**.

L'initiative et le collectif rédactionnel se sont appuyés sur la lettre de mission du **Plan Bâtiment Durable** du 04 novembre 2024 qui précise : *"le guide proposera un schéma logique pour l'adaptation du bâti existant visant une meilleure adoption par la filière des notions d'expositions, de vulnérabilités, et de risques de dommages à éviter"*.

Je tiens à remercier chaleureusement tous les membres du **groupe de travail "Réha'DAPT"** qui ont tous contribué aux réflexions, harmonisations et rédactions de ce GUIDE depuis un an et qui ont permis l'émergence de cette première version du cadre commun de référence pour l'adaptation des bâtiments existants, à savoir :

- Laurent ROSSEZ - pilote du GT Réha'DAPT, membre du bureau du **Plan Bâtiment Durable** et DGA de l'agence **AIA Life Designers**.
- Sakina PEN POINT et Irène LE BORGNE - du **CEREMA**, respectivement Directrice de projet et Cheffe de projet adaptation des bâtiments au changement climatique.
- Alexandra LEBERT - du **CSTB**, Directrice de recherche bâtiments et villes face au changement climatique.
- Morgane MOULLIÉ puis Victor PIANET VAUTHIER - de l'**Observatoire de l'Immobilier Durable OI**D, Responsables Adaptation.
- Serge NADER - de l'**Alliance HQE-GBC**, Chargé de mission Aménagement et Adaptation au Changement Climatique.
- Ophélie GÉMOND - du bureau d'études et conseils en immobilier durable **SEVAIA**, Directrice de l'agence de Nantes.
- Pierre DEROUBAIX et Hakim HAMADOU - de l'**ADEME**, respectivement Ingénieurs sur l'adaptation au changement climatique et sur l'adaptation des bâtiments aux vagues de chaleur dans le secteur bâtiment.
- Guillaume DOLQUES - de l'**Institut de l'économie pour le Climat I4CE**, Chercheur sur l'adaptation aux impacts du changement climatique.
- Frédéric HENRY - de l'**Agence Qualité Construction AQC**, Directeur prévention, construction & partenariats.

À ce groupe d'auteurs, j'exprime toute ma reconnaissance, souhaitant que cet ouvrage - qui évoluera avec le temps - trouve rapidement son utilité.

Philippe PELLETIER,
Président du **Plan Bâtiment Durable**.



Table des matières

Avant-Propos et Remerciements	2
Préambule	5
Contexte et enjeux pour le secteur du bâtiment.....	5
Objectifs du guide.....	6
À qui s'adresse ce guide ?	7
Organisation du guide	7
1. Cadre de l'adaptation des bâtiments	8
1.1. Lexique de l'adaptation	8
1.2. Préalable pour une adaptation soutenable et cohérente.....	12
1.3. Les aléas climatiques et leurs impacts sur les bâtiments	12
1.4. Adaptation des bâtiments, de quoi parlons-nous ?.....	17
2. Mettre en place une stratégie d'adaptation à l'échelle d'un parc de bâtiments	19
2.1. Objectifs et cadrage d'une stratégie d'adaptation	19
2.2. Schéma méthodologique.....	22
2.3. Étude d'exposition	23
2.4. Étude de vulnérabilité.....	27
2.5. Analyse croisée - Hiérarchisation, priorisation et agrégation des bâtiments et des risques	30
2.6. Définir la stratégie d'adaptation d'un parc	33
3. Effectuer un audit d'adaptation à l'échelle d'un bâtiment	38
3.1. Objectifs d'un audit d'adaptation	38
3.2. Schéma méthodologique.....	41
3.3. Étude d'exposition	42
3.4. Étude de vulnérabilité.....	42
3.5. Analyse croisée des risques : hiérarchisation et priorisation	45
3.6. Plan d'actions pour l'adaptation	46
3.7. Gouvernance, déploiement, suivi et évaluation.....	50
4. Chiffrer les coûts et estimer les bénéfices de l'adaptation des bâtiments au changement climatique	53
4.1. Le coût de l'adaptation est fortement dépendant des stratégies et des solutions retenues.....	53
4.2. Différents types de coût à considérer	54
4.3. Des coûts visibles, mais des bénéfices parfois mal appréhendés et diffus.....	55
Conclusion	57
Aller plus loin	58
Annexes.....	61

Préambule

Contexte et enjeux pour le secteur du bâtiment

La synthèse du sixième rapport d'évaluation du GIEC¹ - Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat - publiée lundi 20 mars 2023 confirme l'accélération du changement climatique et l'apparition des conséquences systémiques sur la biosphère et les processus socio-économiques. En parallèle, le troisième Plan National d'Adaptation au Changement Climatique² (PNACC-3), présenté en mars 2025, propose 52 mesures pour renforcer le niveau de préparation de la France face au changement climatique en se basant sur une trajectoire de réchauffement de référence de la France (TRACC) de +4°C à la fin du siècle avec des points de passage à 2030 et 2050.

L'évolution du climat entraîne des conséquences très directes sur le secteur du bâtiment, pour lequel l'adaptation est devenue une nécessité. En effet, à mesure que le climat se réchauffe, les bâtiments sont de plus en plus exposés aux aléas climatiques suivants :

- Les vagues de chaleur
- Les vagues de froid
- Les sécheresses
- Les fortes pluies
- Les vents forts
- Les orages-grêle

En France hexagonale, tous les aléas n'évoluent pas au même rythme : les risques "structurels" liés à la chaleur et au manque d'eau s'imposent déjà comme prioritaires. Les vagues de chaleur augmentent fortement en fréquence et en durée (le nombre de jours a été multiplié par quatre en moyenne annuelle en quelques décennies) et devraient au moins doubler d'ici 2050, avec des épisodes susceptibles de s'étendre sur une période beaucoup plus longue dans l'année. En parallèle, les sécheresses des sols se renforcent nettement (intensité et durée multipliées par deux depuis les années 1960, davantage dans le Sud), ce qui accentue le risque de retrait-gonflement des argiles, les tensions sur la ressource en eau et le risque d'incendie (saison plus longue, extension géographique vers le Nord)³. À côté de ce "couple chaleur-sécheresse", les pluies extrêmes deviennent plus intenses et fréquentes, augmentant les risques d'inondations rapides et de dommages sur le bâti, tandis que la hausse du niveau de la mer renforce durablement les enjeux de submersion et d'érosion sur le littoral.

¹ <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

² <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/PNACC3.pdf>

³ Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique, *Climat : que nous dit la science ?*, 2023

Ces aléas n'impactent pas l'ensemble des territoires et des bâtiments de manière homogène : les typologies bâties, leur implantation géographique mais aussi leur capacité à s'adapter conditionnent leur niveau d'exposition et de vulnérabilité. Dès lors, conduire une analyse de risques et une démarche d'adaptation est nécessaire pour objectiver ces aspects de la manière la plus contextualisée possible.

Si les démarches d'atténuation et d'adaptation sont toutes deux essentielles et doivent être mises en œuvre en parallèle, le thème de l'atténuation a fait l'objet d'un grand nombre de travaux, qui ont donné lieu à des réglementations telles que la RE 2020 pour le neuf, la mise en place d'outils dédiés, tandis que celui de l'adaptation en France est pour l'instant sous-exploré.

S'agissant de la construction neuve, le groupe de travail GT8 du projet "[CAP 2030](#)", co-piloté par l'Alliance HQE-GBC et le CSTB, pose des premières définitions et une méthodologie de pré-diagnostic multi-aléa.

Or, en France, l'enjeu principal réside sur le patrimoine déjà bâti, qui constitue la très grande majorité des bâtiments qui seront exploités dans les décennies à venir. Selon la BDNB (Base de Données Nationale des Bâtiments), il représente aujourd'hui 32 millions de bâtiments résidentiels et tertiaires existants qui devraient disposer de stratégies et plans d'adaptation.

L'absence d'un cadre commun partagé et consensuel pour l'adaptation du bâti existant est régulièrement évoquée comme un des principaux freins évoqués par les acteurs de la filière qui souhaitent se lancer dans une démarche d'adaptation de leurs actifs immobiliers. Le présent document a pour objectif de constituer le socle d'un tel cadre.

Objectifs du guide

Ce guide propose un cadre méthodologique pour l'adaptation des bâtiments existants au changement climatique. Il vise à :

- Harmoniser le vocabulaire et diffuser une culture commune de l'adaptation au sein de la filière bâtiment et des territoires.
- Inciter et permettre aux acteurs de définir et formuler leurs propres enjeux et objectifs d'adaptation.
- Aider à la prise en compte de l'adaptation au changement climatique pour les bâtiments existants, que ce soit pour les projets de rénovation, d'entretien ou pour leur usage au quotidien.
- Faciliter la planification stratégique et prioriser les solutions d'adaptation en fonction des niveaux de risques climatiques diagnostiqués.

Ce guide peut être utilisé comme **un cadre méthodologique, non prescriptif, permettant une appropriation souple et évolutive selon les contextes locaux**. Il peut également servir de socle commun pour alimenter les cahiers des charges, sensibiliser les parties prenantes, structurer les diagnostics techniques ou guider la programmation de travaux.

Il permet notamment de positionner les démarches d'adaptation dans les cadres réglementaires et incitatifs posés par des textes tels que la Stratégie Nationale Bas-Carbone SNBC, le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique - PNACC, la Taxonomie Européenne.

À qui s'adresse ce guide ?

Ce guide s'adresse en priorité aux acteurs de la filière de l'immobilier, du bâtiment et de l'aménagement souhaitant conduire ou diligenter un plan d'adaptation de leurs bâtiments. Il s'adresse ainsi principalement aux professionnels de la chaîne de valeur du secteur de l'immobilier qui travaillent avec du patrimoine existant. Volontairement didactique, il peut également servir de support d'acculturation pour des publics non spécialistes.

Organisation du guide

Le document se structure en deux grandes parties complémentaires :

- La **première partie** traite de l'analyse des risques climatiques à l'échelle d'un parc immobilier ou d'un ensemble patrimonial comprenant plusieurs bâtiments. Il propose une méthodologie pour élaborer une stratégie globale d'adaptation du patrimoine bâti.
- La **seconde partie** vise à fournir des informations pour mener des analyses et mettre en place un plan d'adaptation à l'échelle d'un bâtiment unique.

Ces deux parties s'appuient sur un **cadre commun** présenté au début du guide : lexique, aléas climatiques pertinents pour le bâtiment, principes de soutenabilité et de gouvernance.

1. Cadre de l'adaptation des bâtiments

1.1. Lexique de l'adaptation

Cette section reprend un ensemble de définitions nécessaires à la lecture de ce guide.

♦ Adaptation au changement climatique

Démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences. Il s'agit d'atténuer les effets préjudiciables et d'exploiter les effets bénéfiques. [Source: NF EN ISO 14090: 2019. Adaptation au Changement climatique- Principes, exigences et lignes directrices, adapté de GIEC, 2014].

♦ Horizon temporel

Période de temps choisie pour analyser l'évolution possible du climat, évaluer les impacts potentiels sur les bâtiments et définir les mesures d'adaptation appropriées.

En cohérence avec les travaux du GIEC et les politiques climatiques françaises, on distingue en général :

Terme	Période	Logique
Court terme	Jusqu'à 2030	Basé sur les tendances climatiques déjà enclenchées ; les scénarios d'émissions ont peu d'influence à ce stade.
Moyen terme	2030–2050	Les différences entre scénarios climatiques commencent à apparaître. C'est souvent l'échelle des décisions stratégiques, notamment pour les réflexions patrimoniales.
Long terme	2050–2100 (et au-delà)	Les écarts entre trajectoires climatiques (Representative Concentration Pathways RCP ou Trajectoire de Référence d'Adaptation au Changement Climatique TRACC) deviennent très significatifs.

Le choix de l'horizon temporel pourra dépendre de la durée de vie du bâtiment, des scénarios possibles (GIEC, TRACC, etc.) et des calendriers de mise en œuvre des actions d'adaptation.

♦ TRACC - Trajectoire de Référence d'Adaptation au Changement Climatique

Trajectoire de réchauffement de référence proposée par la France en 2023, et destinée à servir de référence à toutes les actions d'adaptation menées en France. Elle s'appuie sur un scénario tendanciel du GIEC et vise environ + 4°C en moyenne en France hexagonale à l'horizon 2100, avec des points de passage intermédiaires : +2°C en 2030 et +2,7°C en 2050.

En 2025, la traduction juridique de la TRACC fait l'objet de consultation sur ses objectifs, son principe d'élaboration et ses conditions de mise à jour. En revanche, les textes et règlements impactés par la mise en œuvre de la TRACC ne sont pas précisés. À l'échelle européenne, des discussions sont également en cours sur l'élaboration d'une trajectoire.

Scenario GIEC	Horizon	Monde - GWL	France - FWL
RCP 8.5 - proche	2021 - 2050	+ 1,5°C	+ 2° C
RCP 8.5 - moyen	2041 - 2070	+ 2°C	+ 2,7° C
RCP 8.5 - lointaine	2071 - 2100	+ 3°C	+ 4° C

Tableau de rapprochement entre les scénarios de forçage radiatif (RCP), les niveaux de réchauffement à l'échelle mondiale (GWL) et en France (FWL) ([OID 2024](#))

Ce tableau illustre la correspondance entre les scénarios RCP et la trajectoire TRACC. La trajectoire TRACC ne reprend pas la moyenne du scénario RCP 8.5, mais s'appuie sur la borne basse de ce scénario, c'est-à-dire l'estimation la plus « positive » d'un scénario pourtant pessimiste. La méthode repose sur un choix initial d'augmentation de température globale, puis de décliner leurs effets à l'échelle de la France. Ainsi, la trajectoire TRACC veut rester dans le périmètre scientifique du RCP 8.5, tout en adoptant l'hypothèse la plus optimiste de son intervalle de confiance.

♦ Indicateurs prospectifs / non-prospectifs

Les indicateurs prospectifs sont des variables quantifiables utilisées pour anticiper l'évolution future du climat ou de ses impacts à un horizon temporel donné, selon un ou plusieurs scénarios climatiques. Exemple : fréquence des vagues de chaleur en 2050.

Les indicateurs non prospectifs sont des variables quantifiables qui sont actuelles, et qui participent à comprendre la réponse d'un système, mais qui n'ont pas été projetées dans le futur à l'aide de scénarios climatiques. Exemple : températures observées et sinistralité / plaintes.

♦ Risque climatique

Probabilité d'occurrence de conséquences négatives sur les systèmes humains ou naturels résultant de l'interaction d'un aléa climatique, de l'exposition des enjeux et de leur vulnérabilité.

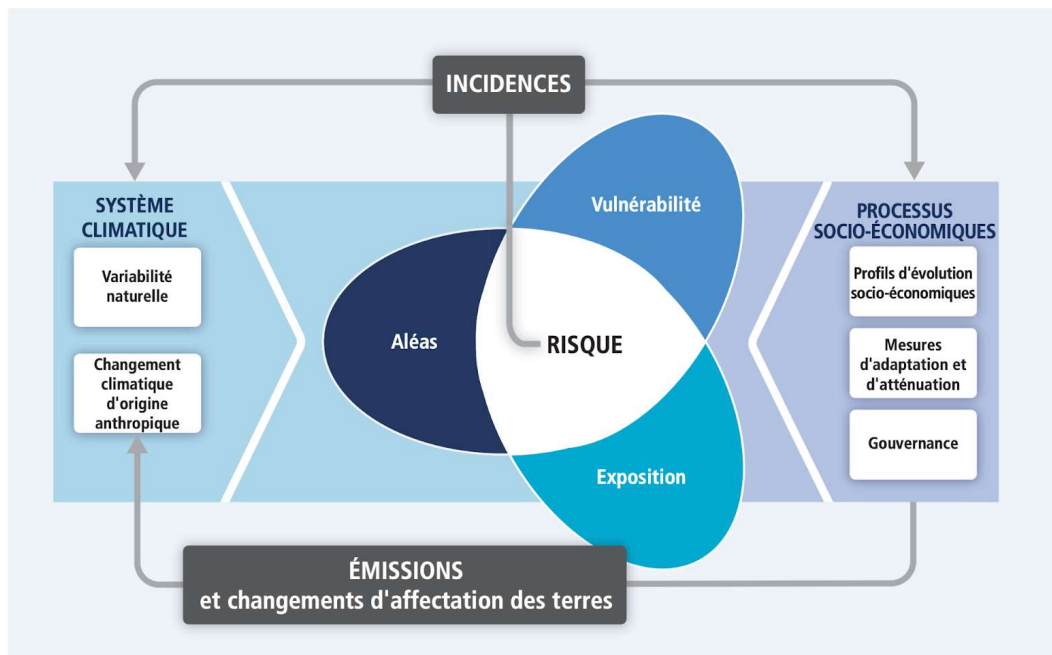


Figure RID.1 | Notions essentielles abordées dans la contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation (GTII RES). Le risque d'incidences liées au climat découle de l'interaction entre des aléas climatiques (y compris les tendances et les phénomènes dangereux) et la vulnérabilité et l'exposition des systèmes anthropiques et naturels. Les changements qui touchent à la fois le système climatique (à gauche) et les processus socio-économiques, y compris l'adaptation et l'atténuation (à droite), sont les principales causes des aléas, de l'exposition et de la vulnérabilité. [19.2; figure 19-1]

Schéma conceptuel du risque (source : GIEC)

$$\text{Risque climatique} = f(\text{Aléa}, \text{Exposition}, \text{Vulnérabilité})$$

♦ Aléa climatique

Phénomène naturel potentiellement dommageable, amplifié ou modifié par le changement climatique. Il est caractérisé par sa fréquence, sa durée, son intensité, son étendue géographique et sa période d'occurrence.

♦ Exposition au risque

Présence de personnes, d'activités, de bâtiments, d'infrastructures ou d'écosystèmes dans des zones susceptibles d'être affectées par un aléa climatique. C'est une caractéristique spatiale et contextuelle : on est plus ou moins exposé selon l'implantation.

1. Exemple : Un bâtiment en bord de mer est plus exposé à la montée du niveau de la mer qu'un bâtiment situé en altitude.

♦ Vulnérabilité climatique

Degré auquel un système (bâtiment, parc bâti, organisation, population) est susceptible d'être affecté négativement par un aléa climatique, en fonction de sa sensibilité (capacité à encaisser ou non les impacts), ses enjeux d'usages et sa capacité d'adaptation. Elle résulte des facteurs physiques, sociaux, économiques et institutionnels.

2. Exemple : Un EHPAD sans protection solaire sera plus vulnérable aux vagues de chaleur qu'un bâtiment bioclimatique occupé par des personnes jeunes et en bonne santé.

◇ Sensibilité bâtiminaire

Prédisposition d'un bâtiment à réagir (plutôt mal ou plutôt bien) lorsqu'un aléa climatique survient, en fonction de ses caractéristiques physiques (matériaux, conception, orientation, isolation, mode de ventilation, etc.). Elle est évaluée indépendamment de la capacité d'adaptation.

3. *Exemple : Un immeuble de bureau avec des baies vitrées orientées à l'ouest et sans protection solaire est plus sensible aux vagues de chaleur qu'un même bâtiment dont les baies vitrées sont orientées au nord ou protégées par des protections solaires.*

◇ Capacité d'adaptation

Capacité d'ajustement des systèmes, des institutions, des êtres humains et des autres organismes, leur permettant de se prémunir contre les risques de dégâts, de tirer parti des opportunités ou de réagir aux conséquences. [Source: NF EN ISO 14090: 2019, 3.2. Adaptation au Changement climatique- Principes, exigences et lignes directrices, adapté de GIEC, 2014]

4. *Exemple : Un établissement aux horaires modulables sera plus adaptable qu'un établissement occupé en permanence.*

◇ Capacité d'adaptation d'un parc bâti ou d'un bâtiment

Capacité concrète du patrimoine à évoluer dans le temps pour rester fonctionnel malgré le changement climatique. Elle dépend notamment :

- **De la localisation géographique et du contexte réglementaire** qui encadrent ce qu'il est possible de faire en matière d'adaptation ;
- **Des caractéristiques techniques** (mode constructif, forme architecturale, etc.) qui vont représenter des contraintes ou des opportunités à l'évolution du bâti ou de son usage ;
- **Des solutions techniques mobilisables** selon le contexte technico-économique, la disponibilité en ressources, en main d'œuvre, en compétences ;
- **Des ressources financières pouvant être mobilisées pour son adaptation** (capacité d'investissement, accès aux aides, coûts des solutions d'adaptation) ;
- **Des ressources humaines et compétences** pouvant être mobilisées pour son évolution :
 - Inclut **les capacités "organisationnelles" des parties prenantes** (propriétaire, gestionnaire, exploitant, etc.), les compétences requises, le nombre de professionnels mobilisables et la place accordée à l'adaptation dans les stratégies d'entreprise et la gestion du patrimoine.
 - Inclut **la capacité des occupants** à faire évoluer leurs pratiques ou à mettre en œuvre des protections selon leurs caractéristiques (propriétaire/locataire, âge, condition physique et métabolisme, etc.) et leurs moyens.

1.2. Préalable pour une adaptation soutenable et cohérente

Une stratégie d'adaptation n'a du sens que si elle est à la fois **soutenable** et **cohérente avec les référentiels nationaux et territoriaux**.

▲ **Une adaptation soutenable : sur le plan environnemental, social et économique, l'adaptation doit :**

- Rester compatible avec les trajectoires nationales (SNBC, loi AGEC, plan Eau, etc.) et éviter d'augmenter l'empreinte carbone ou la consommation de ressources.
- Contribuer à la justice sociale en garantissant un accès équitable au confort, à la sécurité et aux services, notamment pour les publics les plus vulnérables.
- Prendre en compte les coûts et bénéfices élargis en intégrant les externalités : pertes évitées (santé publique, dégradation du bâti, pertes d'exploitation, etc.) et les co-bénéfices (durabilité, attractivité, pérennité de l'usage) au-delà de la seule rentabilité immédiate. De plus, les chantiers d'adaptation s'insèrent dans un tissu économique existant, la compatibilité avec les modèles économiques locaux (coût d'entretien, exploitation, propriété ou location, etc.) doit être pensée.

▲ **Une compatibilité systémique :** sur le plan réglementaire, les démarches d'adaptation doivent s'inscrire dans les documents de planification et de gestion des risques : SCoT, PLUi, PPR, stratégies locales d'adaptation, etc.

Enfin, il est indispensable d'éviter les risques de maladaptation : solutions qui, en réduisant certains risques à court terme, aggraverait d'autres vulnérabilités. Chaque solution doit donc être évaluée à l'aune de ces risques en tenant compte du contexte local et des horizons temporels retenus [cf. Annexe 1. Éviter la maladaptation].

1.3. Les aléas climatiques et leurs impacts sur les bâtiments

1.3.1. Les aléas climatiques

Le changement climatique se traduit par une **évolution précipitée des principaux paramètres climatiques** : la température de l'air, l'ensoleillement, la pression atmosphérique, l'humidité, la pluviométrie, les vents et les courants atmosphériques.

Ces évolutions induisent **des aléas climatiques** qui se combinent dans les milieux : entraînant potentiellement **des risques climatiques** associés qui concernent, entre autres, les bâtiments.

Pour **identifier les aléas climatiques qui impactent le secteur du bâtiment**, nous proposons de retenir la classification de la Taxinomie Européenne et d'approfondir selon les travaux de **CAP2030 - GT8**.

La Taxinomie Européenne

La taxinomie (ou taxonomie) constitue un référentiel commun à l'ensemble des activités économiques, permettant de qualifier la durabilité des activités.

Elle propose une classification et organisation des risques et aléas auxquels ces secteurs sont confrontés. Ce système de classification distingue deux types d'aléas majeurs : les **aléas chroniques** et les **aléas aigus**. Les aléas chroniques désignent les risques de longue durée, qui évoluent lentement et peuvent avoir des conséquences progressives. En revanche, les aléas aigus sont des événements soudains, souvent imprévisibles, qui surviennent rapidement et imposent une réaction immédiate.

Exemples :

- La modification graduelle des températures ou la montée du niveau de la mer sont des aléas chroniques.
- Les feux de forêts, les pluies diluviennes éclairs ou encore les tempêtes cycloniques sont des aléas aigus.

Le tableau ci-après, issu de la Taxinomie, fait ressortir (surligné en violet) les **19 aléas qui ont des impacts directs sur le secteur du bâtiment** :

	Aléas liés à la température	Aléas liés au vent	Aléas liés à l'eau	Aléas liés aux masses solides
Aléas chroniques	Modification des températures (air, eau douce, eau de mer)	Modification des régimes de vent	Modification des régimes et types de précipitation (pluie, grêle, neige/glace)	Érosion du littoral
	Stress thermique		Variabilité hydrologique ou des précipitations	Dégradation des sols
	Variabilité des températures		Acidification des océans	Érosion des sols
	Dégel du pergélisol		Infiltration de l'eau de mer	Solifluxion
			Élévation du niveau de la mer	

Aléas aigus	Vagues de chaleur	Cyclone, ouragan, typhon	Sécheresse	Avalanche
	Vagues de froid/gel	Tempête (y compris de neige, de poussière ou de sable)	Fortes précipitations (pluie, grêle, neige/glace).	Glissement de terrain
	Feux de forêt	Tornade	Inondations (côtière, fluviale, par remontée d'eau souterraine)	Affaissement
			Rupture de lacs glaciaires	

CAP2030 - GT8 Adaptation

Au sein du groupe de travail **CAP2030 - GT8**, les aléas et risques climatiques identifiés comme ayant un impact sur le secteur du bâtiment sont les suivants :

6 aléas climatiques	10 risques associés pour le bâtiment
1. Les vagues de chaleur 2. Les vagues de froid 3. Les sécheresses 4. Les fortes pluies 5. Les vents forts 6. Les orages-grêle	1. La surchauffe du bâti 2. La qualité de l'air 3. Les inondations 4. La submersion 5. Les tempêtes 6. Les sécheresses 7. Le retrait-gonflement des argiles 8. Les mouvements de terrains 9. Le manque d'eau 10. Les feux de forêts

Une fois les aléas identifiés il est nécessaire de les croiser à l'exposition et à la vulnérabilité afin d'obtenir une analyse de risque complète sur le portefeuille immobilier ou sur le bâtiment.

1.3.2. Les dommages sur les bâtiments

Cette section vise à **lister les principaux types de dommages liés aux aléas climatiques**. Les risques identifiés peuvent causer différents types de **dommages** ou problèmes, sur :

- La santé, la sécurité ou le confort des personnes ;
- L'intégrité et la durabilité des ouvrages et des infrastructures ;
- La continuité des activités (économiques, services publics, etc.) ;
- L'accès aux ressources abiotiques (eau, minéraux, énergie fossile), soumises à des tensions accrues du fait des dommages sur les cycles naturels, des conflits d'usage, de la dégradation des milieux et de l'augmentation des besoins liés à l'adaptation ou à la réparation ;
- L'accès aux ressources renouvelables, dont la biomasse - végétale, agricole ou forestière - particulièrement affectée par les aléas climatiques, avec des effets en cascade sur la régénération des écosystèmes, les rendements agricoles, la sécurité alimentaire et la capacité de stockage du carbone.

On parle de risques climatiques pour désigner la possibilité que ces dommages se produisent sous l'effet du changement climatique.

Pour aller plus loin sur le risque porté sur l'intégrité et la durabilité des ouvrages, il faudrait en identifier les effets selon la nature des ouvrages ou des équipements concernés et les contextes territoriaux.

Le tableau ci-dessous identifie des exemples d'aléas à partir des facteurs météorologiques dits fondamentaux. Pour chaque aléa, différents types d'impacts sont listés : pour les bâtiments et leurs occupants, pour les réseaux aériens ou souterrains (*les réseaux d'eau, d'énergie*), et pour les espaces extérieurs présents sur une parcelle (*hors espaces verts*). Les phénomènes de dégradation qui entrent en jeu peuvent être de nature mécanique (rupture sous charge), chimique (corrosion), thermique (dilatation), etc.

Facteur météorologique fondamental	Température									Vent	Autres facteurs météorologiques
			Précipitations								
Aléa impactant (combinaison de facteurs fondamentaux)	Vague de froid	Canicule Îlot de chaleur urbain	Pluie Humidité Salinité des ambiances Sécheresse	Neige	Pluie givrante Grêle	Mouvement de terrain	Inondations (crue, côtière, ruissellement urbain, ..)	Pluie battante, cyclone	Vent fort Tempête Tornades	Foudre Rayonnement UV	
Effets sur les usagers et le cadre bâti	Confort intérieur et extérieur Santé des occupants			Sécurité des occupants		Sécurité et santé des occupants					
	Consommations d'énergie (besoin de froid ou de chaud) Contraintes mécaniques (dilatation)		Condensation Infiltrations Corrosion	Charges mécaniques Givrage et blocage de mécanismes Infiltrations		Charges mécaniques (pression du vent, arrachement, etc.) Destruction partielle ou totale (immobilier et mobilier)				Perturbations électromagnétiques Dommages mécaniques, chimiques Incendie	
		Sollicitations mécaniques sur structure (retrait-gonflement des argiles)			Choc, bris				Défauts de ventilation		
		Incendie (foyer externe)									
Effets sur les réseaux aériens (alimentations électriques, téléphone, etc.)	Contraction éléments métalliques	Dilatation câbles, caténaïres	Corrosion	Rupture par surcharge pondérale		Destabilisation des fondations des supports		Endommagement par fatigue/ Destruction partielle ou totale		Perturbations de service	
Effets sur les espaces extérieurs et voiries	Confort extérieur					Déformation chaussée	Coupures de chaussée, voies ferrées	Perturbations de service			
	Fissurations dues au gel	Déformation chaussée	Perturbation de service (chaussée glissante, congères)								
Effets sur les réseaux souterrains (aduction et assainissement, réseaux électrique, gaz, autres)	Rupture		Rupture par déformation du sol			Rupture par déformation du sol	Enoyage Rupture par poussée hydrostatique			Perturbations de service	

Nature des impacts sur les ouvrages et leurs occupants provoqués par les différents aléas climatiques.

D'après J.L. Salagnac, CSTB. 2015.

1.4. Adaptation des bâtiments, de quoi parlons-nous ?

Il n'existe pas, à ce jour, de définition pleinement partagée et consensuelle d'un "bâtiment adapté". Cette partie n'a pas pour objectif d'arrêter une telle définition, mais plutôt de proposer des pistes de réflexion et des éléments de cadrage.

Sites ou bâtiments "adaptés"

Un site ou un bâtiment **ne peut pas être considéré comme "adapté" de manière absolue** aux aléas climatiques et aux risques qu'ils engendrent.

Par essence, l'**adaptation est un processus évolutif, contextuel et non binaire**, soumis à des incertitudes climatiques, à des dynamiques territoriales et à l'évolution des usages.

Selon la norme ISO 14090:2019 relative à l'adaptation au changement climatique, **les efforts d'adaptation doivent être conçus comme des stratégies graduelles visant à réduire les vulnérabilités et à renforcer la résilience des systèmes exposés.**

Sites ou bâtiments "mieux adaptés"

Ainsi, à la suite de la mise en œuvre de mesures d'adaptation, un site ou un bâtiment ne peut être que :

- ◆ Doté d'une **capacité accrue à résister, absorber et atténuer les impacts** de perturbations climatiques. On parlera alors de "bâtiment résilient", c'est-à-dire un bâtiment capable d'anticiper, de s'adapter, de réagir, de se rétablir rapidement et, le cas échéant, de se transformer.
- ◆ En capacité de **mieux satisfaire des critères d'acceptabilité du risque**, en maintenant dans la durée, y compris en situation de crise, des seuils de performance et de fonctionnement compatibles avec les enjeux d'usage. Ces enjeux et ces seuils doivent être clairement définis, mesurables et adaptés au contexte local.

Les critères à étudier pour des bâtiments "mieux" adaptés peuvent être structurés en 3 grands ensembles : critères sociaux et humains, critères économiques et critères environnementaux.

Critères à étudier pour des bâtiments “mieux” adaptés

Critères sociaux et humains	Préserver ou améliorer la sécurité et la santé physique et mentale des usagers (exemple : éviter les pathologies respiratoires).	Garantir un niveau de confort conforme aux normes et réglementations en vigueur (exemple : EN 16798-1 sur le confort thermique intérieur).	Assurer l'accessibilité et la continuité des services essentiels (eau, énergie, logement, soins, éducation).
	Maintenir l'intégrité du cadre bâti et pour continuer à assurer sécurité, santé et confort.	Conserver les caractéristiques techniques et fonctionnelles essentielles du bâtiment et limiter les sinistres et pathologies du bâti.	Préserver le patrimoine naturel et culturel, y compris les paysages et le bâti à haute valeur historique.
Critères économiques	Maintenir la valeur immobilière (résidentielle, tertiaire, patrimoniale) directe et la propension des actifs immobiliers à rester assurable.	Préserver la valeur d'usage et des capacités fonctionnelles (exemple : maintien de la chaîne du froid, ventilation naturelle, etc.).	Limiter les coûts des dommages comme les coûts de réparation ou d'interruption d'activité.
Critères environnementaux	Conservation des écosystèmes et de la biodiversité fonctionnelle (exemple : continuité écologique, trames vertes et bleues, espèces endémiques).		Réduction des impacts négatifs sur les cycles écologiques (eau, sol, carbone).

2. Mettre en place une stratégie d'adaptation à l'échelle d'un parc de bâtiments

Face à la nécessité d'intégrer le changement climatique comme une composante de la gestion d'un parc, les gestionnaires de patrimoines bâtis (bailleurs, collectivités, etc.) sont confrontés à la nécessité d'anticiper et de structurer des réponses adaptées aux risques climatiques et à leur contexte économique, social et territorial. L'adaptation ne peut se penser bâtiment par bâtiment, mais doit s'inscrire dans une logique de parc, intégrant la diversité des usages, des typologies constructives, des contextes territoriaux et des temporalités d'intervention. Ce chapitre propose une démarche structurée pour élaborer une stratégie d'adaptation à l'échelle d'un parc de bâtiments, en s'appuyant sur une analyse des expositions climatiques, des vulnérabilités et des enjeux d'usages.

2.1. Objectifs et cadrage d'une stratégie d'adaptation

La mise en place d'une stratégie d'adaptation au changement climatique est une démarche qui vise à assurer la résilience, la pérennité et la performance globale de son parc bâti dans un contexte d'évolution du climat. Il s'agit de structurer une stratégie de réduction des vulnérabilités de l'ensemble d'un parc de bâtiments, de renforcer sa capacité à absorber les chocs climatiques, et d'améliorer les conditions d'usage et d'exploitation.

Une stratégie d'adaptation doit ainsi permettre de :

- **Construire une connaissance des risques climatiques actuels et futurs** pesant sur le parc de bâtiments étudié ;
- Proposer un plan visant à réduire sa vulnérabilité;
- **Prioriser les investissements et planifier les actions à moyen et long terme.**

Avant d'engager une stratégie d'adaptation à l'échelle d'un parc, il est nécessaire de définir un cadrage clair, reposant sur quelques points structurants :

Gouvernance et intégration des parties prenantes

Gouvernance : Une gouvernance solide et un portage à haut-niveau garantit l'efficacité de la démarche, sa légitimité et sa capacité à être déployée dans la durée :

- **Identifier les pilotes** : rôles et responsabilités, coordination, processus de décision et validation ;
- **Identifier les parties prenantes et définir leur niveau d'implication** ;
- **Définir le niveau de collaboration avec ces mêmes parties prenantes dans leurs propres démarches** pour assurer une cohérence territoriale.

Appropriation et méthode de déploiement de l'acculturation : La réussite de la stratégie repose sur une acculturation progressive des acteurs internes et des usagers des bâtiments ou espaces extérieurs. Il convient de définir une méthode de sensibilisation et de formation adaptée, intégrant des ateliers de prospective, des outils pédagogiques, des retours d'expérience, et une montée en compétence progressive.

Objectifs et ambition

Les objectifs stratégiques puis opérationnels de la démarche doivent être :

- **Spécifiés** : Réduire les risques, améliorer le confort ou la santé, se mettre en conformité réglementaire, maintenir des activités, maîtriser des coûts futurs etc ;
- **Explicités, chiffrés et datés**. Idéalement objectivés par des indicateurs chiffrés et des seuils critiques identifiés (ex. *nombre de sites soumis à des actions d'adaptation, baisse de la sinistralité attendue, DH maximal pour une typologie d'ouvrage, ...*) et mises en perspective avec les bénéfices attendus ;
- **Associés à des moyens et à des livrables clairs** (*cartographies de risques, plans d'adaptation, guides techniques,...*).

Périmètre

Le périmètre doit être précisé dès le départ : géographique, temporel, aléas et typologies étudiées (*bâtiments récents ou anciens; logements, bureau ou autres types de bâtiments*), la nature de l'occupation (*publics sensibles, vulnérables*), équipements, infrastructures mais aussi financier (*budget dédié*) et organisationnel (*services concernés, niveaux de responsabilités*).

Méthodes

Méthode d'identification et d'évaluation des risques : La méthode retenue doit permettre une analyse rigoureuse des risques climatiques à l'échelle du parc : aléas retenus pour l'étude, scénario d'évolution climatique à considérer, horizon temporel, etc.

Méthode de hiérarchisation et de priorisation des risques : Les priorités d'enjeux internes, d'image de la structure, ou d'occupants prioritaires sont à identifier dès la phase de cadrage. Ces éléments seront traduits en critères et poids affectés à ces critères. Les exigences quant

aux méthodes d'agrégation et de hiérarchisation doivent être abordées de manière spécifique pour pouvoir faire des choix de méthode d'analyse multicritère (somme pondérée, surclassement, etc.)

Méthode de collecte des données du patrimoine : La nature des données à intégrer dans l'analyse, les sources disponibles, les méthodes choisies pour collecter les données doivent être spécifiées. Les critères de qualité des données récoltées et les moyens alloués pour la collecte de ces données sont autant de facteurs déterminants pour garantir la fiabilité du diagnostic de vulnérabilité climatique et la pertinence des actions d'adaptation qui en découleront.

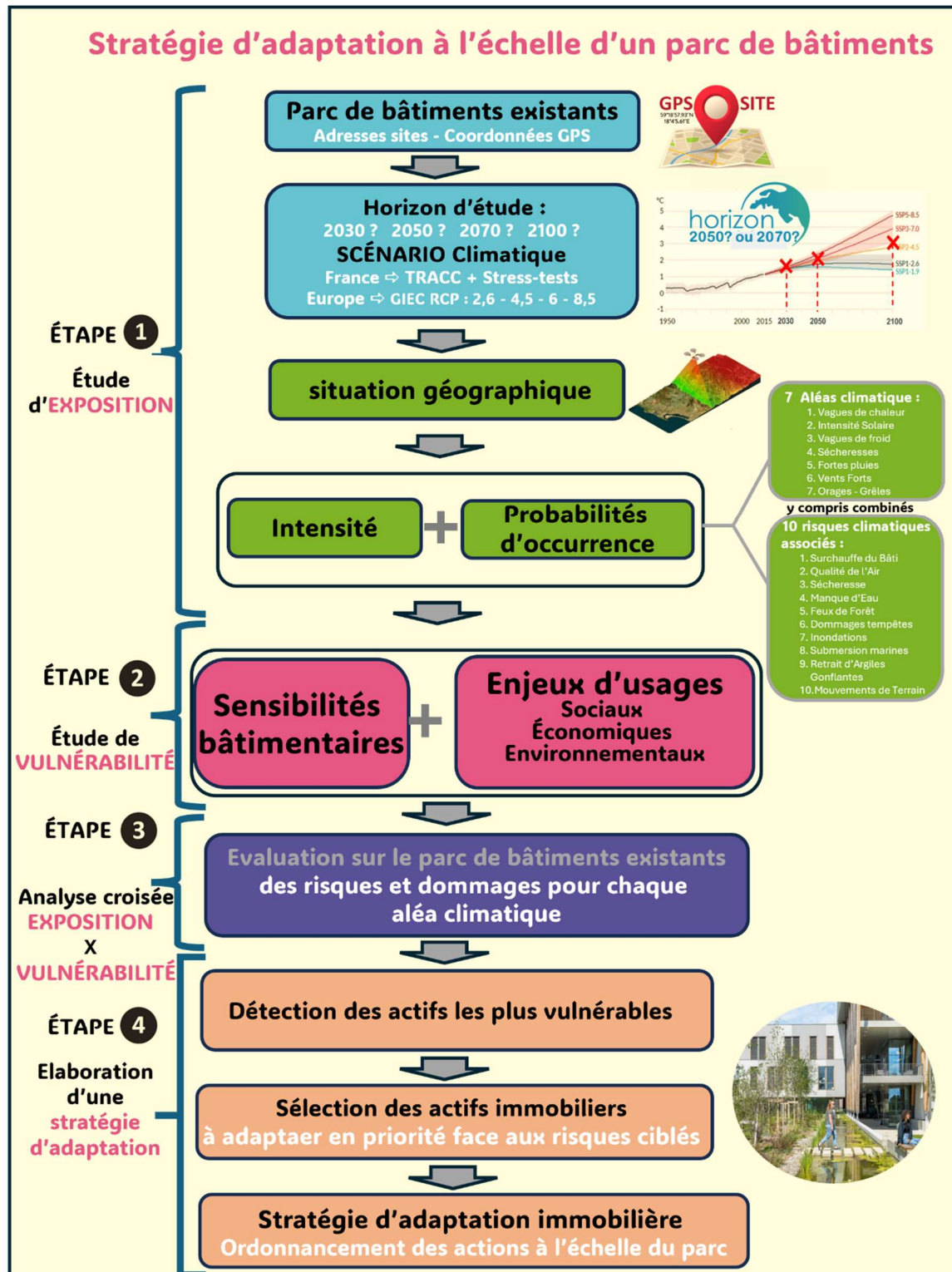
Niveau de finesse de la stratégie d'adaptation : La démarche doit aboutir à la production d'une stratégie structurée pour l'adaptation du patrimoine, définissant les modalités de pilotage, de planification et de suivi des actions à engager. Le cadrage doit préciser le niveau de granularité attendu (*par site, par typologie, par région, ...*), la forme du livrable, les modalités de validation, et les usages visés (*pilotage stratégique, gestion technique, planification budgétaire*).

Suivi de la démarche

Fréquence de revue de la stratégie d'adaptation : La stratégie doit être conçue comme un document évolutif, intégrant une fréquence de révision explicite, par exemple tous les 3 à 5 ans, et/ou déclenchée en cas d'événements significatifs (*évolution réglementaire, sinistre majeur, mise à disposition de nouvelles données climatiques ou patrimoniales*). Le cadrage doit préciser qui est responsable de cette revue, selon quelles modalités de gouvernance (*comité technique, direction stratégique, ...*), et avec quels outils de suivi. Il est également utile de prévoir un processus de retour d'expérience pour intégrer les enseignements issus des premières actions d'adaptation, ajuster les priorités ou les méthodes, et améliorer la robustesse du dispositif dans le temps.

Définition des indicateurs de suivi de la stratégie d'adaptation : La stratégie doit s'accompagner d'un dispositif de suivi-évaluation fondé sur des indicateurs clairs et quantifiables : évolution des niveaux de risque, pourcentage de patrimoine traité, gains obtenus sur le confort thermique, réduction des coûts de réparation, etc. Ces indicateurs servent à mesurer l'efficacité du plan, à justifier les choix et à rendre compte aux parties prenantes internes et externes.

2.2. Schéma méthodologique



2.3. Étude d'exposition

L'étude d'exposition constitue la première étape de l'élaboration d'un diagnostic des risques climatiques. Cette approche vise à identifier les aléas auxquels les bâtiments sont exposés du fait de leur implantation géographique.

L'étude d'exposition consiste à analyser les données climatiques locales, les scénarios prospectifs et les aléas potentiels. Cette étude permet de cartographier les zones à risque et d'identifier les bâtiments ou zones les plus exposées.

Pour cela, plusieurs outils d'analyse spatiale et climatique peuvent être mobilisés, comme :

- Des SIG (*Systèmes d'Information Géographique*) ;
- Des plateformes de données climatiques (Le portail *DRIAS "les futurs du climat"* édité par Météo France; *Copernicus, le programme Européen d'observatoire de la Terre*; les différents services Météo-France) ;
- Des bases institutionnelles (*Les bases de données éditées par l'IGN: la BD TOPO la BD ALTI, qui représentent le territoire en 2 ou 3D, Corine Land Cover qui donne un inventaire biophysique de l'occupation des sols, etc.*) ;
- Des bases orientées risques (Géorisques) et les Plans de Prévention de Risques majeurs prévisibles (PPR) du territoire ;
- Ou encore des outils de diagnostic intégrés, qui peuvent être proposés par des structures associatives, des organismes publics ou des entreprises telles que des bureaux de conseil.

[Cf. Annexe 2. Outils d'analyse spatiale et climatique mobilisables pour l'analyse d'exposition]

Pour les organismes ou bureaux d'études intégrant des compétences en climatologie, ceux-ci pourront utiliser des :

- Approche **multi-modèles** : approche réduisant les biais et incertitudes liés à chaque modèle climatique global et permettant de fournir une enveloppe de projections autour d'une valeur moyenne.
- Méthodes de **descente à l'échelle** : permet de préserver les tendances et les distributions tout en disposant d'une résolution fine pour les données de températures, vent, pression, humidité et précipitations.

L'utilisation conjointe de ces bases de données et outils permet de croiser des couches de données diverses (occupation du sol, zones inondables, évolution des températures...) et de bâtir une lecture intégrée de l'exposition.

Le croisement des données spatiales et des données de terrain permet de mieux appréhender les différents aléas climatiques, en termes :

- D'intensité (importance, niveau) ;
- D'occurrence (probabilité de survenance dans le temps).

Si l'analyse d'exposition constitue bien la première étape, connaître son ou ses bâtiments permet de constituer un cadre d'analyse plus opérationnel, en particulier pour :

- Choisir les **données à collecter**, en définissant leur qualité attendue, leur niveau de granularité spatiale et temporelle (*parc complet, bâtiments types, données locales ou globales, historiques ou projetées*), ainsi que leurs sources (*outils, ressources, expertises internes ou externes mobilisables*).
- Définir les **indicateurs spécifiques** qui devront être recueillis, et de leurs seuils, en vue de l'analyse de vulnérabilité ultérieure (ex. nombre de jours de chaleur > 35°C, occurrence décennale d'inondation, profondeur de nappe, etc.) en fonction des éléments constitutifs du système.

Lors d'une analyse d'exposition d'un parc, il faudra tenir compte :

- D'une part, d'**indicateurs non prospectifs**, qui remettent en contexte l'implantation des bâtiments dans le territoire auquel ils appartiennent ;
- D'autre part, d'**indicateurs prospectifs**, c'est-à-dire qui tiennent compte et modélisent les évolutions du climat.

2.3.1. Les indicateurs non-prospectifs ou l'état actuel de l'exposition du territoire

Les **indicateurs non-prospectifs** fournissent **une image de l'exposition actuelle** d'un territoire face aux aléas climatiques, tout en offrant une base d'analyse lorsque les données prospectives sont absentes, inaccessibles ou trop incertaines à l'échelle locale. Ils offrent également un premier filtre permettant d'écarter certains aléas peu pertinents dans un contexte donné, ou au contraire de prioriser des analyses approfondies sur des risques jugés probables, par exemple :

Contexte géographique ou socio-économique identifié par des indicateurs non-prospectifs	Risque(s) à considérer ou à prioriser
Proximité du littoral	Submersion marine
Présence d'îlots de chaleur urbains, de pollution atmosphérique ou sonore	Surchauffe du bâti Dégradation de la qualité de l'air (extérieure et intérieure)
Proximité à un cours d'eau ou à une nappe souterraine	Inondation par débordement / par remontée de nappe
Présence de zones imperméabilisées	Inondation par ruissellement
Proximité d'une forêt	Feux de forêts

Zone montagneuse ou de relief	Mouvement de terrain et/ou combiné avec un risque d'inondation
Zone argileuse	Retrait-gonflement des argiles

< !> **Attention**, il faut néanmoins veiller à ne pas exclure trop tôt certains aléas même si certains d'entre eux paraissent a priori moins pertinents pour certains sites. Certains aléas peuvent être sous-estimés car moins fréquents, mal documentés ou émergents. Une analyse superficielle mais systématique de l'ensemble des aléas permet de repérer des vulnérabilités inattendues et d'éviter les angles morts.

Des **indicateurs institutionnels**, comme les Plans de Prévention des Risques (PPR), les arrêtés de catastrophe naturelle (CatNat), les données contenues dans les diagnostics d'État des Risques et Pollutions (ERP) ou parmi les données disponibles sur la plateforme Géorisques, permettent de contribuer à cette analyse en apportant un éclairage fondé sur la sinistralité passée et les réglementations en vigueur.

2.3.2. Les indicateurs prospectifs prenant en compte l'évolution du climat

Les **indicateurs prospectifs** permettent d'**anticiper les impacts futurs du changement climatique**, à partir de projections sur cinq grandes variables : température, précipitations, humidité, vent et niveau de la mer. Ces variables peuvent ensuite être combinées pour aboutir à des indicateurs permettant d'analyser des aléas spécifiques. Par exemple, l'Indice Feu Météo (IFM) résulte de la combinaison de quatre variables : température, humidité, précipitation et vent.

♦ **Choix des indicateurs prospectifs**

Les sources d'indicateurs prospectifs sont nombreuses. Des outils comme **Copernicus, DRIAS Climat, DRIAS Eau, EURO-CorDeX et l'Atlas interactif du GIEC** sont des exemples de ressources fiables. Accessibles directement en ligne au travers de portails dédiés, elles permettent de mettre à disposition de nombreux indicateurs utiles pour conduire une analyse d'exposition.

À titre d'exemple, 15 indicateurs sont disponibles sur le portail DRIAS pour la TRACC :

- Température moyenne annuelle
- Température moyenne en été (juin- juillet-août)
- Température moyenne en hiver (décembre-janvier-février)
- Température maximale en été (juin- juillet-août)
- Nombre de jours avec température maximale $\geq 30^{\circ}\text{C}$
- Nombre de jours avec température maximale $\geq 35^{\circ}\text{C}$
- Nombre de nuits tropicales (température minimale $> 20^{\circ}\text{C}$)
- Cumul de précipitations annuelles
- Cumul de précipitations Hiver (décembre-janvier-février)
- Cumul de précipitations Été (juin-juillet-août)
- Cumul de précipitations quotidiennes remarquables (percentile 99 du cumul quotidien)
- Intensité des précipitations extrêmes (max annuel des précipitations totales)
- Fréquence des précipitations quotidienne remarquables
- Un indicateur de risque de feux de forêt (nombre de jours avec un IFM >40)
- Un indicateur de sécheresse du sol (nombre de jours avec un SWI <0.4)

Ils sont mis à disposition à une maille de 8 km de résolution couvrant la France métropolitaine pour un climat historique (période 1971-2005) et prospectif jusqu'en 2100.

Remarque : chaque aléa repose sur des paramètres climatiques et territoriaux spécifiques.

Il est important d'adapter les méthodes d'analyse aux caractéristiques de chaque risque (*durée d'exposition, saisonnalité, typologie des événements extrêmes, effets cumulatifs...*). Le choix des indicateurs à suivre doit être fait en cohérence avec les impacts attendus sur les ouvrages (structurels, fonctionnels, sanitaires...).

Une fois les indicateurs sélectionnés, il est nécessaire de choisir le scénario climatique de référence et l'horizon temporel considéré. [Cf. annexe 3. Différence entre scénarios climatiques, modèles climatiques et projections climatiques]

♦ **Choix du scénario climatique de référence**

Il doit être cohérent avec la localisation géographique du parc, les objectifs de l'étude, et l'horizon temporel de projection retenu.

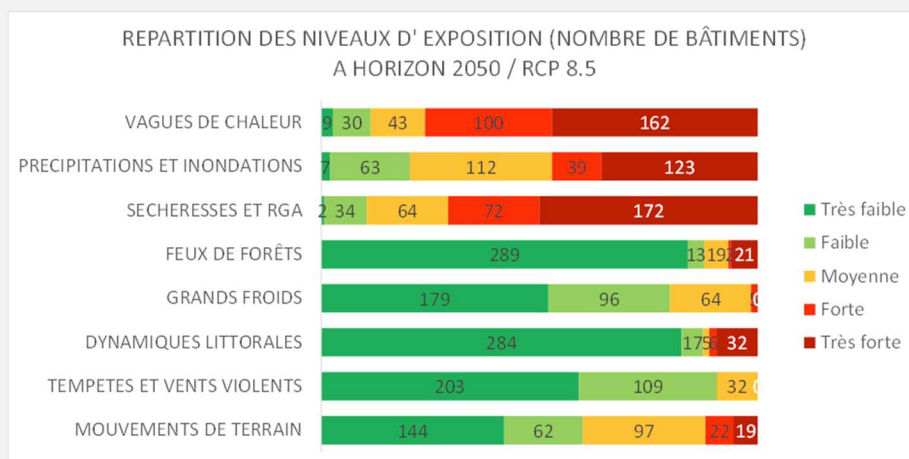
- Pour un parc situé en France hexagonale, la Trajectoire de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique (TRACC) s'impose comme la référence à considérer.
- Pour un parc situé à l'étranger, le scénario RCP 8.5 du GIEC reste la référence pour tester la robustesse des projets face à des hypothèses de réchauffement élevé. A noter que le cadre de la taxinomie exige de travailler sur au moins 2 scénarios.

♦ Choix de l'horizon temporel

L'horizon temporel des indicateurs retenus doit être choisi en fonction du bâtiment, de son usage mais aussi de la stratégie d'adaptation envisagée. Par exemple, pour un projet de rénovation, un horizon de 30 ans peut être adapté pour conduire des premières analyses, tandis que pour de nouvelles constructions, un horizon de 50 ans est un minimum. Pour une stratégie d'adaptation visant à mettre en œuvre les travaux les plus urgents, une analyse à 5 ans permet d'objectiver les enjeux les plus immédiatement à risque.

Exemple - Illustration des résultats d'une étude d'exposition :

- A l'échelle d'un parc de bâtiments
- Selon 8 catégories d'aléas
- A horizon 2050
- En tenant compte du scénario climatique RCP 8.5



2.4. Étude de vulnérabilité

La vulnérabilité dépend de l'état physique (*vétusté, mode constructif originel, etc.*), des usages, des fonctions critiques du parc de bâtiments, et de leur capacité à encaisser ou éviter les dommages. Une étude de vulnérabilité consiste notamment à croiser :

1. Les **sensibilités bâtementaires**, c'est-à-dire les caractéristiques propres à la conception et aux modes constructifs ainsi qu'à la réalisation : sa structure, ses fondations, ses matériaux, ses équipements techniques et leur localisation, les malfaçons éventuelles ainsi qu'à leur état de vétusté ou de performance.
2. Les **enjeux d'usages** renvoient aux fonctions abritées par les bâtiments, aux activités qui s'y déroulent et aux personnes qui l'occupent, en prenant en compte les besoins actuels et futurs des usagers, les modes d'occupation des espaces, les contraintes d'exploitation, de continuité de service, ainsi que les exigences en matière de confort, d'accessibilité ou encore de sécurité.

< !> Point de vigilance : L'étude de vulnérabilité conduite à l'échelle d'un parc de bâtiments est moins approfondie qu'à l'échelle d'un bâtiment unique, en particulier en ce qui concerne la complétude et la précision des données collectées. En effet, il peut être plus complexe, à l'échelle d'un parc, de collecter un large panel de données couvrant l'ensemble des dimensions techniques, sociales ou environnementales du bâtiment. Les ressources disponibles, les délais ou encore l'accessibilité à certaines informations peuvent limiter la portée de l'analyse. Il est cependant important de considérer que l'objectif de l'étude de vulnérabilité à l'échelle d'un parc de bâtiments est principalement de prioriser les bâtiments **les uns par rapport aux autres, via une évaluation macro des risques auxquels ils sont soumis** et non pas intrinsèquement, comme lors d'un audit d'adaptation.

À l'échelle d'un parc de bâtiments, la collecte des données relatives aux sensibilités bâtementaires et aux enjeux d'usages peut s'appuyer sur plusieurs types d'approches, qu'il peut convenir de combiner selon les objectifs de l'étude et les ressources disponibles.

- Exploitation des **bases de données patrimoniales existantes : génériques, publiques ou particulières**. Ces sources permettent parfois de disposer d'informations structurées sur l'état général du bâti, la nature des matériaux, des systèmes énergétiques ou encore la typologie des usages ;
- Exploitation **de bases de caractéristiques techniques des bâtiments**, comme la BDNB (Base de Données Nationale des Bâtiments) portée par le CSTB et le CEREMA, l'ONB (Observatoire National des Bâtiments) porté par URBS ;
- **Questionnaires à destination des gestionnaires, des gardiens, des usagers** ou de leurs services techniques afin de disposer de données qualitatives sur les conditions d'occupation, les usages spécifiques, les dysfonctionnements récurrents (*remontées de plaintes*) ou les besoins ;
- **Approche par typologie d'usages** permettant d'identifier des enjeux d'usage prioritaires au sein d'un parc, prenant en compte la vulnérabilité des publics (ex. bâtiments de santé contre bâtiments administratifs) ;
- **Approche par typologie bâtementaire** pour des patrimoines présentant des bâtiments similaires dans leur mode de construction ;
- **Approche par la sinistralité** en identifiant les bâtiments faisant d'ores et déjà l'objet de sinistres pouvant être imputés à des aléas climatiques ;
- **La réalisation de visites de terrain ciblées**, notamment sur les bâtiments jugés critiques ou représentatifs, afin d'observer directement les éléments de sensibilité.

La combinaison de ces approches permet de construire une étude de vulnérabilité simplifiée tout en optimisant l'effort de collecte.

2.4.1. Analyse de sensibilité bâtementaire

Cette étape repose avant tout sur la qualité et la pertinence des données disponibles, et implique de distinguer clairement les informations environnementales et énergétiques - *souvent bien renseignées dans les bases patrimoniales* - de celles, plus spécifiques, qui renseignent la capacité d'un bâtiment à faire face à un aléa climatique. Ces dernières, essentielles pour une approche par l'adaptation, sont encore rarement caractérisées, structurées ou standardisées.

Les données utiles à l'analyse de sensibilité sont présentées dans le chapitre suivant, relatif à la réalisation d'un audit d'adaptation.

Plusieurs approches peuvent être mobilisées - *et souvent combinées* - selon le niveau de finesse attendu, la taille du parc et les ressources disponibles :

- **Modélisation physique** : elle permet une simulation précise de la réponse d'un bâtiment à un aléa donné (ex. confort thermique en période de canicule, réponse d'une structure à l'évolution d'un sol), mais reste coûteuse à grande échelle ;
- **Analyse de la sinistralité passée et du vécu des habitants** : elle offre des retours d'expérience concrets sur des dommages ou désagréments déjà subis, souvent utiles pour repérer des configurations vulnérables ;
- **Analyse des données de mesure** : la réalisation de campagnes de mesure (*ambiances intérieures, etc.*), la présence de capteurs sur le bâtiment, sa parcelle (*humidité, écartement sur fissures*) sont des données précieuses, longues et coûteuses à exploiter.
- **Approches expertes** : des diagnostics par des professionnels (*bureaux d'études, gestionnaires expérimentés, agents de maintenance...*) peuvent combler le manque de données chiffrées en apportant des évaluations qualitatives, mais ces démarches restent coûteuses à grande échelle ;
- **Approches par typologie bâtementaire ou déterminants de la sensibilité** : en regroupant les bâtiments selon leur époque de construction, leur usage ou leur système constructif, on peut rationaliser l'analyse et extrapoler des sensibilités types.

♦ Définition des seuils critiques

La définition de seuils permet d'identifier les bâtiments et l'horizon temporel où une action d'adaptation sera nécessaire. Le seuil est un niveau pivot à partir duquel le bâtiment ne répond plus au niveau d'exigence minimal. Ce peut être un seuil (*ou un ensemble de seuils*) basé sur :

- Une approche économique (*la sinistralité projetée dépasse x% de la valeur du bien*) ;
- Une probabilité de risque physique (*effondrement, désordres structurels, etc.*) ;
- Une approche sanitaire (*la température intérieure nocturne dépasse X °C pendant X nuits d'affilée*) ;
- etc.

2.4.2. Objectivation des enjeux d'usages

L'**objectivation des enjeux d'usages** a pour objectif de comparer les niveaux de criticité des usages entre les différents bâtiments d'un parc. Il s'agit d'attribuer des niveaux d'enjeu (faible, moyen, élevé par exemple) selon une grille de critères définie en amont, adaptée au contexte de gestion patrimoniale et aux priorités de l'acteur.

Plusieurs dimensions peuvent être prises en compte dans cette grille d'analyse :

- **La nature de l'usage** (logement, santé, enseignement, activité administrative ou industrielle, etc.), en considérant notamment les publics accueillis (enfants, personnes âgées, personnes à mobilité réduite, etc.) ;
- **La continuité de service requise**, en lien avec des fonctions critiques ou stratégiques qui ne peuvent pas être interrompues en cas de crise (ex. centres de secours, hôpitaux, data centers) ;
- **La densité et l'intensité d'usage** du bâtiment (occupation continue ou partielle, fréquentation élevée ou faible, présence nocturne ou non) ;
- **Les exigences particulières** en matière de confort thermique, de qualité de l'air, d'accessibilité ou de sécurité ;
- **Les enjeux économiques associés**, notamment les coûts liés à une interruption d'usage ou à une dégradation du bâtiment ;
- **Les enjeux sociaux**, pour intégrer la notion de justice climatique au regard du public usager de certains espaces et bâtiments.
- **Les enjeux de notoriété** pour intégrer l'importance du symbolique dans la prise en compte de l'évolution du climat dans les activités d'une organisation.

Cette objectivation peut être conduite à partir d'une pondération multicritère, d'ateliers avec les parties prenantes, ou à travers l'analyse de données existantes, selon le degré de précision attendu et les ressources disponibles.

2.5. Analyse croisée - Hiérarchisation, priorisation et agrégation des bâtiments et des risques

Une fois les analyses d'exposition et de vulnérabilité réalisées, un diagnostic de risque doit être déduit pour chaque risque et pour chaque bâtiment, avec une hiérarchisation et priorisation des bâtiments, et potentiellement une agrégation des risques en vue de la constitution de la stratégie d'adaptation du parc immobilier.

♦ Hiérarchisation et priorisation des bâtiments

L'analyse consiste à **croiser et confronter les résultats obtenus** dans les analyses précédentes — exposition, vulnérabilité (sensibilité, enjeux, capacité d'adaptation) — pour aboutir à une **hiérarchisation des bâtiments, aléa par aléa** en fonction de niveaux de risque. Cette hiérarchisation permet de situer les niveaux de risque relatifs entre bâtiments au sein du parc. En s'appuyant sur l'ensemble des composantes évaluées pour chaque type d'aléa (canicule, inondation, sécheresse, etc.), elle permettra de cibler les interventions en fonction des enjeux les plus critiques, dans une logique d'adaptation progressive et stratégique.

Pour le croisement entre exposition et vulnérabilité, on peut par exemple s'appuyer sur des matrices de ce type :

		Exposition				
		0 - 20 %	20 - 40 %	40 - 60 %	60 - 80 %	80 - 100 %
Vulnérabilité	0 - 20 %	Très faible	Très faible	Faible	Faible	Moyen
	20 - 40 %	Très faible	Faible	Faible	Moyen	Important
	40 - 60 %	Faible	Faible	Moyen	Important	Important
	60 - 80 %	Faible	Moyen	Important	Important	Très important
	80 - 100 %	Moyen	Important	Important	Très important	Très important

© OID

Selon la taille du parc étudié, cette hiérarchisation des risques s'appuie sur des scores croisés qui permettent d'établir des **listes hiérarchisées de bâtiments** ou sur des **classifications par groupes de bâtiments** pour lesquels des stratégies similaires pourront être proposées.

♦ Priorisation et agrégation des risques

L'effet cumulatif des aléas climatiques n'est pas linéaire : les impacts liés au changement climatique ne s'additionnent pas simplement les uns aux autres — ils peuvent se renforcer mutuellement ou produire des effets multiplicateurs, souvent difficiles à anticiper. Par exemple, une période de sécheresse suivie d'un épisode de fortes pluies peut aggraver le phénomène de ruissellement et donc le risque qui pèse sur les bâtiments de la zone. Ces interactions entre aléas (pluie, chaleur, vent, sécheresse, etc.) peuvent produire des dommages disproportionnés par rapport à chaque aléa pris isolément. En pratique, il est complexe de hiérarchiser des actifs immobiliers au regard de ces effets cumulatifs.

Cependant, dans le cadre d'une évaluation des risques climatiques, il est parfois nécessaire de **hiérarchiser et prioriser les risques les uns par rapport aux autres**. Tous les aléas climatiques n'ont en effet ni la même probabilité d'occurrence, ni le même impact potentiel sur un bâtiment ou un usage donné. Pour cela, on peut recourir à un système de pondération, permettant d'attribuer à chaque risque un niveau d'importance relatif en fonction de critères prédéfinis.

Afin d'évaluer le niveau de risque physique des bâtiments les uns par rapport aux autres, il peut s'avérer pertinent de procéder à cette **agrégation des risques**, qui consiste à combiner plusieurs types de risques climatiques (canicule, inondation, sécheresse, submersion, etc.) en un indicateur unique ou composite, facilitant ainsi la prise de décision. Elle permet de dépasser une lecture aléa par aléa, souvent difficile à exploiter, en offrant une vue d'ensemble sur le risque global d'un actif face aux évolutions climatiques. Cette démarche implique toutefois de définir des critères communs d'évaluation (échelles de gravité, probabilités d'occurrence, seuils critiques) et de recourir à des pondérations adaptées, en fonction de la sensibilité spécifique du bâtiment, de son usage, et du contexte local. Bien que cette agrégation comporte une part de simplification, cette démarche est notamment utile dans un pilotage financier à grande échelle et elle constitue un outil d'aide à la décision précieux pour orienter les investissements.

De façon générale et conformément à l'ISO 14091 - Adaptation au changement climatique – Lignes directrices sur la vulnérabilité, les impacts et l'évaluation des risques (ISO 14091:2021) : *“Il convient que les résultats intermédiaires de l'évaluation soient inclus dans la présentation des résultats finaux de l'évaluation des risques afin d'utiliser au mieux les informations sous-jacentes et d'assurer la transparence de l'évaluation. Présenter les résultats sous la forme d'un diagramme en araignée est une façon de conserver les informations détaillées internes dans le processus d'agrégation d'une évaluation des risques.”*

Dans d'autres cas, et en particulier dans une démarche de construction de stratégies et priorisation des actions d'adaptation, la conservation de hiérarchies aléa par aléa est souvent plus intéressante pour permettre l'identification de réponses multi-aléas.

♦ **Processus participatifs pour la hiérarchisation, priorisation et agrégation**

La norme ISO 14091:2021 - Adaptation au changement climatique – Lignes directrices sur la vulnérabilité, les impacts et l'évaluation des risques souligne que *“Ni les processus participatifs ni les processus statistiques ne fournissent une manière complètement « objective » de définir des pondérations. Par conséquent, il convient de définir les pondérations comme des avis d'experts.”* Il est cependant crucial que la hiérarchisation s'appuie sur une méthode transparente et reproductible, et fasse l'objet d'une validation avec les parties prenantes concernées.

♦ **Fiabilité des constats et robustesse de l'analyse**

La démarche décrite doit être complétée d'une évaluation globale ex-post de la fiabilité des constats établis afin de renforcer la robustesse globale de l'analyse. Cette évaluation permet d'identifier d'éventuelles incohérences, de confirmer les tendances majeures et de produire un socle solide pour orienter les décisions avant le passage à l'action.

En particulier, une étape de ré-interrogation du niveau de confiance à attribuer au diagnostic sortant est incontournable : les incertitudes doivent être décrites et mises en lumière, aussi bien concernant les scénarios climatiques, échelles et mailles des cartographies utilisées et la qualité des données bâtimentaires récoltées.

2.6. Définir la stratégie d'adaptation d'un parc

La stratégie d'adaptation d'un parc constitue la dernière étape de la démarche après les différentes phases d'analyse, d'exposition, de vulnérabilité et croisée. La stratégie est définie pour l'ensemble des bâtiments du parc qui peut être homogène (ex. : logements sociaux d'un même bailleur) ou hétérogène (ex. : bâtiments publics d'une collectivité).

L'objectif de la stratégie d'adaptation est d'**identifier les priorités d'actions**, car tous les bâtiments ne nécessitent pas le même niveau d'intervention, ni au même moment. Les décisions relèvent d'une **planification stratégique** : il faut hiérarchiser les interventions dans le temps, en fonction des budgets, des usages, des risques et de la durée de vie résiduelle des bâtiments.

2.6.1. Identification des priorités

L'élaboration d'une stratégie d'adaptation cohérente avec chaque contexte suppose de se poser au préalable un certain nombre de questions génériques. Par exemple :

- Quelle est la priorité : protéger les occupants, assurer la continuité d'usage des bâtiments, réduire le coût lié à la sinistralité future, maintenir un niveau de confort donné pour les occupants, préserver la valeur du parc immobilier ?
- Quelle typologie traiter en priorité ? (Résidentiel, tertiaire, ERP, etc.)
- Quelles actions sont à mutualiser ?
- Quelles sont les solutions standardisées pour gagner en efficacité ?
- Quelles opérations sont déjà programmées sur le patrimoine, ex. travaux d'entretien, rénovation énergétique (opportunité de coupler) ?
- Quels sont les budgets prévisionnels disponibles à court, moyen et long terme ?
- Quelles actions peuvent générer des cobénéfices immédiats (économies d'énergie, confort, biodiversité) et quels sont les autres enjeux et priorités à coupler pour les bâtiments observés ?
- Y a-t-il des contraintes réglementaires ou patrimoniales limitant les interventions ?

A la différence d'un plan d'adaptation d'un bâtiment seul, ici, pour un patrimoine, on observe le paysage global, on fixe un cap et on déploie les moyens sur plusieurs sites de manière coordonnée.

2.6.2. Élaboration des stratégies d'adaptation

2.6.2.1. Différentes approches pour l'adaptation des bâtiments

Construire une stratégie d'adaptation ne doit pas conduire trop vite à lister, catégoriser et ordonnancer une série de travaux ou de mesures d'adaptation à mettre en œuvre.

En effet, face aux conséquences du changement climatique différentes approches peuvent être mises en œuvre. Par exemple, face aux vagues de chaleur on peut décider de rendre un bâtiment fortement adapté par des travaux importants, ou inversement accepter sa fermeture temporaire. On peut ainsi catégoriser trois approches qui peuvent se combiner :

- **L'approche transformatrice : repenser en profondeur** - Cette approche, systémique, consiste à modifier en profondeur les caractéristiques d'utilisation et/ou les usages d'un bâtiment, voire à le désaffecter ou à relocaliser ses usages si nécessaire. Elle s'envisage sur le long terme, pour les bâtiments très exposés, très vulnérables, ou appelés à évoluer dans leurs fonctions.

Exemples d'actions :

- *Modifier les horaires d'utilisation des locaux, ou reconfigurer les espaces à utiliser,*
- *Reconvertir un bâtiment exposé à la submersion en équipement saisonnier ou non essentiel,*
- *Regrouper plusieurs services dans un bâtiment mieux adapté,*
- *Modifier l'usage d'un site devenu inadapté au fil du temps.*

- **L'approche incrémentale : améliorer l'existant** - Il s'agit d'apporter des améliorations à des bâtiments existants, qui puissent être évolutives. Ces actions sont inscrites dans une trajectoire d'adaptation pour le bâtiment, et pourront être déclenchées selon les niveaux d'impacts du changement climatique. Ce sont les actions à intégrer dans les opérations de maintenance ou de rénovation. C'est la logique majoritaire dans les étapes d'une stratégie d'adaptation : elle prolonge l'usage du bâtiment tout en réduisant sa vulnérabilité.

Exemples d'actions :

- *Installer des protections solaires ou des espaces d'ombrage,*
- *Renforcer la ventilation naturelle,*
- *Installer des brasseurs d'air,*
- *Végétaliser les abords immédiats,*
- *Adapter les capacités d'évacuations pour limiter les infiltrations lors de fortes pluies.*

- **L'approche réactive : prévoir de faire face à l'urgence** - Cette logique peut s'appliquer lorsque l'on sait que les aléas vont provoquer des dommages ou une mise en danger, et ce de manière inéluctable, ou que les mesures d'adaptation sont trop onéreuses ou les incertitudes trop grandes. Il est alors impératif de prévoir la réaction rapide qui s'impose pour

assurer les continuités de services, sécuriser les bâtiments pour protéger les occupants, puis restaurer le bâtiment.

Exemples d'actions :

- *Prévoir une fermeture temporaire pour cause de surchauffe ou d'inondation et une zone de repli, ou zone refuge, qui soit adaptée,*
- *Prévoir une mise en sécurité après un épisode de tempête et des méthodes de communication pour alerter les usagers et leur donner les consignes de sécurité,*
- *Prévoir les méthodes de remédiation d'urgence sur des éléments structurels fissurés du fait des sécheresses et RGA,*
- *Se donner les moyens de mieux reconstruire (logique "Build Back Better") une fois les dommages survenus.*

2.6.2.2. Les mesures et actions d'adaptation

La stratégie d'adaptation, combine ainsi les différentes approches présentées ci-dessus pour élaborer et combiner des mesures et actions d'adaptation qui peuvent être de différentes natures :

- **Des mesures architecturales, paysagères et techniques** : rénovation énergétique, confortement structurel, gestion des eaux pluviales, désimperméabilisation, végétalisation (famille de solutions fondées sur la nature), etc. Ces mesures peuvent être préventives ou correctives.
- **Des mesures organisationnelles** : sensibilisation des occupants, modification des conditions d'usage d'un bâtiment (périodes de présence), des conditions d'exploitation (gestion des ouvrants), protocoles d'urgence en cas de canicule ou d'inondation, etc.

La priorisation des mesures et actions d'adaptation se fait selon plusieurs critères :

- Urgence et criticité du risque (résultante de l'étude de sensibilité bâtiminaire)
- Coût de l'inaction (pertes évitées)
- Coût et faisabilité des solutions (technique, réglementaire, financière)
- Gain ou efficacité attendue des solutions et mesures préconisées (mesure sans regret, incertitude en fonction de la solution et du risque)
- Opportunité d'intégration dans les projets (travaux déjà prévus, etc.)

2.6.2.3. La planification temporelle

En ce qui concerne l'**échelonnage temporel**, les mesures pourront être planifiées :

- De manière opportuniste : rénovation à l'occasion d'un changement d'usage, de locataire, intégration des considérations d'adaptation lors des choix de nouvelles implantation, investissements, etc.
- De manière structurelle : intégration dans les plans stratégiques patrimoniaux, dans les schémas directeurs immobiliers, dans les critères des commissions travaux, etc.

La planification de la mise en œuvre inclut les étapes suivantes :

- Définition d'un calendrier d'actions (court, moyen, long terme) ;
- Définition des responsabilités de la conduite de ces plans d'action ;
- Estimation des budgets et pistes de financement (aides à la rénovation, fond pour la prévention, etc.) ;
- Identification d'indicateurs et moyens de suivi et d'évaluation ;
- Définition de la gouvernance globale, des temps d'analyse et de révision du plan d'action.

2.6.3. Suivi et évaluation

Pour que la stratégie d'adaptation réponde aux besoins et soit efficace à date et dans le temps, il est impératif d'organiser, dès le stade de l'élaboration de la stratégie d'adaptation :

- Le suivi de la mise en œuvre de la stratégie ;
- La révision continue du plan ;
- L'évaluation des actions engagées ;
- L'organisation de retours d'expérience.

Par ailleurs, il est important de rester à l'écoute des apprentissages des autres acteurs, de l'évolution des connaissances climatiques, de la mise à disposition de nouvelles données qui peuvent affiner ou rediriger les analyses ou encore des innovations. Les processus de suivi-évaluation suivent le cycle suivant :

- **Mise en place d'une gouvernance** claire avec des rôles clarifiés, incluant la désignation d'un pilote et création d'un comité de pilotage ;
- **Définition des indicateurs de suivi**
 - Indicateurs de réalisation ou de moyens (nombre de bâtiments rénovés avec une stratégie d'adaptation, budget affectés) qui mesurent les efforts engagés,
 - Indicateurs de performance (nombre de jours d'inconfort thermique, coût des sinistres...) qui rendent compte de la sensibilité du parc et de sa capacité d'adaptation et
 - Indicateurs d'alerte (seuils climatiques dépassés, sinistres déclarés déclenchant des actions supplémentaires..) qui donnent une vision de l'obsolescence du parc face aux évolutions climatiques ;
- **Prévision d'un reporting régulier** (rapports annuels, tableaux de bords, calendrier de communication interne et externe) ;
- **Révision continue planifiée** (échelon de révision fixés pour l'intégration de nouvelles données climatiques, retours d'expérience terrain, évolution réglementaire et technologique).

2.6.4. Granularité de la stratégie d'adaptation

La stratégie d'adaptation permet d'identifier les bâtiments présentant des niveaux de risques élevés (du fait de leur localisation, de leur typologie, de leurs enjeux, etc.). Sur ces bâtiments jugés comme prioritaires, il sera nécessaire de réaliser des audits d'adaptation sur les bâtiments qui ont été préalablement identifiés comme prioritaires, pour vérifier que les analyses pilotées depuis une observation à distance du parc sont pertinentes

En effet, la qualité des analyses et des plans qui en découlent est liée à celle des connaissances, des données collectées. À l'échelle d'un parc, les informations collectées sont très fréquemment incomplètes et il n'est pas possible de dimensionner correctement des solutions d'adaptation et de réaliser un plan d'adaptation sans se déplacer pour réellement connaître tous les éléments du bâtiment.

Les audits d'adaptation constituent une démarche ciblée, conduite à l'échelle du bâtiment. Ces études techniques détaillées permettent de valider les analyses menées à l'échelle macroscopique et, dans certains cas, d'enrichir les plans d'action élaborés pour l'ensemble du parc.

Pour les commanditaires des études globales, il est essentiel de préciser dès le départ les limites et objectifs associés à chaque niveau d'analyse pour que les attentes soient cohérentes avec le niveau d'étude. Une stratégie d'adaptation traduite en feuille de route à l'échelle d'un parc reste générique : elle fixe des orientations et des priorités, mais ne peut intégrer les spécificités techniques propres à chaque bâtiment.

3. Effectuer un audit d'adaptation à l'échelle d'un bâtiment

L'audit d'adaptation constitue une démarche permettant d'évaluer la vulnérabilité d'un bâtiment spécifique mais aussi sa capacité à s'adapter face à l'évolution du climat. L'étude de vulnérabilité effectuée lors d'un audit d'adaptation d'un bâtiment est **plus approfondie que l'étude de vulnérabilité à l'échelle d'un parc**. En effet, il ne s'agit plus d'une évaluation relative permettant de prioriser les bâtiments les uns par rapport aux autres, mais bien d'une évaluation de la vulnérabilité intrinsèque du bâtiment lui-même, afin d'identifier un maximum de leviers d'action opérationnels pour son adaptation.

Cette section précise les objectifs de l'audit d'adaptation et détaille les différentes étapes de l'analyse : étude d'exposition, évaluation de la vulnérabilité, hiérarchisation des risques, et élaboration d'un plan d'action. L'approche intègre également les dimensions de gouvernance, de pilotage opérationnel, de suivi et d'évaluation continue, indispensables à la mise en œuvre efficace et durable des mesures d'adaptation.

3.1. Objectifs d'un audit d'adaptation

3.1.1. A quels enjeux répond un audit d'adaptation ?

Dans un contexte d'évolution du climat, il est essentiel :

- D'être en capacité **d'évaluer précisément** :
 - Les dangers auxquels peuvent être soumis les occupants du bâtiment et les niveaux de confort nécessaires pour garantir des conditions minimales sans compromettre leur santé ;
 - Les risques physiques auxquels est soumis le bâtiment à l'état actuel et à court/moyen/long terme.
- D'identifier les **solutions d'adaptation spécifiques au bâtiment**, pouvant être mise en œuvre afin de :
 - Préserver l'intégrité physique et la santé globale - physique et psychique - de leurs occupants, avant - pendant et après la crise ;
 - Être en mesure de préserver les fonctions essentielles du bâtiment pendant l'épisode de crise, y compris fonctionnement en mode dégradé ;
 - Permettre à moyen terme un retour en régime établi en minimisant les conséquences et dommages liés à la crise ;
 - Préserver sur le long terme les fonctions principales du bâtiment dans le temps.

Ainsi, en complément d'une stratégie d'adaptation à l'échelle d'un parc de bâtiment, un audit d'adaptation pour un bâtiment permet de :

- Approfondir et préciser l'évaluation des risques physiques auxquels est soumis un bâtiment ;
- Établir un plan d'adaptation spécifique à l'actif.

3.1.2. Quels sont les objectifs d'un audit d'adaptation ?

La réalisation d'un audit d'adaptation d'un bâtiment existant a pour objectif de :

- **Évaluer le niveau de risque** auquel est soumis un bâtiment, pour chaque aléa climatique, à un horizon temporel défini et pour un scénario d'évolution du changement climatique défini ;
- **Hiérarchiser et prioriser les risques ;**
- **Définir la capacité d'adaptation** du bâtiment concerné ;
- **Établir un plan d'adaptation** chiffré, spécifique au bâtiment, permettant de répondre aux principaux risques auxquels l'actif est vulnérable afin de favoriser sa capacité de résilience.

3.1.3. Quand réaliser un audit d'adaptation ?

La réalisation d'un audit d'adaptation peut être déclenchée à différents moments, notamment lorsque l'étude menée à l'échelle du parc immobilier met en évidence certains bâtiments nécessitant une attention particulière. Plusieurs opportunités doivent être considérées :

- **Lorsque le niveau d'adaptation d'un bâtiment est déjà jugé insuffisant** : des températures excessives mesurées, des plaintes récurrentes des occupants, des désordres structurels observés, des pannes répétées d'équipements ou encore des sinistres importants survenus récemment à la suite d'aléas climatiques sont autant d'indicateurs d'alerte. Dans ce cas, le bâtiment est considéré comme inadapté, aujourd'hui ou dans un futur proche ;
- **Lorsqu'un programme de travaux ou une réhabilitation d'ampleur est planifiée** : intégrer un audit d'adaptation en amont permet d'orienter les choix techniques et d'optimiser les investissements.
- **Au moment de l'acquisition d'un bien immobilier** : un audit peut éclairer la décision d'achat en évaluant la résilience du bâtiment face aux enjeux climatiques futurs.

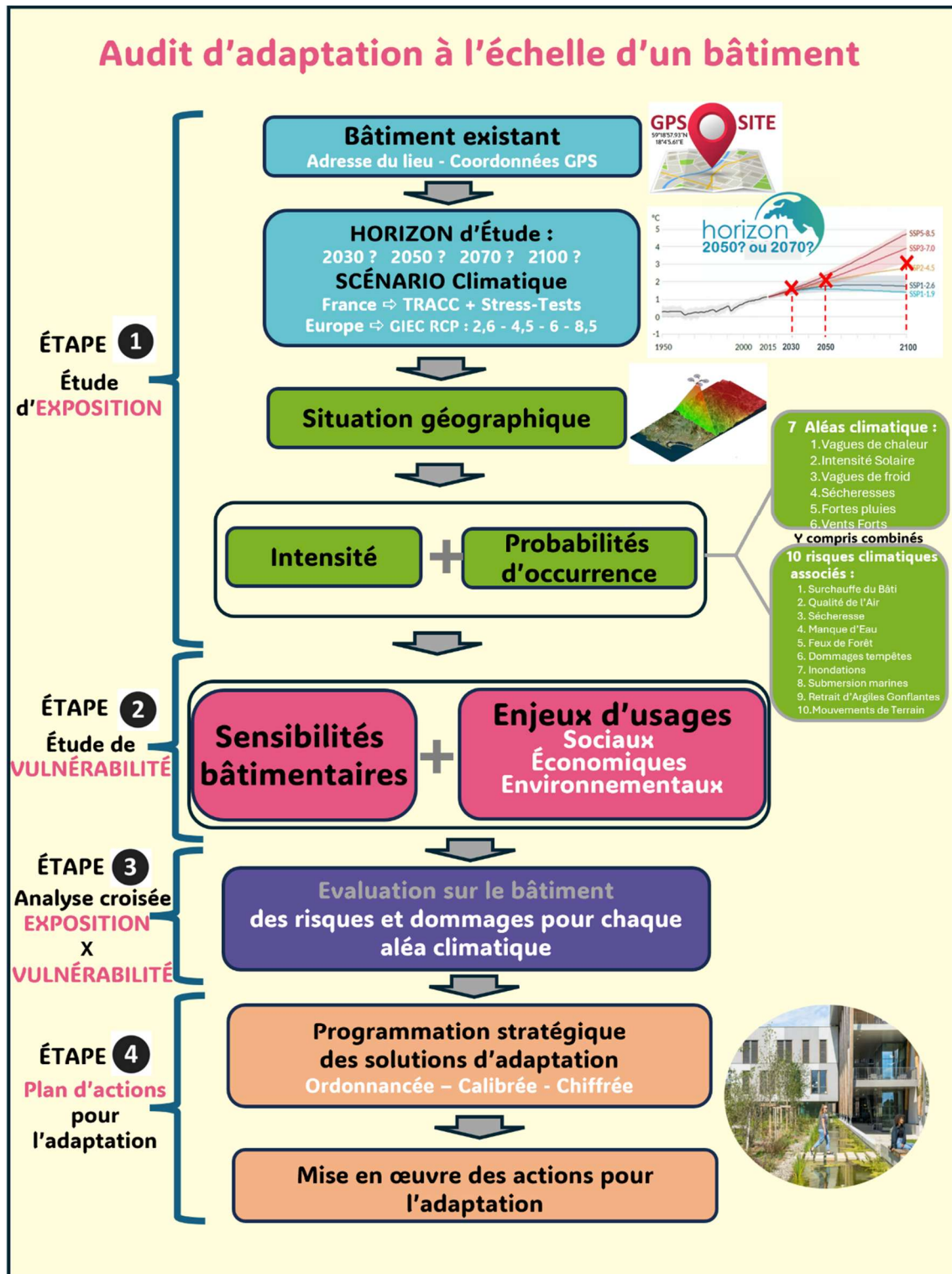
3.1.4. Est-il possible d'agir sans disposer d'un audit d'adaptation ?

La méthode présentée dans ce guide repose principalement sur la planification de l'action à travers une stratégie et des audits d'adaptation. Ces démarches sont essentielles pour garantir la cohérence et l'efficacité des mesures mises en œuvre. Cependant, elles peuvent s'avérer lourdes, longues à engager et parfois disproportionnées au regard de l'urgence ou des moyens disponibles, notamment pour certains acteurs comme les ménages.

Pour ces raisons, il peut être nécessaire ou pertinent d'agir sans — ou avant de disposer — d'un audit ou d'une stratégie formalisée. Dans ce cas, quelques principes simples peuvent guider l'action et limiter les risques d'erreur ou de maladaptation :

- **Intégrer l'évolution du climat dans les projets prévus** : examiner systématiquement les effets possibles du changement climatique dans les opérations de maintenance, de rénovation ou de réhabilitation déjà prévues permet d'éviter que des interventions mal conçues n'aggravent la vulnérabilité du bâtiment, et au contraire, de saisir les occasions pour renforcer sa résilience.
- **Engager des actions sans regret** : dès lors que le changement climatique impacte déjà le bâtiment, agir pour traiter ces points noirs est nécessaire. Ces actions correctrices seront bénéfiques quelle que soit l'évolution future du climat.
- **Privilégier les solutions réversibles, progressives et à faible coût** : par exemple, des mesures organisationnelles peuvent être mises en œuvre rapidement (ajustement des usages, gestion des ouvertures, aménagements temporaires). Il est également possible de prévoir des dispositions techniques anticipées (ex. prévoir les attentes pour l'installation ultérieure de systèmes de rafraîchissement).
- **Conserver des marges de manœuvre** : en cas d'incertitude sur le niveau de vulnérabilité ou la capacité d'adaptation du bâtiment, il est prudent de renforcer les marges de sécurité là où c'est possible — par exemple, sur la résistance structurelle, la tolérance aux fortes chaleurs ou la gestion de niveaux d'eau extrêmes. Cette approche pragmatique permet de maintenir la robustesse du bâtiment face aux incertitudes que l'on n'aura pas pu combler faute d'audit précis.

3.2. Schéma méthodologique



3.3. Étude d'exposition

Les principes fondamentaux d'une étude d'exposition à l'échelle d'un bâtiment sont les mêmes que pour l'étude d'exposition à l'échelle d'un parc de bâtiments (cf.3.3). Il s'agit de définir :

- Les aléas climatiques à considérer ;
- Les indicateurs non-prospectifs à prendre en compte par aléa ;
- Les indicateurs prospectifs à prendre en compte par aléa ;
- Le ou les horizon(s) temporel(s) de l'étude ;
- Le ou les scénario(s) d'évolution de climat.

En revanche, contrairement à une étude d'exposition menée à l'échelle d'un parc de bâtiments, l'étude d'exposition à l'échelle d'un bâtiment unique permet une approche beaucoup plus fine et contextuelle. En effet, cette échelle de travail offre la possibilité d'examiner en détail l'environnement immédiat du bâtiment, en s'appuyant notamment sur les **documents d'urbanisme locaux** (tels que le PLU, les cartes d'aléas, les PPRI, etc.), les données climatiques spécifiques, ainsi que les contraintes réglementaires ou territoriales propres au site. Cette approche ciblée permet de mieux identifier les risques et les opportunités d'adaptation liés à l'exposition du bâtiment, qu'ils soient climatiques ou géographiques.

3.4. Étude de vulnérabilité

De la même manière que pour l'analyse à l'échelle d'un parc, l'étude de vulnérabilité peut être réalisée par le croisement des deux grands paramètres qui la compose :

- Les **sensibilités bâtimementaires**, c'est-à-dire les caractéristiques propres à la conception et aux modes constructifs ainsi qu'à la réalisation : sa structure, ses fondations, ses matériaux, ses équipements techniques, les malfaçons éventuelles ainsi qu'à leur état de vétusté ou de performance ;
- Les **enjeux d'usages** renvoient aux fonctions abritées par les bâtiments, aux activités qui s'y déroulent et aux personnes qui l'occupent, en prenant en compte les besoins actuels et futurs des usagers, les modes d'occupation des espaces, les contraintes d'exploitation, de continuité de service, ainsi que les exigences en matière de confort, d'accessibilité ou encore de sécurité.

3.4.1. Analyse de sensibilité bâtimementaire

Dans le cadre d'un audit d'adaptation à l'échelle d'un bâtiment, le recueil des sensibilités bâtimementaires repose généralement sur **une analyse technique approfondie** visant à identifier les vulnérabilités du bâti face aux aléas climatiques. Cette démarche mobilise plusieurs sources d'information complémentaires :

- **Une analyse documentaire** suite au recueil des informations disponibles auprès du maître d'ouvrage et /ou du gestionnaire de l'établissement : plans, élévations, ensemble

des dossiers des ouvrages exécutés (DOE), dossier du permis de construire, historiques des sinistres et dommages-ouvrages, rapports d'entretien périodique, diagnostics réglementaires, bilan des interventions passés, etc.

- **Une visite sur site**, permettant d'observer directement l'état du bâtiment, les systèmes techniques ainsi que les interfaces avec l'environnement extérieur immédiat. L'objectif de cette visite est à la fois de relever les caractéristiques intrinsèques des composants de l'ouvrage et de son environnement mais aussi d'évaluer le niveau d'entretien/vétusté de ces composants ;
- **Des échanges avec les gestionnaires, les techniciens du site, les occupants** permettent d'enrichir l'analyse avec des éléments d'usage ou d'exploitation qui ne sont pas visibles mais déterminants (pannes récurrentes, zones problématiques, contraintes d'entretien, sinistralité) ;
- **Des diagnostics spécifiques peuvent être nécessaires** pour compléter ces premières analyses : diagnostic structure, analyse des réseaux, etc.

Les données utiles à l'analyse de sensibilité peuvent concerner, entre autres :

- La nature, la performance et l'état de vétusté des **matériaux et systèmes constructifs** : type de fondations, type de structure, inertie et résistance thermique des parois, caractéristiques des revêtements et parements, etc.
- La nature, la performance et l'état de vétusté des **équipements** : type de ventilation, présence de système assurant un rafraîchissement ou un refroidissement, systèmes de contrôle et automatisation, etc.

La configuration architecturale : orientation du bâtiment, compacité, liaisons physiques entre les parties de bâtiment, ventilation naturelle, protections solaires, proportion de surfaces vitrées, etc. ;

Les protections existantes face aux aléas : clapets anti-retour, protections solaires, surélévation, systèmes d'alerte ou d'évacuation, etc.

Les **aménagements extérieurs** : imperméabilisation des surfaces, présence de végétalisation, présence de points d'eau, etc.

Les aménagements intérieurs : positionnement des espaces, existence d'espaces refuges, etc.

Cf. Annexe 4. Exemples de critères de sensibilité bâtementaire.

3.4.2. Objectivation des enjeux d'usages

Cette étape, commune aux stratégies d'adaptation à l'échelle d'un parc ou d'un bâtiment, peut toutefois être menée de manière plus détaillée lorsqu'il s'agit d'un bâtiment unique. Cette analyse renforcée se décline selon trois dimensions :

- **Les enjeux humains**, il s'agit d'évaluer les aspects sécurité, santé, confort en imaginant des seuils d'exploitation spécifiques liés à aux occupants hébergés. Avec des exigences plus ou moins fortes, en respectant au minimum la réglementation mais potentiellement supérieures, en fonction par exemple de l'état de santé des populations occupantes, de la densité des personnes dans le bâtiment, etc.
- **Les enjeux économiques** : cela consiste à évaluer les coûts potentiels liés aux impacts du changement climatique sur le bâtiment, qu'il s'agisse de la présence d'équipements sensibles et onéreux ou d'activités dont l'interruption entraînerait des pertes économiques significatives ;
- **Les enjeux de nature culturelle, symbolique ou patrimoniale**. Il s'agit d'évaluer la valeur immatérielle du bâtiment, qu'elle soit liée à son histoire, à son architecture, à son rôle dans l'identité d'un territoire ou à sa fonction sociale. Certains bâtiments, par leur caractère emblématique ou patrimonial, nécessitent des mesures d'adaptation spécifiques afin de préserver leur intégrité et leur vocation.

Pour objectiver ces enjeux, nous proposons d'établir un « questionnaire des seuils de tolérance » pour chaque aléa climatique. Il s'agit d'une liste de questions permettant de situer, les enjeux d'usages relatifs au bâtiment ou site étudié en fonction des objectifs d'adaptation visés. Ce questionnaire préalable peut être complété par des mesures sur site et éventuellement évaluées ou fiabilisées via des avis d'experts, simulations, scénarisations.

Le questionnaire des seuils de tolérance

Cet outil d'appropriation des enjeux permet de mieux considérer en lien avec les occupants ou exploitants d'un bâtiment leurs contraintes fonctionnelles et d'usages. Ce questionnaire a pour objectif d'explicitier les conditions de vulnérabilité du bâtiment mais aussi de réfléchir aux limites acceptables que l'on se donne pour en déterminer des objectifs d'adaptation. Les questions présentées dans le questionnaire ci-dessous ne doivent pas être considérées comme exhaustives et leurs réponses doivent être le fruit de réflexions propres à chaque bâtiment et chaque contexte qui doivent être instruites comme telles.

Pour chaque aléa, il s'agit de poser la question :

- À partir de quelle intensité ou de quelle probabilité d'occurrence limite une mesure d'adaptation est-elle attendue ?
- Dans ce cas, quels sont les niveaux de protection exigés, en priorisant toujours la sécurité des personnes ?

La sensibilité d'usages de chaque bâtiment étudié, suivant chaque aléa, invite à interroger des critères tels que :

- L'âge moyen des personnes occupant les lieux ;
- L'état de santé global des occupants ;
- La densité ou concentration des personnes ;
- Les exigences particulières liées aux occupants en matière de sécurité, de santé ou de confort.

La sensibilité fonctionnelle implique de déterminer :

- Les critères spécifiques des exploitants vis-à-vis de la sécurité,
- Les comportements attendus du bâti en fonction de la technologie ou de l'activité,
- Les seuils critiques d'exploitation physique à ne pas dépasser,
- Les enjeux écologiques ou patrimoniaux du site,
- Les dispositifs d'adaptation déjà en place influent sur la résilience.

Cf. Annexe 5. Exemple de Questionnaire des seuils de tolérance

3.5. Analyse croisée des risques : hiérarchisation et priorisation

Sur base de l'analyse croisée des sensibilités bâtementaires et des enjeux d'usages, un bilan de la vulnérabilité du bâtiment est établi. L'audit d'adaptation à l'échelle d'un seul bâtiment permet généralement de raisonner aléa par aléa, sans recours nécessaire à l'agrégation.

Cette approche plus directe permet d'examiner chaque risque climatique individuellement, en lien avec les caractéristiques propres du bâtiment et de son environnement immédiat. Elle offre une lecture plus fine sans nécessiter de pondération ou de combinaison d'indicateurs. Cette méthode est particulièrement pertinente lorsque l'objectif est de formuler des recommandations opérationnelles concrètes d'adaptation à un ou plusieurs aléas identifiés, plutôt que de produire une vision comparée ou synthétique des risques liés au changement climatique.

Néanmoins, compléter cette évaluation par une **approche multi-aléa** permet de tenir compte des effets cumulatifs ou des interactions entre aléas. Certains risques résultent directement de cette combinaison. Ainsi, même si le raisonnement aléa par aléa reste pertinent pour la formulation de mesures d'adaptation spécifiques, il est crucial de garder une vision systémique et interconnectée des aléas climatiques.

À noter qu'il n'existe pas d'échelle de notation de la vulnérabilité qui fasse référence dans le secteur du bâtiment : chaque bâtiment et chaque situation étant unique, l'évaluation de la vulnérabilité doit être effectuée sur la base de l'expertise et des enjeux propres à l'organisation.

Ce bilan peut être établi sous forme d'un rapport d'expertise. L'établissement de note type "scoring" ou de datavisualisation type "radar" peut également être un bon moyen de rendre les résultats pédagogiques, tout en restant vigilant à conserver un niveau de détail suffisant et robuste pour être utile à la prise de décision (phase "plan d'actions").

3.6. Plan d'actions pour l'adaptation

3.6.1. Programmation stratégique et ordonnancée des solutions d'adaptation

C'est sur la base de l'étude de vulnérabilité qu'il convient ensuite de commencer à élaborer un plan d'adaptation spécifique à chaque ouvrage, structuré et opérationnel, qui répondra de manière concrète aux enjeux observés et aux ambitions définies.

Ce plan doit s'inscrire dans une logique multirisque, en s'appuyant sur des actions qui peuvent remédier à plusieurs aléas et en privilégiant les mesures à cobénéfices multiples : réduction des risques, amélioration du confort, préservation ou restauration de la biodiversité, mesures d'atténuation, santé publique, maîtrise des coûts d'exploitation, etc.

Les actions envisagées doivent être choisies en fonction des priorités et pourront être ordonnancées dans le temps.

3.6.1.1. Priorisation

Les actions d'adaptation doivent être sélectionnées selon plusieurs critères :

- **Niveau de risque et criticité des usages** : établir un calendrier des actions d'adaptation en fonction des priorités identifiées. Par exemple, les actions ciblant des bâtiments fortement exposés et accueillant des publics vulnérables peuvent être priorisées ;
- **Faisabilité technique, économique et organisationnelle** : intégrer les contraintes d'intervention, les calendriers de travaux et les opportunités d'intervention (rénovation énergétique, changement d'usage, compatibilité des solutions avec la sécurité incendie, avec les contraintes d'exploitation, par exemple laisser les fenêtres ouvertes la nuit sans protection anti-intrusion, etc. ...) Ainsi, les actions pourront être choisies en fonction des plans d'investissements déjà prévus afin de réaliser une feuille de route cohérente avec les autres travaux à réaliser ;
- **Effets leviers et synergies possibles** : certaines actions peuvent répondre simultanément à plusieurs aléas ou générer des effets bénéfiques sur d'autres volets (ex. : confort thermique et qualité de l'air, impact des brasseurs d'air plafonniers sur les concentrations en particules dans l'air des salles de classe, etc.) ;

3.6.1.2. Élaboration d'une feuille de route

Une planification opérationnelle des actions est essentielle pour assurer la mise en œuvre **efficace et progressive** du plan d'adaptation :

- Établir un calendrier ordonnancé : court terme, moyen terme, long terme ;
- Articuler les actions d'adaptation avec les autres plans de travaux envisagés (plan de gros entretien-renouvellement, plan d'atténuation, plan stratégique, etc.) ;
- Coordonner les parties prenantes : clarifier les rôles et responsabilités de chaque partie prenante et mobiliser les expertises (cf. partie 4.5.3. Maîtrise d'œuvre de l'adaptation) ;
- Allouer les ressources financières nécessaires et prévoir un budget spécifique pour chaque phase d'adaptation, par rapport à chaque risque identifié.

3.6.2. Choix des actions d'adaptation

Le choix des actions d'adaptation constitue la phase opérationnelle du plan. Il repose sur une articulation claire entre les objectifs stratégiques, les priorités identifiées et les moyens mobilisés.

Des solutions à prioriser

Les Solutions d'Adaptation Fondées sur la Nature (SAFN)

Les Solutions d'Adaptation Fondées sur la Nature (SAFN) sont les actions à prioriser systématiquement dans un plan d'adaptation. Il s'agit de solutions qui s'appuient sur la nature et ses multiples services. Elles sont prioritaires à tout point de vue pour faire face au changement climatique (recommandation du GIEC, condition présente dans la Taxinomie Européenne) et appuyée dans le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique PNACC-3.

Les actions dites sans regret

Une action d'adaptation peut être dite sans regret lorsqu'elle présente des co-bénéfices multiples et permet de réduire les risques quel que soit le climat futur. Sans obérer une rénovation globale, ces actions sans regret doivent permettre une réduction de la vulnérabilité d'un bâtiment et des bénéfices immédiats à court terme.

Trois grands types d'actions peuvent être mises en œuvre de manière complémentaire : les actions **préventives, correctives et organisationnelles**.

3.6.2.1. Actions préventives et correctives

Les actions préventives visent à réduire la vulnérabilité pour éviter les dommages avant qu'ils ne surviennent. Elles doivent être pensées dans une logique d'anticipation, de cobénéfices et de sobriété.

Les actions correctives visent à corriger des désordres existants ou à améliorer la résilience des éléments défaillants après un constat de vulnérabilité. Ces actions, engagées en amont de désordre ou après des premiers sinistres ou plaintes, peuvent être de même nature.

Exemples d'actions d'adaptation préventives	
Aléas	Actions préventives ou correctives
Fortes chaleurs	- Végétaliser les abords et les toitures. - Installer ou améliorer l'isolation thermique. - Installer des protections solaires (volets, brise-soleil, casquettes...) - Favoriser la ventilation naturelle (traversante, double orientation, ouvertures hautes). - Traiter les revêtements extérieurs (albedo, matériaux à forte inertie thermique). - Mettre à niveau les systèmes mécaniques et électriques pour assurer leur fonctionnement en cas de fortes chaleurs.
Pluies et inondations	- Désimperméabiliser les sols. - Assurer une Gestion Intégrée des Eaux Pluviales. - Surélever les équipements techniques sensibles (chaudières, compteurs...) en zone inondable.
Sécheresse et RGA	- Adapter ou consolider les fondations. - Surveiller les mouvements différentiels du sol. - Mettre en place des ceintures végétalisées.
Vents violents et tempêtes	- Renforcer les ancrages de toiture et d'éléments de façade. - Vérifier l'ancrage des dispositifs extérieurs (clôtures, pergolas, panneaux solaires...)

Grêle	- Installer des protections sur les vitrages exposés. - Renforcer les éléments sensibles en toiture.
Feux de forêt	- Créer des zones tampons autour des bâtiments. - Utiliser des matériaux de façade et de toiture résistants au feu. - Accès sécurisé pour les secours et raccords d'eau extérieurs.
Submersions marines et les érosions côtières	- Élever les niveaux d'entrée et les équipements sensibles : surélever les accès, les installations électriques, les serveurs informatiques ou les équipements critiques pour éviter les dommages en cas d'inondation. - Utiliser des matériaux résistants à l'eau salée et à l'humidité : privilégier des matériaux durables et adaptés aux environnements marins pour les façades, les fondations et les menuiseries. - Aménager des protections naturelles ou artificielles

Dans le cas des actions préventives, il est important de vérifier l'absence de maladaptation afin d'éviter les dommages collatéraux, ou les mesures en opposition avec l'atténuation du changement climatique (cf. Annexe 1. Éviter la maladaptation)

3.6.2.2. Actions organisationnelles

Ces mesures assurent la préparation et la réactivité des personnes face aux événements climatiques. Voici quelques exemples :

- Élaborer un plan de gestion de crise en collaboration avec les occupants : scénarios, mise en place des dispositifs d'alerte et de repli (intégrer des plans d'évacuation, des systèmes d'alerte précoce et des zones de refuge pour les occupants), définition des rôles et responsabilités.
- Mettre en place des systèmes de veille et d'alerte pour informer les occupants des risques imminents (inondation, orage, canicule).
- Modifier les horaires d'ouverture ou d'exploitation du bâtiment.
- Former les occupants aux gestes réflexes (fermeture de volets, basculement des équipements, évacuation).

3.7. Gouvernance, déploiement, suivi et évaluation

La stratégie d'adaptation ne peut se limiter à la définition d'actions ; elle nécessite une mise en œuvre rigoureuse, adossée sur une gouvernance claire, un suivi structuré, une évaluation de ses effets et une capacité d'ajustement dans le temps. L'adaptation est un processus évolutif, qui suppose une gouvernance claire, une intégration opérationnelle, des outils de pilotage partagés et une capitalisation continue des retours d'expérience.

3.7.1. Organisation et pilotage

La mise en œuvre effective d'un plan d'adaptation repose sur une coordination rigoureuse entre les parties prenantes, sous la responsabilité d'une maîtrise d'œuvre adaptée aux spécificités de l'adaptation au changement climatique et d'une commande claire (programme de la maîtrise d'ouvrage). Cette maîtrise d'œuvre ne peut être réduite à un simple pilotage technique : elle doit être élargie à une approche systémique, interdisciplinaire et évolutive.

3.7.1.1. Clarifier les rôles et responsabilités

- **Le maître d'ouvrage (MOA)** porte la stratégie globale d'adaptation. Il définit les objectifs (niveau de résilience attendu, calendrier, budget), valide les grandes orientations, mobilise les ressources, et garantit la compatibilité du projet avec les ambitions réglementaires, patrimoniales ou territoriales, les compétences attendues de la MOE, le "qui fait quoi" à quel moment du processus. La MOA peut mandater un programmiste ou AMO adaptation pour être accompagné sur ces enjeux spécifiques ;
- **La maîtrise d'œuvre (MOE)** assure la déclinaison opérationnelle de la stratégie : elle conçoit les solutions techniques, pilote les études complémentaires, assure la coordination des expertises, propose des arbitrages, supervise les travaux et contrôle leur conformité aux objectifs d'adaptation définis.
- **Les exploitants et gestionnaires techniques** jouent un rôle essentiel dans l'évaluation des contraintes d'exploitation, la validation des choix techniques (maintenance, accessibilité, continuité de service) et la préparation à la phase d'usage (protocoles, alerte, maintenance préventive) ;
- **Les occupants** doivent être considérés comme des acteurs à part entière, dont les comportements, les besoins et les retours d'usage conditionnent l'efficacité réelle des mesures mises en œuvre. Leur implication est déterminante dans les choix organisationnels et dans la diffusion d'une culture d'adaptation.
- **Les collectivités territoriales et acteurs institutionnels** peuvent être sollicités pour garantir la cohérence avec les politiques locales d'adaptation, soutenir le financement ou apporter des expertises complémentaires.

3.7.1.2. Mobiliser une ingénierie interdisciplinaire

L'adaptation au changement climatique mobilise une diversité d'expertises. Pour les projets d'envergure, il convient de mobiliser plusieurs niveaux d'expertise possibles :

- Ingénierie technique et structurelle : évaluation des résistances mécaniques, dimensionnement des ouvrages, adaptation des fondations, vérification de la tenue au vent ou aux charges extrêmes ;
- Ingénierie thermique et bioclimatique : conception de protections solaires, ventilation naturelle, inertie thermique, confort d'été sans recours systématique à la climatisation ;
- Ingénierie hydrologique et hydraulique : modélisation des eaux pluviales, gestion du ruissellement, désimperméabilisation, solutions fondées sur la nature ;
- Ingénierie écologique : intégration de la biodiversité dans les choix d'aménagement, diagnostic écologique préalable, compatibilité avec les trames vertes et bleues ;
- Expertise sociale et sanitaire : analyse des vulnérabilités humaines, confort d'usage, sécurité des publics fragiles, acceptabilité des mesures proposées ;

Cette diversité d'acteurs appelle un pilotage clair, outillé et transversal. La maîtrise d'œuvre de l'adaptation peut ainsi être confiée à un groupement pluridisciplinaire ou à une structure spécialisée dans l'ingénierie climatique, en capacité d'assurer l'interface entre les différentes expertises.

3.7.2. Suivi de la mise en œuvre

Une fois les actions d'adaptation engagées, leur suivi rigoureux est essentiel pour garantir la bonne exécution du plan, ajuster les décisions en temps réel et assurer la transparence vis-à-vis des parties prenantes. Pour cela, la mise en place d'un tableau de bord de suivi constitue un outil central de pilotage.

Ce tableau de bord permet de suivre l'état d'avancement des actions, d'identifier les écarts entre les coûts prévus et réels, et de vérifier le respect des délais.

Des indicateurs de réalisation permettent d'objectiver les progrès : nombre d'équipements installés, surfaces traitées, personnes formées, ou encore actions intégrées dans des opérations de maintenance ou de rénovation.

Ce suivi s'appuie également sur une documentation systématique : fiches techniques, photos avant/après, comptes-rendus de chantier, procès-verbaux de réception, ainsi que le signalement d'éventuels incidents. Ce dispositif contribue à garantir la traçabilité, la transparence et l'efficacité de la démarche

3.7.2.1. Évaluation des résultats

Une fois les actions déployées, il est essentiel d'évaluer leur efficacité à travers d'indicateurs de performance. Par exemple, la réduction des températures intérieures mesurée sur site, la baisse de la sinistralité, l'amélioration du confort perçu (enquêtes usagers), ...

A noter que cela peut dépendre, pour certains indicateurs, de la survenue d'une « crise » (canicule, inondation, etc.) permettant de constater l'efficacité de certaines mesures.

Ensuite, une comparaison avec les objectifs initiaux : évaluer l'écart entre ce qui était visé et ce qui a été atteint. Identifier les facteurs explicatifs : sous-estimation d'un aléa, mauvaise exécution, non-utilisation des dispositifs par les usagers, etc.

3.7.2.2. Ajustement et amélioration continue

L'adaptation est un processus dynamique. Elle doit pouvoir être ajustée au fil du temps, en fonction de l'évolution des connaissances (climat, réglementation, techniques), des retours d'expérience internes ou externes, des aléas réellement survenus et de leurs impacts, et des opportunités d'investissement.

Il est recommandé d'actualiser le plan régulièrement ou après un événement climatique majeur. Cette révision doit intégrer :

- Les écarts observés et les actions correctrices mises en place.
- Les nouvelles actions à intégrer ou à reprogrammer.
- Les enseignements opérationnels, sociaux ou techniques à diffuser.

3.7.2.3. Communication et retour d'expérience

La valorisation des actions menées est essentielle pour renforcer l'adhésion des parties prenantes, justifier les budgets et efforts déployés et partager les réussites et les limites avec d'autres acteurs. Cela peut passer par :

- Des rapports annuels de suivi ou de synthèse ;
- Des supports de sensibilisation (fiches projet, vidéos, témoignages) ;
- Des restitutions auprès des occupants ou des partenaires ;
- La participation à des réseaux d'échange ou d'innovation (CEREMA, ADEME, réseaux de collectivités...) ;

4. Chiffrer les coûts et estimer les bénéfices de l'adaptation des bâtiments au changement climatique

4.1. Le coût de l'adaptation est fortement dépendant des stratégies et des solutions retenues

L'évaluation des coûts liés à l'adaptation des bâtiments au changement climatique dépend en premier lieu des choix stratégiques opérés. Autrement dit, ce que l'on décide de faire – en termes de niveau d'ambition et de solutions mises en œuvre – conditionne fortement les coûts associés. Ainsi, il n'existe pas de coût standard pour l'adaptation applicable à un bâtiment ou à un ensemble de bâtiments tant ceux-ci peuvent différer selon les contextes bâtis, les usages et les objectifs⁴.

EXEMPLES DE COÛT DE SOLUTIONS D'ADAPTATION POUR UN BÂTIMENT TERTIAIRE

Rafratchissement adiabatique	Brise soleil	Brasseur d'air	Bardage ventilé	Puits climatique
10 €/m²	14 €/m²	13 €/m²	58 €/m²	40 €/m²

Source : I4CE. 2024. "Vagues de chaleur : ce que l'on peut dire des coûts de l'adaptation des bâtiments"

Au-delà des montants, c'est aussi la structure des coûts qui varie selon ce que l'on décide de faire :

- Une stratégie visant à garantir coûte que coûte la continuité d'usage ou l'habitabilité d'un bâtiment pourrait impliquer des investissements significatifs en travaux lourds sur le bâti.
- À l'inverse, une stratégie reposant sur l'acceptation d'interruptions temporaires d'usage (par exemple lors d'épisodes de canicule) pourrait limiter les investissements techniques, mais nécessitera des dispositifs organisationnels adaptés, comme des plans de gestion de crise pour absorber ces périodes.

⁴ En 2024, I4CE avait estimé un surcoût moyen de 10% pour les projets de rénovation prenant en compte l'adaptation (aux vagues de chaleur) par rapport à des projets de rénovation énergétique global (déjà ambitieux) sans confort d'été. Ce surcoût doit être utilisé avec précaution : il vise à estimer les besoins d'investissement additionnels à l'échelle nationale d'une politique d'adaptation plus ambitieuse, mais il n'a pas vocation à définir un surcoût standard applicable à chaque projet : il masque une très forte variabilité de surcoût.

4.2. Différents types de coût à considérer

Définir un surcoût lié à l'adaptation suppose de clarifier le périmètre de référence. Dans la majorité des cas, les bâtiments concernés par l'adaptation font déjà l'objet de programmes de réhabilitation ou de rénovation énergétique, initiés pour répondre à d'autres enjeux (performance énergétique, confort, mises aux normes, etc.). L'exercice consiste alors à identifier les différentes composantes des coûts de l'adaptation qui s'ajoutent à des travaux déjà programmés. On peut ainsi distinguer :



Source : I4CE. 2024. "Vagues de chaleur : ce que l'on peut dire des coûts de l'adaptation des bâtiments"

Dans le cas de l'adaptation aux vagues de chaleur par exemple, si le sujet est traité en même temps qu'une rénovation énergétique, il s'agit dans ce cas de distinguer la part de « surperformance » directement liée à l'adaptation :

EXEMPLES D'ACTIONS D'ADAPTATION ASSOCIÉES À LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE		
Actions prévues pour la rénovation énergétique	Gestes réalisés ou dimensionnés différemment	Nouveaux gestes
Remplacement des menuiseries		Mise en place de protections solaires automatiques / brise-soleil...
Mise en place d'une ventilation mécanique double-flux	Mise en place d'un mode « surventilation » pour la ventilation nocturne.	Mise en œuvre d'un puits climatique.
Isolation des parois	Choix d'un isolant à fort déphasage, augmentation de l'épaisseur.	
Surperformance pour l'adaptation		

Source : I4CE 2024 “Vagues de chaleur : ce que l'on peut dire des coûts de l'adaptation des bâtiments”

En pratique, cet exercice de ventilation se révèle souvent artificiel, ce qui ne constitue pas en soi un problème. L'objectif final reste celui de construire des projets adaptés au climat futur : si les mesures d'adaptation sont intégrées de manière fluide dans l'économie globale du projet, cela reflète une bonne articulation des enjeux.

4.3. Des coûts visibles, mais des bénéfices parfois mal appréhendés et diffus

Pour un gestionnaire d'actifs ou un maître d'ouvrage qui souhaite investir dans l'adaptation de son bâtiment ou de son patrimoine, analyser les coûts de l'adaptation invite naturellement à vouloir objectiver les bénéfices associés, les mettre en perspective au travers d'analyse coût-bénéfice, pour en déduire les modalités de rentabilité de son investissement. Or, contrairement aux projets de rénovation énergétique qui génèrent des économies directes et mesurables (réduction de la facture énergétique, valorisation patrimoniale), la structure des bénéfices des actions d'adaptation est souvent plus complexe. En effet, ces bénéfices sont souvent indirects (socio-économiques) et distribués entre des acteurs qui bien souvent ne portent pas directement l'investissement.

Pour le risque d'inondation par exemple, le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles (régime CatNat), garanti en dernier ressort par l'État, prend en charge une grande partie des dégâts lorsque la reconnaissance de catastrophe naturelle est prononcée. Cela peut freiner l'investissement préventif du côté des propriétaires ou des exploitants, dans la mesure où les coûts évités ne leur bénéficient pas directement.

De plus, certaines mesures d'adaptation (comme celles associées au confort d'été) génèrent des bénéfices socio-économiques : bien-être maintenu - ou accru - des occupants, réduction des hospitalisations ou de la mortalité lors des vagues de chaleur. Ces bénéfices sont réels, mais échappent aux modèles classiques d'évaluation financière, car ils ne reviennent pas directement à l'acteur qui investit.

Ainsi, chercher à mettre en place des projets d'adaptation avec des modèles économiques viables n'a rien d'évident et il est donc essentiel de ne pas réduire l'arbitrage à une logique économique stricte. Certains choix doivent intégrer les externalités socio-économiques positives plus larges pour l'acteur qui investit et pour la société. Par exemple, la réparation d'un entrepôt après inondation pourrait sembler économiquement plus « rentable » que des travaux de renforcement sauf si l'arrêt temporaire d'activité génère des pertes inacceptables ; Pour un bailleur social, garantir le confort thermique est peut-être non rentable à court terme, mais cohérent avec sa mission d'intérêt général. L'adaptation devient alors un choix stratégique, ancré dans une vision plus large de la valeur que la simple rentabilité économique.

Ne pas agir ? Le coût de l'inaction

De nombreuses études mettent en évidence l'impact économique et humain de ce que pourrait générer un scénario sans plus d'anticipation que ce qui est fait jusqu'à aujourd'hui. L'Ademe (2023) estime, pour la France, à 260 milliards d'euros par an, d'ici 2100, le coût des conséquences du changement climatique si aucune action n'était entreprise.

Sans attendre si longtemps, les conséquences économiques du changement climatique sont déjà perceptibles : Santé publique France (2021) montre par exemple qu'entre 2015 et 2020, le coût des vagues de chaleur représente au total entre 22 et 37 milliards d'euros (selon la méthode retenue) sur la période ; la CCR estime, de son côté, à près de 3,5 milliards d'euros le coût des sinistres liés au retrait-gonflement des argiles en 2022.

Ces situations aujourd'hui prévisibles ou tout du moins attendues doivent être appréhendées plus collectivement qu'individuellement, afin de permettre une mutualisation des coûts de prévention, anticipation, adaptation et protection des personnes et des biens. En effet, il est certainement préférable en ce sens d'agir sur une échelle spatiale élargie plutôt que parcellaire. Il a été démontré précédemment que l'action menée au niveau d'un parc bâti doit permettre de favoriser les interactions en optimisant les investissements.

Conclusion

Le changement climatique impose au secteur du bâtiment un défi majeur, celui d'anticiper et de réduire les risques liés à l'évolution des aléas climatiques tout en préservant la valeur, la pérennité et l'usage du patrimoine existant. Dans un contexte où la majorité du parc est déjà construit et où les impacts climatiques s'intensifient, l'adaptation ne peut plus être considérée comme une option, mais comme une composante incontournable de la gestion patrimoniale.

Ce cadre méthodologique, élaboré dans le cadre du GT REHA'DAPT, fournit aux acteurs du bâtiment une approche structurée et progressive pour analyser, planifier et mettre en œuvre des stratégies d'adaptation. Il s'appuie sur un socle commun de définitions, sur la prise en compte des aléas, de l'exposition et de la vulnérabilité, et sur la nécessité d'objectiver les priorités afin de déployer des actions efficaces, soutenables et adaptées aux contextes locaux.

La démarche proposée se veut à la fois technique et stratégique : elle invite à combiner différentes logiques d'intervention – transformatrice, incrémentale ou réactive – en tenant compte des horizons temporels, des scénarios climatiques (notamment la TRACC) et des co-bénéfices potentiels, et en combinant des actions et mesures architecturales, paysagères et techniques ou organisationnelles. Elle met également en garde contre les risques de maladaptation et souligne l'importance d'intégrer l'adaptation dans un cadre global de soutenabilité environnementale, sociale et économique, qui repose notamment sur l'usage de solutions d'adaptation fondées sur la nature.

En fournissant un langage commun, des étapes méthodologiques éprouvées et des critères clairs pour la hiérarchisation des actions, ce guide cherche à constituer une première base solide pour harmoniser les pratiques et accélérer la mise en œuvre de l'adaptation dans le secteur du bâtiment. Il appelle enfin à une mobilisation collective : seule une action coordonnée, anticipée et ambitieuse permettra de garantir, à long terme, la résilience et la qualité des bâtiments face aux défis climatiques à venir.

Aller plus loin

L'adaptation en général

- La TRACC: Ministère de la Transition écologique – Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC) – [Document officiel](#)
- Le PNACC 3 : Ministère de la Transition écologique – 3e Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC 3) – [PDF officiel](#)
- Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique (CRACC) – <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/>

Référentiels, réglementations et normes

- Alliance HQE-GBC – Cadre de définition de la résilience et de l'adaptation pour le cadre bâti – [PDF](#)
- NF EN ISO 14090 : ISO – Adaptation au changement climatique – Principes, exigences et lignes directrices – [ISO 14090:2019](#)
- NF EN ISO 14 091 - Adaptation au changement climatique – Lignes directrices sur la vulnérabilité, les impacts et l'évaluation des risques (ISO 14091:2021) [NF EN ISO 14091:2021 \[boutique.afnor.org\]](#)
- ISO 4931-1:2024 | Septembre 2024 Bâtiments et ouvrages de génie civil — Principes, cadre et recommandations pour la conception de la résilience — Partie 1 : Adaptation au changement climatique
- Le [règlement \(UE\) 2020/852](#), dit Taxinomie européenne
- [Notices sur les critères techniques de la Taxinomie européenne](#), OID 2025
- [Dossier Taxinomie](#) – CERQUAL 2024

Ressources pour réaliser les analyses d'exposition et les analyses de vulnérabilité

- Portail DRIAS – Les futurs du climat – Site officiel [\[www.drias-climat.fr\]](http://www.drias-climat.fr)
- OID / Bat-ADAPT – Plateforme (voir section outils) exposition des bâtiments et vulnérabilité tous aléas [\[o-immobili...durable.fr\]](http://o-immobili...durable.fr)
- Outil Qualirésilience – QUALITEL (<https://qualiresilience.qualitel.org/>)
- Georisques: <https://www.georisques.gouv.fr/>
- Cap 2030. GT8 Adaptation au changement climatique, Livrable de la phase 1. Novembre 2024. 33 pages. [cap2030_gt8-adaptation_cc_phase_1_vdiffusion.pdf](#) . Définition des aléas et des risques pour le bâtiment. Identification des impacts sur le bâti, l'occupant et identification des principaux bâtiments exposés.
- CSTB. Vulnérabilité des bâtiments résidentiels aux vagues de chaleur : https://bdnb.io/documentation/predictions_isb_dh/

- ADEME - Parcours adaptation pour les entreprises
<https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/conseils/transverse/strategie/adaptation-climatique>
- ADEME - Démarche TACCT <https://tacct.ademe.fr/>

Solutions d'adaptation

Tous aléas

- OID - Guide des solutions adaptatives -
<https://www.taloen.fr/ressources/35c325d0-41a0-423b-8d16-2bbc26cd3875>
- ADEME - S'adapter au changement climatique dans la filière construction avec les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature (SafN)
<https://librairie.ademe.fr/changement-climatique/7644-s-adapter-au-changement-climatique-dans-la-filiere-construction-avec-les-solutions-d-adaptation-fondees-sur-la-nature-safn-9791029723094.html>

Vagues de chaleur

- PRORENO - Collection 15 fiches solutions technologiques pour le confort d'été
<https://www.proreno.fr/documents/brasseur-dair-plafonnier-fiche-solution-technologique-pour-le-confort-de-ete>
- Promodul - Guide solution de rafraîchissement passif - Promodul
- Enviroboite (Centre de ressources par et pour les professionnels de la construction, de la réhabilitation et de l'aménagement durables) sur le confort d'été
<https://www.enviroboite.net/confort-d-ete-2430>
- ADEME - Conception, Règles de calepinage, Critères et choix de Brasseurs d'Air plafonnier performants... <https://librairie.ademe.fr/energies/6791-brasse.html>
- ADEME – Plus Fraiche Ma Ville <https://plusfraichemaville.fr/>

Retrait et gonflement des argiles

- IFSTTAR - Retrait et gonflement des argiles Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse
https://www.ifsttar.fr/fileadmin/user_upload/editions/ifsttar/guidetechnique/2017-GTI4.3-guidetechnique-lfsttar.pdf
- Gouvernement - Mesures de prévention, d'adaptation et de remédiation du phénomène de retrait et de gonflement des sols argileux (RGA) dans la construction. Guide à destination des particuliers et des collectivités territoriales :
https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/prevention_adaptation_remediation_RGA_guide_web.pdf

Bonnes pratiques / démarches existantes

- CEREMA - La méthode ABCD : Adaptation des Bâtiments au Climat de Demain : une méthode Cerema pour l'accompagnement des collectivités :

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/adaptation-batiments-au-climat-demain-methode-cerema>

- EnvirobatBDM : la démarche <https://envirobatbdm.eu/la-demarche-bdm>
- CDC Habitat - Le diagnostic de performance résilience
<https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/sites/cracc/files/fichiers/2025/02/cdc%20habitat%20Blogo.pdf>
- Plan Bâtiment Durable et OID : charte d'engagement volontaire sur l'adaptation
<https://www.planbatimentdurable.developpement-durable.gouv.fr/l-observatoire-de-l-immobilier-durable-lance-une-a1698.html>
- Mission Risques Naturelles- Les trophées des bâtiments résilients.
:<https://www.mrn.asso.fr/resilience/trophees-batiments-resilients/>
- NosVillesà50°C : Communauté de pratique pour concevoir et rénover des bâtiments adaptés aux futures vagues de chaleur : <https://nosvillesa50.fr/>
- ADEME - Opérateurs et territoires touristiques : s'adapter pour faire face au changement climatique
<https://librairie.ademe.fr/changement-climatique/7379-operateurs-et-territoires-touristiques-s-adapter-pour-faire-face-au-changement-climatique-9791029723513.html>
- ADEME - Adaptation au changement climatique : un guide pour les entreprises : <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique/6728-en-entreprise-comment-s-engager-dans-un-parcours-d-adaptation-au-changement-climatique-9791029722257.html>

Publications d'intérêt

- PEUPORTIER Bruno, MONNIER Robin et SCHALBART Patrick, ARMINES, LEMONSU Aude et LEROY Benjamin, CNRM, FRANÇOIS Eric, WURTZ Etienne et OUVRIER-BONNAZ Ophélie, CEA-INES, ZIV Nicolas, Resallience, SERODIO Eduardo, THIERS Stéphane et PIONNIER Robin, IZUBA Energies 2023. Résilience – Rapport final, résultats, 375 pages. Cet ouvrage est disponible en ligne : <https://librairie.ademe.fr/>
- OPH. Étude sur l'adaptation du parc social aux risques climatiques. Septembre 2025. 92 pages : <https://www.foph.fr/documentation/publications/Étude-sur-ladaptation-du-parc-social-aux-risques-climatiques>
- Baromètre Qualitel. Aléas climatiques & logement Ce que les Français vivent, redoutent et attendent. Edition 2025: <https://www.qualitel.org/uploads/brochure-barometre-2025.pdf>

Annexes

Annexe 1. Éviter la maladaptation

Enfin, toute démarche d'adaptation doit veiller à **éviter les risques de maladaptation**, c'est-à-dire des choix techniques, architecturaux ou stratégiques qui, bien que potentiellement efficaces à court terme, **aggraveraient les vulnérabilités à long terme, accroîtraient les inégalités sociales, ou entraîneraient des impacts environnementaux négatifs**.

Le type de questions à se poser pour éviter la maladaptation sont les suivantes :

- Cette action peut-elle engendrer un report de vulnérabilité temporelle ?
- Cette action peut-elle engendrer un report de vulnérabilité spatiale ?
- Cette action peut-elle engendrer un report de vulnérabilité sur d'autres systèmes, ou écosystèmes ?
- Cette action peut-elle devenir un facteur d'aggravation car les incertitudes liées au changement climatique n'ont pas été prises en compte ?

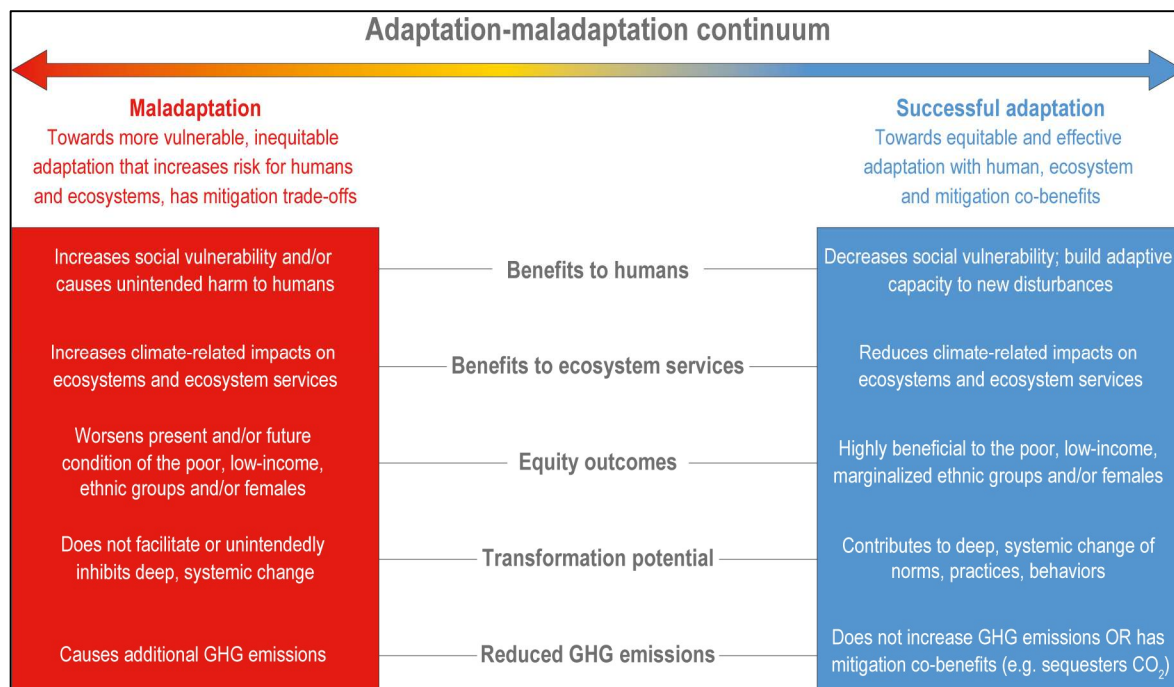
Les réponses doivent être négatives pour l'ensemble de ces questions pour éviter la maladaptation.

Exemples :

Aléa	Solution	Risque de maladaptation	Type de maladaptation	Alternative
Chaleur	Déploiement massif de la climatisation pour toutes typologies d'ouvrages et populations, mal dimensionnée et sans mise en œuvre de solutions passives en amont et/ou installée de façon sauvage	Aggravation de la consommation énergétique et des émissions de GES	Report de la vulnérabilité temporelle et facteur d'aggravation	Privilégier les approches passives et réserver la climatisation pour les usages et espaces sensibles et stratégiques
	Rafrâichissement des espaces privés	Réchauffement ponctuel des espaces extérieurs privés ou publics, source d'inégalités d'accès au confort thermique	Report de vulnérabilité spatiale	

	Végétalisation aux abords immédiats du bâtiment sans prise en compte du risque RGA	Risques de dommages sur le bâtiments liés au RGA et au réseau racinaire	Report de vulnérabilité sur d'autres systèmes	Eloigner la végétalisation à haute tige, privilégier des espèces végétales basses et moins dessicantes aux abords direct du bâtiment
Tous aléas	Solutions technologiques complexes	Fragilité face aux aléas, exigences techniques et économique, tensions d'approvisionnement	Report de vulnérabilité sur d'autres systèmes	Privilégier les approches passives et low-tech

En pratique, détecter la maladaptation n'a rien d'évident : une solution qui pourrait s'apparenter à de la maladaptation dans un contexte donné pourrait être une option valable pour un tout autre contexte. Les solutions d'adaptation ne sont donc pas bonnes ou mauvaises de façon inhérente. Les experts parlent souvent de "continuum" entre adaptation et maladaptation. Dès lors, l'évaluation des solutions proposées doit systématiquement intégrer **ce risque de maladaptation en fonction de chaque contexte**, afin de garantir la robustesse, la soutenabilité et l'équité de l'adaptation engagée.



Source : GIEC, 2022 (<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/figures/chapter-17/figure-17-010>)

Annexe 2. Outils d'analyse spatiale et climatique mobilisable pour l'analyse d'exposition

Exemples d'observations par satellite et interprétations

- Copernicus Rapid Mapping fournit des cartes en temps quasi réel des étendues des inondations, des incendies et des sécheresses avec des évaluations des dégâts.
- NASA FIRMS : suit les incendies actifs à l'échelle mondiale en utilisant les anomalies thermiques MODIS/VIIRS, crucial pour la gestion des incendies de forêt.
- LANDSAT / Sentinel-2 : surveille la santé de la végétation (NDVI) et l'érosion des sols (TGSi) à une résolution de 10 à 30 m.
- TROPOMI / Sentinel-5P : capture des données haute résolution sur les NO₂ et aérosols pour le suivi de la pollution de l'air.
- Modèles de Transport Chimique : convertissent les données de l'AOD (profondeur optique des aérosols) des satellites en estimations de PM_{2.5} au niveau du sol.

Exemples de croisement avec les données de terrain :

- Collecte des données de terrain au travers des ensembles de modèles numériques à haute résolution, comme : LIDAR, ETH GCH, WSF3D permettant une prise en compte fine de la nature des sols, des hauteurs d'immeubles, de la pente et de l'urbanisation.
- Données Optiques : principale source de données pour la création des jumeaux numériques de terrain et des cartes d'occupation du sol.
- Croisement de ces données de terrain collectées à partir de la cartographie globale FABDEM avec le modèle satellitaire COPERNICUS GLO-30.
- Modélisation fine LIDAR 3D avec création de jumeaux numériques de terrain : outil de travail à la coordonnées GPS (Exemple : projection des probabilités d'occurrence de hauteur d'eau en cm à une résolution d'une seconde d'arc, soit environ 20m en France).
- Analyses par interférométrie RADAR avec calcul des déformations de terrain en comparant les variations entre des images prises à différents moments et capable de révéler les mouvements de la surface terrestre, des bâtiments et des infrastructures avec une précision millimétrique (aléas : les mouvements de sols, les érosions côtières).
- Suivi des aléas liés au sol : cartes de recensement des chutes de blocs et éboulements.
- Capteurs in situ de la Qualité de l'air extérieur : valident les niveaux de PM_{2.5} et de NO₂ dérivés des satellites dans les zones urbaines.

Exemples de Réanalyses des modèles météorologiques :

- Réanalyse ERA5 climatique horaire de l'ECMWF (1940 -> présent) pour l'étude des modèles météorologiques historiques, des vagues de chaleur et des prévisions de sécheresse.

Annexe 3. Différence entre scénarios climatiques, modèles climatiques et projections climatiques

Le scénario climatique

- **Qu'est-ce que c'est ?** Il s'agit d'un récit possible de l'avenir, basé sur des hypothèses d'évolution des émissions de gaz à effet de serre, de la démographie, de l'usage des sols, etc.
- **Comment ça marche ?** Chaque scénario fixe un "chemin" possible pour les émissions et les activités humaines ;
- **Quel est son rôle ?** Servir d'entrée aux modèles pour tester des futurs plausibles.

Exemples :

- *RCP2.6 : Baisse forte des émissions, réchauffement limité à 2°C maximum*
- *RCP4.5 : stabilisation des émissions d'ici la fin du siècle*
- *RCP8.5 : hausse continue des émissions*

Le modèle climatique

- **Qu'est-ce que c'est ?** Il s'agit de simulateurs numériques du système climatique mondial, ou régional ;
- **Comment ça marche ?** Ces modèles, construits par des organismes de recherche tels que le Centre National de Recherche Météorologique (*rattaché à Météo France*) ou l'Institut Pierre Simon Laplace en France, utilisent les lois de la physique, de la chimie et de la dynamique des fluides pour représenter l'atmosphère, les océans, les glaces et les continents.
- **Quel est son rôle ?** Calculer la manière dont le climat réagit à différentes conditions.
Exemple : IPSL-CM6 (France), CESM (USA), etc.

La projection climatique

- **Qu'est-ce que c'est ?** Les résultats chiffrés et cartographiés produits par les modèles, à partir d'un scénario donné. Par exemple : L'ADEME, avec Météo France et le CSTB ont élaboré des fichiers climatiques prospectifs basés sur la TRACC pour les 8 stations de référence de la RE2020.
- **Comment ça marche ?** Le modèle exécute un scénario et fournit des valeurs futures de température, précipitations, niveau des mers, etc.
- **Quel est son rôle ?** Fournir une vision du climat possible pour un futur et un territoire donné, en fonction des hypothèses choisies.
Exemple : Selon le scénario RCP8.5 et le modèle Modèles IPSL-CM5A / HIRHAM5 - correction ADAMONT, les étés à Marseille pourraient connaître 30 jours de température supérieure à 35°C à horizon 2100.

< !> Aux échéances les plus lointaines, les principales sources d'incertitude sont liées à aux modèles de climat (incertitude épistémique), et à celles sur les scénarios (incertitude réflexive). Ainsi, il est fortement recommandé d'adopter une approche **multi-modèles**. Cette approche permet de représenter la dispersion des modèles, c'est-à-dire l'ensemble des valeurs que peut prendre un paramètre donné, comme par exemple la température ou les précipitations. Des outils statistiques simples permettent de quantifier et de décrire cette dispersion inter-modèles - le plus courant d'entre eux étant le **quantile**.

Cette approche permet de distinguer plus finement les tendances moyennes des modèles climatiques et leurs valeurs extrêmes. En effet, selon les enjeux, les niveaux d'exigence diffèrent : pour certains bâtiments non essentiels, s'adapter aux conditions moyennes peut suffire, tandis que pour d'autres, comme les hôpitaux ou les établissements à usage critique, il est indispensable de prendre en compte les valeurs les plus extrêmes afin de garantir la continuité de fonctionnement même lors d'événements climatiques exceptionnels.

Annexe 4. Exemples de critères de sensibilité bâtementaire

Fortes chaleurs

Exemples de critères de sensibilité bâtementaire

Parois opaques

- Inertie thermique
- Performance de l'isolation
- Albedo – Couleur du revêtement
- Émissivité du revêtement
- Végétalisation

Parois vitrées :

- Ratio de surface vitrée / Façades
- Ratio de surface vitrée / Toiture –(Eclairage zénithal)
- Orientation des parois vitrées (Sud, Est, Ouest, Nord)
- Performance des menuiseries : conductivité, facteur solaire, etc.
- Présence de masques lointains
- Présence de masques proches : casquettes, balcons, débords
- Présence d'occultations extérieures
- Gestion des occultations extérieures : manuelle ou automatisée

Ventilation / Ra fraîchissement / Refroidissement des espaces intérieurs

- Présence de brasseurs d'air
- Présence ou non de systèmes de refroidissement / Ra fraîchissement
- Ventilation mécanique : dimensionnement et entretien, présence d'une récupération d'énergie, présence de dispositifs de ra fraîchissement adiabatique, capacité de surventilation nocturne
- Ventilation naturelle : gestion de l'ouverture des fenêtres, possibilité de créer une ventilation traversante

Aménagements des espaces :

- Positionnement des espaces les plus vulnérables dans le bâtiment
- Existence de zones refuges

Apports internes :

- Densité d'occupation
- Typologie d'activité physique des occupants : activité sédentaire, d'intensité légère, modérée, intense ou très intense
- Présence d'équipements dégageant de la chaleur (bureautique, etc.)

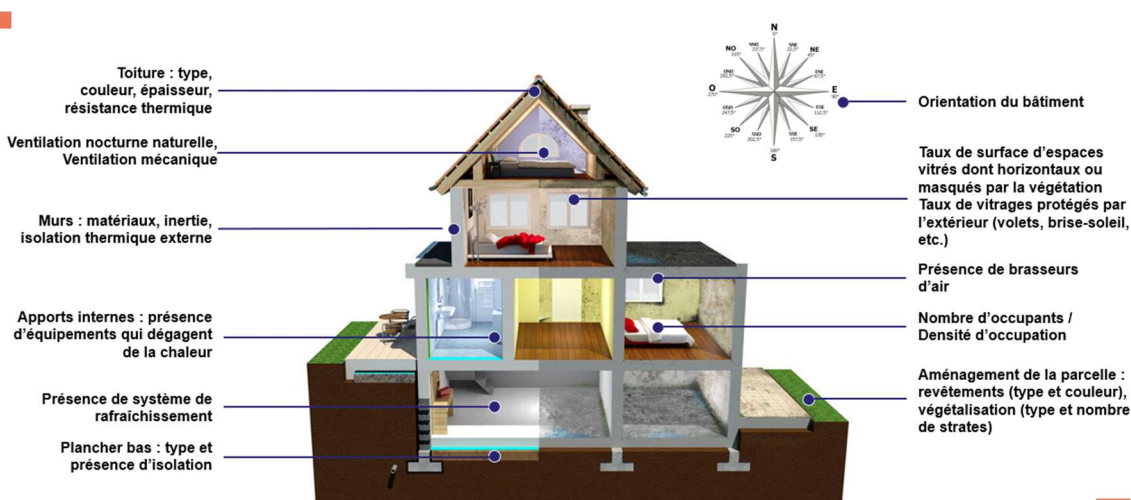
Environnement proche :

- Végétalisation autour du bâtiment – Type et nombre de strates
- Albedo – Couleur des revêtements et voiries autour du bâtiment

- Présence de points d'eau

Ressources disponibles

- [EcoTRACC](#) - Evaluation de l'exposition aux aléas climatiques du parc de bâtiments en France hexagonale, OID 2024



Fortes pluies et inondation

Exemples de critères de sensibilité bâtementaire

Toiture:

- Typologie et pente de toiture et de couverture
- Etat d'entretien des toitures
- Etat d'entretien des évacuations d'eau pluviales

RDC:

- Type de soubassement et revêtements
- Présence de soupiriaux
- Traitement des entrées du bâtiment, présence de ressauts, de surélévations
- Présence de matériaux non imperméables

Infrastructures :

- Nombre de niveaux en infrastructures et situation vis-à-vis des niveaux caractéristiques EH et niveau accidentel EE
- Type de cuvelage des infrastructures
- Type de drainage

- Présence d'eaux stagnantes, traces d'infiltrations sur les voiles, etc.
- Présence de pompes de relevage des eaux usées, état d'entretien, remontée d'alarmes
- Présence de fosses ascenseurs, sonde de détection d'eau
- Présence de caniveaux en haut/bas de la rampe d'accès
- Protection de l'entrée de la rampe
- Présence d'un ressaut en haut de la rampe d'accès
- Protection des VB / VH

Réseaux d'évacuation

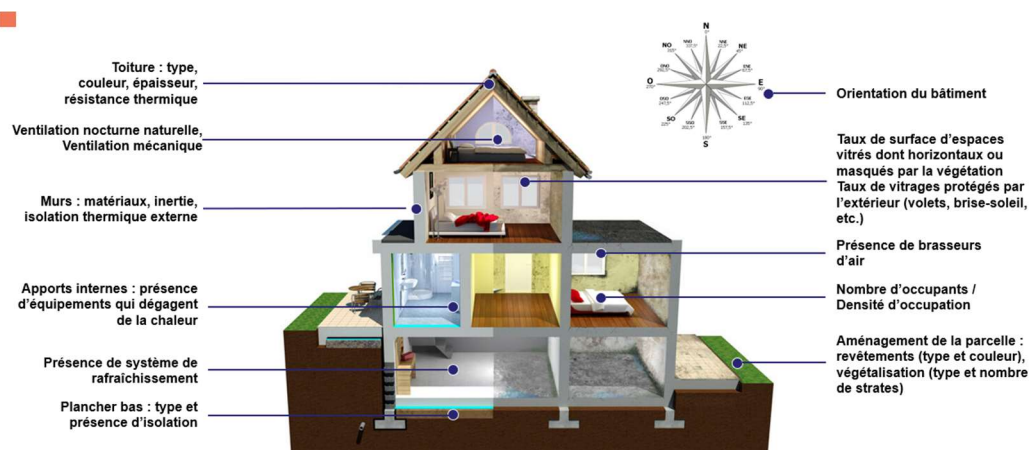
- Présence de clapets anti-retours sur les réseaux d'évacuation
- Qualité de l'entretien des réseaux
- Dispositifs de remontée d'alarme existants

Dispositifs de rétention et infiltration d'eau

- Présence de cuve de rétention d'eau et entretien
- Présence de bassin d'infiltration et entretien
- Dispositifs de remontée d'alarme existants
- Taux d'imperméabilisation de la parcelle

Ressources disponibles

- Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (2010)- Le bâtiment face à l'inondation - Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité
- Cerema (2016), Référentiel national de vulnérabilité aux inondations
- CEPRI (2009), Un logement "zéro dommage" face au risque d'inondation est-il possible ?
- CEPRI (2010), Le bâtiment face à l'inondation
- CEPRI (2015), Comment saisir les opérations de renouvellement urbain pour réduire la vulnérabilité des territoires inondables face au risque d'inondation ?
- Cerema, Grenoble Alpes Métropole (2023), Guide métropolitain de l'aménagement résilient en zone inondable constructible
- Ministère de l'égalité des Territoires et du Logement, ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2012), Référentiel de travaux de prévention du risque d'inondation dans l'habitat existant
- [EcoTRACC](#) - Evaluation de l'exposition aux aléas climatiques du parc de bâtiments en France hexagonale, OID 2024



Feux de forêts

Exemples de critères de sensibilité bâtementaire

- *Mitoyenneté et/ou densité du tissu urbain*
- *Structure : types et caractéristiques des matériaux de construction, type et caractéristiques de l'isolation, présence de vêtements ou bardages sur lame d'air ventilée*
- *Toiture : présence et type de végétalisation le cas échéant, type de matériaux de revêtement, inclinaison, présence d'avancées de toits/auvents/ pergolas et types de matériaux*
- *Configuration et caractéristiques des ouvertures : nombre, dimensions, protections, typologie de vitrage*
- *Présence de terrasses, balcons, coursives en bois*
- *Continuité de la trame végétale et entretien de la végétation environnante*
- *Traitement des pieds de façades, présence de bande minérale et entretien*
- *Présence de produits inflammables dans le bâtiment : cuve fioul, produits chimiques, etc.*
- *Présence d'une conduite de gaz*
- *Dispositifs de sécurité incendie et entretien*
- *Accès pour l'acheminement des secours, distance à une caserne de pompier*

Ressources disponibles

- Envirobat – BDM (2016) - Construire durable en zone à risque d'incendie de forêt
- Envirobat – BDM (2015) Vulnérabilités des bâtiments face à l'incendie de forêt des Bouches du Rhône,
- Direction Départementale des Territoires et de la Mer (2013) - Ma maison est proche d'un (ou dans un) massif forestier. Est-elle vulnérable en cas de feu de forêt ? Je le vérifie...
- [EcoTRACC](#) - Evaluation de l'exposition aux aléas climatiques du parc de bâtiments en France hexagonale, OID 2024

Annexe 5. Exemple de Questionnaire des seuils de tolérance

Vagues de chaleur
- Quel est le nombre maximal d'heures par an où la température intérieure dépasse un certain seuil (ex : la valeur de 28°C) dans les zones de travail, en lien avec les recommandations de l'INRS et l'Art. R.4213-7 du Code du travail ? - Existe-t-il une température fonctionnelle critique (Tf) à ne pas dépasser pour garantir la continuité de fonctionnement d'équipements (par exemple de climatisation des serveurs) ou de procédés sensibles ? Si oui, laquelle ?
Feux de forêt
- Quel est le flux thermique (FTm) maximal admissible au droit des façades, exprimé en kW/m², pour garantir l'intégrité structurelle et la sécurité des occupants ? - Quelles fonctions critiques doivent impérativement rester opérationnelles en cas d'incendie, et pour quelle durée de continuité est-elle requise (en heures ou jours) ?
Inondation
- Des équipements techniques (ex. chaudière, serveurs), sont-ils positionnés dans des espaces possiblement submersibles (ex. sous-sol) ? - Jusqu'à quelle hausse du niveau marin la résistance à la submersion est-elle exigée pour préserver les équipements ou fonctions critiques ? - Le bâtiment est-il conçu pour intégrer des zones inondables temporairement et réversiblement, sans atteinte durable à la continuité de service ? Si non, est-ce envisageable ?
Tempêtes
- Sur quel scénario climatique de référence (ex. RCP 4.5 ou RCP 8.5) le projet dimensionne-t-il la résistance du bâti face à des vitesses de vent extrêmes dépassant les exigences de l'EUROCODE 1 (EN 1991-1-4) ? - Quels équipements ou fonctions vitales doivent être maintenus opérationnels même en cas de tempête avec une vitesse de vent ≥ 160 km/h, et selon quelle logique d'échéance (temps de redémarrage / autonomie énergétique) ?
Retrait-gonflement des argiles
- Certaines installations critiques (machines de précision, robots industriels) nécessitent-elles une stabilité des appuis (ex. avec tolérance < 5 mm/m²) ? - La planéité des sols est-elle essentielle au bon fonctionnement de l'activité (chariots, AGV, robots) et comment est-elle actuellement garantie ?

Mouvements de terrain

- Le site dispose-t-il d'une cartographie précise (SIG) des zones de glissement ou d'instabilité potentielle intégrée dans les plans d'évacuation ?
- Certains équipements ou stocks stratégiques sont-ils exposés à des zones de terrain remanié, et une stratégie d'évitement est-elle envisagée à court ou moyen terme ?