LE BÂTIMENT FACE AUX ALÉAS CLIMATIQUES

GUIDE DES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

JANVIER 2024

OID
ŒUVRER POUR L'IMMOBILIER DURABLE

ÉDITORIAL



JÉRÔME DUVERNOY, OBSERVATOIRE NATIONAL DES EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

« ***Nous devons redoubler d'efforts pour préparer le parc immobilier européen à résister aux effets du changement climatique*** » rappelle la stratégie de l'Union européenne pour l'adaptation au changement climatique publiée le 24 février dernier.

Initié par la révolution industrielle au milieu du XIX^{e} siècle, avec l'usage de combustibles fossiles, le changement climatique est une réalité indiscutable. Si l'augmentation de la température, la fonte des glaciers ou la montée du niveau des mers en sont les preuves les plus visibles, le changement climatique s'accompagne et s'accompagnera aussi de changements importants dans le régime des précipitations et dans la fréquence et la sévérité des événements extrêmes. Ces transformations ont déjà de forts impacts dans tous les secteurs socio-économiques et sur l'environnement naturel mondial. Or, quels que soient nos efforts actuels de réduction des gaz à effets de serre, l'évolution du climat des quinze à vingt prochaines années est déjà écrite par les émissions passées du fait de l'inertie du système climatique. Toutefois, ne perdons pas de vue qu'une réduction des émissions de gaz à effet de serre importante se reflète, à terme, par des conséquences plus faibles sur notre climat et donc facilite d'autant l'adaptation aux impacts du changement climatique. Actions d'adaptation et d'atténuation doivent donc être menées parallèlement et de manière cohérente.

En charge de la politique d'adaptation au changement climatique au sein du ministère de la transition écologique, l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC) s'est naturellement rapproché de l'Observatoire de l'Immobilier Durable pour l'accompagner dans ses travaux tels que : Bat-ADAPT, le MOOC Adaptation des bâtiments au changement climatique ou le présent guide des actions adaptatives de l'immobilier.

En plus de proposer des pistes d'actions concrètes aux acteurs qui souhaitent adapter leurs bâtiments aux risques climatiques auxquels ils sont exposés, puisse ce Guide contribuer également à réduire la vulnérabilité de ses occupants aux impacts grandissants du changement climatique.

INTRODUCTION

Les experts ne cessent de le répéter : les émissions de gaz à effet de serre provenant des activités humaines engendrent une évolution du climat sans équivoque et inquiétante par sa rapidité. Les conséquences se font d'ores et déjà ressentir notamment par les températures moyennes enregistrées ces dernières années. En France, les épisodes extrêmes ne font qu'augmenter : l'été 2023 est classé comme le quatrième été le plus chaud depuis 1900, derrière les étés de 2003 et 2022, et quasiment équivalent avec l'été 2018[1]. Ce réchauffement indéniable engendre des modifications sans précédent des cycles naturels régulateurs du climat (cycle du carbone, cycle de l'eau, etc.) entraînant une intensification des événements météorologiques extrêmes.

Le Résumé à l'intention des décideurs[2] de la contribution du Groupe de travail II au sixième rapport d'évaluation du GIEC[3] (Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), publié en février 2022, souligne de manière indiscutable que le changement climatique représente une menace sérieuse pour le bien-être humain et la santé de la planète. **Tout retard supplémentaire dans l'action mondiale concertée en matière d'adaptation et d'atténuation risquera de rater une brève fenêtre d'opportunité pour assurer un avenir vivable et durable pour tous.** Le rapport met en avant l'importance de prendre des mesures intégrées pour renforcer la résilience climatique, soulignant spécifiquement l'urgence de décisions concernant les environnements bâtis, tant neufs qu'existants.

Le secteur immobilier est particulièrement vulnérable aux risques physiques associés au changement climatique. Les bâtiments actuellement construits devront faire face à un climat nouveau, plus instable et marqué par des événements météorologiques extrêmes en raison de leur longue durée de vie. Le secteur du bâtiment joue un rôle crucial dans la mise en place d'initiatives d'adaptation en France, en tant que secteur économique majeur et acteur territorial.

Pour la seule année 2022, le réassureur allemand Munich Re évalue le coût des catastrophes naturelles à 270 milliards de dollars au niveau mondial[4]. Alors que les coûts de la non-adaptation sont assumés à ce jour principalement par les assureurs, l'augmentation de l'ampleur et de la fréquence des évènements va reporter de plus en plus le coût de la non-adaptation sur les acteurs de l'immobilier et du territoire (par le biais de l'augmentation du prix des primes ou de l'existence de clauses de non-assurance pour des biens très exposés aux aléas climatiques)[5]. **Il est essentiel d'initier une démarche d'adaptation du parc immobilier pour limiter les coûts futurs**, qu'ils soient assuranciels ou liés à une reconstruction après un sinistre, bien souvent plus conséquents que l'adaptation par anticipation. Cependant, la résilience des bâtiments face au changement climatique est encore insuffisamment prise en compte par les acteurs immobiliers et du territoire qui, pour la plupart, n'ont pas connaissance des ressources existantes en termes d'adaptation.

[1] *Météo-France (2023), Bilan climatique de l'été 2023*

[2] *IPCC (2022), Summary for Policymakers - Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*

[3] *IPCC (2022), Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*

[4] *Munich RE (2023), Le changement climatique et La Niña causent des dégâts : le bilan des catastrophes naturelles de 2022*

[5] *Association Française de l'Assurance (2015), Risques climatiques : quel impact sur l'assurance contre les aléas naturels à l'horizon 2040 ?*

LES OBJECTIFS DU GUIDE

FOURNIR
les clés de compréhension des enjeux de l'adaptation au changement climatique pour le bâtiment

CONTRIBUER
à la mise en place d'actions adaptatives concrètes et opérationnelles

ORIENTER
les acteurs vers des actions adaptées à leurs besoins et aux caractéristiques de leurs bâtiments

INSPIRER
les acteurs pour leur stratégie d'adaptation sur le développement de projets neufs ou existants

AIDER
au suivi de la stratégie d'adaptation

FACILITER
le respect de la Taxinomie Européenne

LES TRAVAUX DE L'OID PERMETTENT D'ACCÉLÉRER L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DES BÂTIMENTS, EN PARTICULIER À TRAVERS :

LE GROUPE DE TRAVAIL

Un groupe de travail Adaptation au changement climatique lancé en 2019 par l'OID, rassemblant plus d'une trentaine d'acteurs réfléchit activement aux leviers existants ou à développer pour se saisir de ces problématiques. Les actions retenues pour le guide des actions adaptatives sont le fruit de ce travail de réflexion, de plusieurs ateliers interactifs, ainsi que d'échanges avec des experts.

LA PLATEFORME CARTOGRAPHIQUE D'ANALYSE DE RÉSILIENCE R4RE

Elle comprend un **outil d'analyse de risques climatiques** en France et en Europe, **Bat-ADAPT**, ainsi qu'un **outil d'analyse des risques biodiversité**, **BIODI-Bat**. Elle sera bientôt enrichie d'un nouveau volet d'analyse de risques climatiques adapté aux collectivités territoriales, **Bat-ADAPT Territoires.**

Accessible ici

LES RECOMMANDATIONS D'ACTIONS ADAPTATIVES DANS BAT-ADAPT

Des recommandations d'actions adaptatives à mettre en place sont proposées sur Bat-ADAPT. L'évaluation des solutions s'articule autour du **score de résilience** défini à partir des solutions mises en place ou à objectif prévu dans les 5 ans et de la **marge de manœuvre** définie à partir des solutions pas encore planifiées ou en retard.



LE GUIDE DES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Ce guide comprend **44 fiches d'actions adaptatives** et **5 fiches « Conditions Sine Qua Non »** détaillant les conditions essentielles à respecter pour une mise en œuvre réussie des actions adaptatives. Il enrichit l'outil Bat-ADAPT en offrant des solutions concrètes aux acteurs souhaitant adapter leurs bâtiments aux risques climatiques. Dans une approche combinée d'adaptation et d'atténuation, ces actions visent à **réduire la vulnérabilité des bâtiments face aux aléas**, tout en adoptant une démarche sobre par la réappropriation de savoir-faire ancien et de méthodes bioclimatiques et de solutions fondées sur la nature. Plutôt que de privilégier des actions isolées aux effets limités, le guide encourage une **approche systémique avec une stratégie d'adaptation intégrant de multiples actions**, basée sur un diagnostic de risque spécifique.

LE CALCUL DU RISQUE CLIMATIQUE

Le risque climatique auquel est soumis un bâtiment dépend de l'exposition aux différents aléas climatiques qui vont l'affecter et de la vulnérabilité du bâtiment face à cet aléa. Pour un aléa climatique défini, l'exposition climatique se mesure par la nature, l'intensité et la fréquence de l'aléa ainsi que par des facteurs environnementaux qui vont l'aggraver ou l'atténuer. La vulnérabilité du bâtiment est, elle, dépendante de la sensibilité du bâtiment (composantes techniques tels que les choix de construction) et de ses enjeux d'usage, qui incluent les mesures d'adaptation, les processus de gestion de crise et les paramètres économiques et sociaux qui impactent les processus de gestion post-crise. Le risque de l'aléa climatique peut dès lors être évalué à partir d'une analyse croisée de l'exposition et de la vulnérabilité.

RISQUE DE L'ALÉA CLIMATIQUE =

EXPOSITION		x	VULNÉRABILITÉ	
Aléa climatique	Autres facteurs environnementaux		Sensibilité	Enjeux d'usage
Nature de l'aléa climatique, intensité, lieu et fréquence (probabilité et durée)	Facteurs aggravant et atténuant liés à l'environnement		Critères techniques tels que les choix de construction, la fiabilité des réseaux et les mesures d'amélioration de la résilience	Capacités de gestion de crise et difficultés à faire face en raison de facteurs économiques sociaux ou démographiques

BÂTIR UNE STRATÉGIE D'ADAPTATION

Que vous soyez au stade avancé, initial ou que vous n'ayez pas encore entamé de votre stratégie d'adaptation, voici quelques étapes pour intégrer l'ensemble des problématiques et mener à bien les objectifs fixés. Le guide est un outil qui pourra vous permettre de faciliter certaines de ces étapes.

1. PHASE DE CADRAGE ET SENSIBILISATION

La première phase de la stratégie d'adaptation implique une analyse prospective en amont pour **définir et communiquer aux parties prenantes** les raisons pour lesquelles la stratégie est initiée. Cette étape de cadrage et de définition des enjeux guide le reste de la stratégie selon la perception les acteurs impliqués. Une **sensibilisation interne initiale** permet d'embarquer plus facilement les parties prenantes et de favoriser leur consultation pour la suite. Il est ensuite nécessaire de définir le périmètre d'application de la stratégie d'adaptation, pouvant concerner quelques actifs ou projets pilotes jusqu'à l'intégralité de l'activité et/ou d'un périmètre d'action, selon les choix politiques effectués préalablement (aléas prioritaires selon la situation géographique, ressources financières disponibles, etc.).

2. LES DIAGNOSTICS DE RISQUES

L'étape suivante est le diagnostic, qui se divise en deux phases : l'**analyse de risque** et le **diagnostic de maturité**. L'analyse de risque évalue l'ensemble du parc en identifiant les menaces climatiques en fonction des différents aléas *(cf. critère Do No Significant Harm (DNSH) 1 « Identification des aléas de l'adaptation » dans la Taxinomie Européenne)*. Elle repose d'abord sur une cartographie des risques climatiques, puis sur une analyse des sensibilités (ou vulnérabilités) des bâtiments. Ces résultats sont ensuite croisés pour obtenir une analyse de risques globale sur la base de projections climatiques sur des horizons temporels et scénarios cohérents pour l'avenir par rapport à la durée estimée de l'activité *(cf. critère DNSH 2 « Evaluation des risques et vulnérabilités » de l'adaptation dans la Taxinomie Européenne)*. Après l'établissement d'une liste d'actifs prioritaires à adapter, des audits sur les bâtiments doivent être effectués pour vérifier la validité des données du diagnostic de risque et des informations sur les caractéristiques des bâtiments. Parfois, une solution apparemment adéquate peut être remise en question en raison de contraintes techniques non identifiées lors de la collecte des données. Les actions envisagées peuvent également être choisies en fonction des plans d'investissement existants, afin de créer une feuille de route cohérente avec les autres travaux planifiés.

POUR VOUS AIDER

Cartographie et analyse de risques de Bat-ADAPT

3. ÉLABORATION DU PLAN D'ADAPTATION

Sur la base de ces diagnostics, l'**élaboration d'un plan d'adaptation** devient essentielle pour répondre efficacement aux enjeux des actifs concernés (*cf. critère DNSH 3 « Evaluation des solutions d'adaptation » de l'adaptation dans la Taxinomie Européenne*). Les résultats permettent de prioriser les actions adaptatives dans le cadre d'une stratégie multirisques, en privilégiant des actions pouvant remédier à plusieurs aléas simultanément ou offrant des avantages liés à d'autres co-bénéfices tels que le confort, le bien-être, la santé, ou la préservation de la biodiversité.

POUR VOUS AIDER

Recommandations d'actions adaptatives dans Bat-ADAPT

4. VÉRIFICATIONS DE LA PERTINENCE DE LA STRATÉGIE

Le choix des solutions d'adaptation et leur mise en œuvre doivent suivre plusieurs critères afin que la stratégie d'adaptation soit la plus pertinente (*cf. critère DNSH 3 et Critère contribution substantiel (CCS) « Solutions d'adaptation et suivi » de l'adaptation dans la Taxinomie Européenne*).

Vérification d'absence de maladaptation

La maladaptation désigne un processus d'adaptation qui résulte directement en un accroissement de la vulnérabilité à la variabilité et au changement climatiques et/ou en une altération des capacités et des opportunités actuelles et futures d'adaptation[1]. De nombreuses initiatives privilégient une diminution immédiate du risque, adoptant ainsi une perspective à court terme. Cette approche restreint les possibilités d'engager une transformation significative au sein de nos sociétés. Pour éviter la maladaptation, il est essentiel d'opter pour une planification à long terme, multisectorielle et inclusive.

La réponse à ces 4 questions doit être négative pour éviter la maladaptation :

Cette action peut–elle engendrer un report de vulnérabilité temporel ?

Cette action peut–elle engendrer un report de vulnérabilité spatial ?

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 ?

POUR VOUS AIDER

Encadrés « Maladaptation » dans ce guide

Priorisation des Solutions d'Adaptation Fondées sur la Nature (SAFN)

Les actions à systématiquement prioriser dans un plan d'adaptation sont les **Solutions d'Adaptation Fondées sur la Nature (SAFN)** (*cf. recommandation du GIEC, du CESE et DNSH 3/ CSS de l'adaptation dans la Taxinomie Européenne*), dans la mesure du possible. Les **Solutions fondées sur la Nature (SFN)** ont été définies par l'UICN comme des actions qui s'appuient sur les écosystèmes pour relever des défis sociétaux tout en permettant de préserver, améliorer et restaurer la biodiversité. Lorsqu'une SFN est mise en œuvre dans un objectif d'adaptation au changement climatique on parle alors de solutions d'adaptation fondées sur la nature (SAFN). Outre les plus-values pour la biodiversité, avoir recours aux SAFN plutôt que des solutions technologiques permet de s'orienter vers des pratiques plus sobres en réduisant les besoins en ressources matérielles et énergétiques.

POUR VOUS AIDER

Fiches SAFN et fiches *sine qua non* dans ce guide

Cohérence des stratégies et plans d'adaptation

L'un des forts enjeux de cohérence réside également dans l'adéquation entre la **stratégie d'adaptation d'un bâtiment et la stratégie d'adaptation du territoire** sur lequel il est implanté. En France, pour assurer la vérification de cette cohérence, il faut consulter le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique en vigueur (PNACC-3), les Plans Régionaux d'Adaptation au Changement Climatique le cas échéant (exemple : PRACC IDF), les Plan climat-air-énergie territorial (PCAET) et les Plan Local Urbanisme (PLU) (exemple : PLU Bioclimatique à Paris).

5. SUIVI ET AJUSTEMENTS

Pour garantir le succès de la stratégie, un **suivi régulier avec des indicateurs définis, des objectifs et des actions correctives dans le cas où les objectifs ne seraient pas atteints** est essentiel (*cf. Critère CCS de l'adaptation dans la Taxinomie Européenne*), tout comme la formation et le soutien continu des équipes opérationnelles chargées de mettre en œuvre les actions. Il est crucial d'assigner une personne ou un service interne responsable du pilotage de la stratégie, assurant des alertes en cas d'écart par rapport au plan établi et ajustant éventuellement les objectifs en fonction de l'évolution des ambitions, des connaissances climatiques, et des avancées techniques. Après quelques années, il peut être recommandé de réaliser un nouveau diagnostic de risque pour évaluer l'évolution de la résilience des actifs. Cette démarche peut être suivie d'une évaluation critique de la stratégie, au regard de l'évolution des connaissances et compétences sur l'adaptation.

POUR VOUS AIDER

Page «Repères de suivi» dans ce guide : indicateurs de suivi et interprétation, encadrés notion/définition, réglementation/critère et outil. Score de résilience et calcul d'une marge de manœuvre dans Bat-ADAPT.

1- IDDRI, Magnan, A. (2013), Éviter la maladaptation au changement climatique, Climat Policy brief n°08/13

CONSEILS DE NAVIGATION

SOLUTION ADAPTATIVE FONDÉE SUR LA NATURE (SAFN)

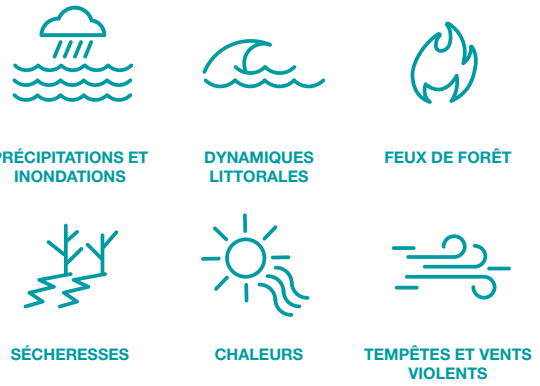
Les solutions d'adaptation mises en œuvre doivent privilégier les solutions fondées sur la nature ou s'appuyer, dans la mesure du possible, sur des infrastructures bleues ou vertes. Les SAFN sont signalisées par le pictogramme suivant.

THÉMATIQUES

- 0 CONDITIONS SINE QUA NON
- 1 STRUCTURE, MATÉRIAUX ET COMPOSANTS
- 2 CONDITIONS DE SANTÉ ET DE CONFORT
- 3 SITE ET TERRAIN
- 4 USAGES ET COMPORTEMENTS
- 5 RÉSEAUX, INFRASTRUCTURES ET SERVICES

Le Guide est structuré autour de cinq grandes thématiques qui recouvrent des leviers de résilience à la fois très différents mais tous intrinsèquement liés au bâtiment.

ALÉAS



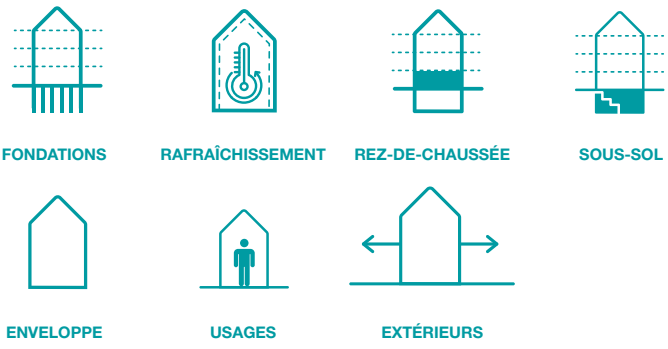
Une lecture par aléas est également possible pour permettre aux acteurs ayant déjà identifié les principaux risques climatiques de leurs actifs d'adopter une lecture par aléa climatique pour voir l'ensemble des actions possibles.

ÉTAPES DE MISE EN ŒUVRE



Les actions proposées couvrent l'ensemble du cycle de vie du bâtiment, mais certaines sont plus adaptées à certaines étapes que d'autres. Ces informations sont représentées sur les fiches actions.

PARTIES DU BÂTIMENT



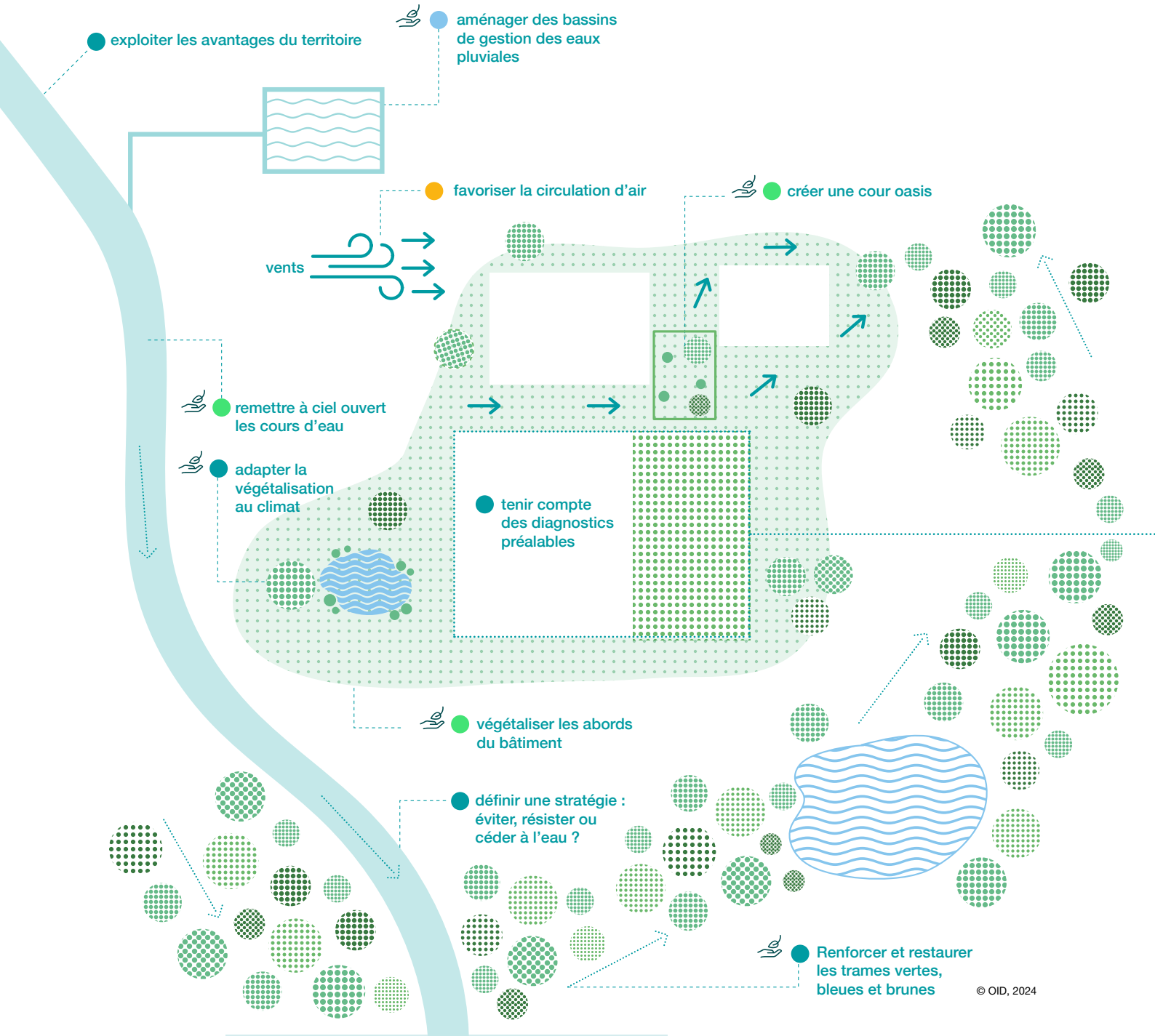
Pour cibler directement les actions adaptées aux caractéristiques de sensibilité du bâtiment, chaque fiche action renseigne les parties du bâtiments concernées.

LES FICHES ACTIONS ADAPTATIVES viennent en complément des mesures de prévention et de protection du bâtiment et des populations d'ores et déjà obligatoires. Le panel d'actions identifiées est non exhaustif et aura vocation à évoluer au fur et à mesure que les connaissances sur les aléas et actions d'adaptation seront consolidées. Enfin, certains aléas n'ont pas été pris en compte, ou seulement de manière partielle, dans cette première version du guide (averses de grêle, fortes pluies, etc.). Ils peuvent également avoir un impact significatif sur les bâtiments et ne doivent pas être négligés.

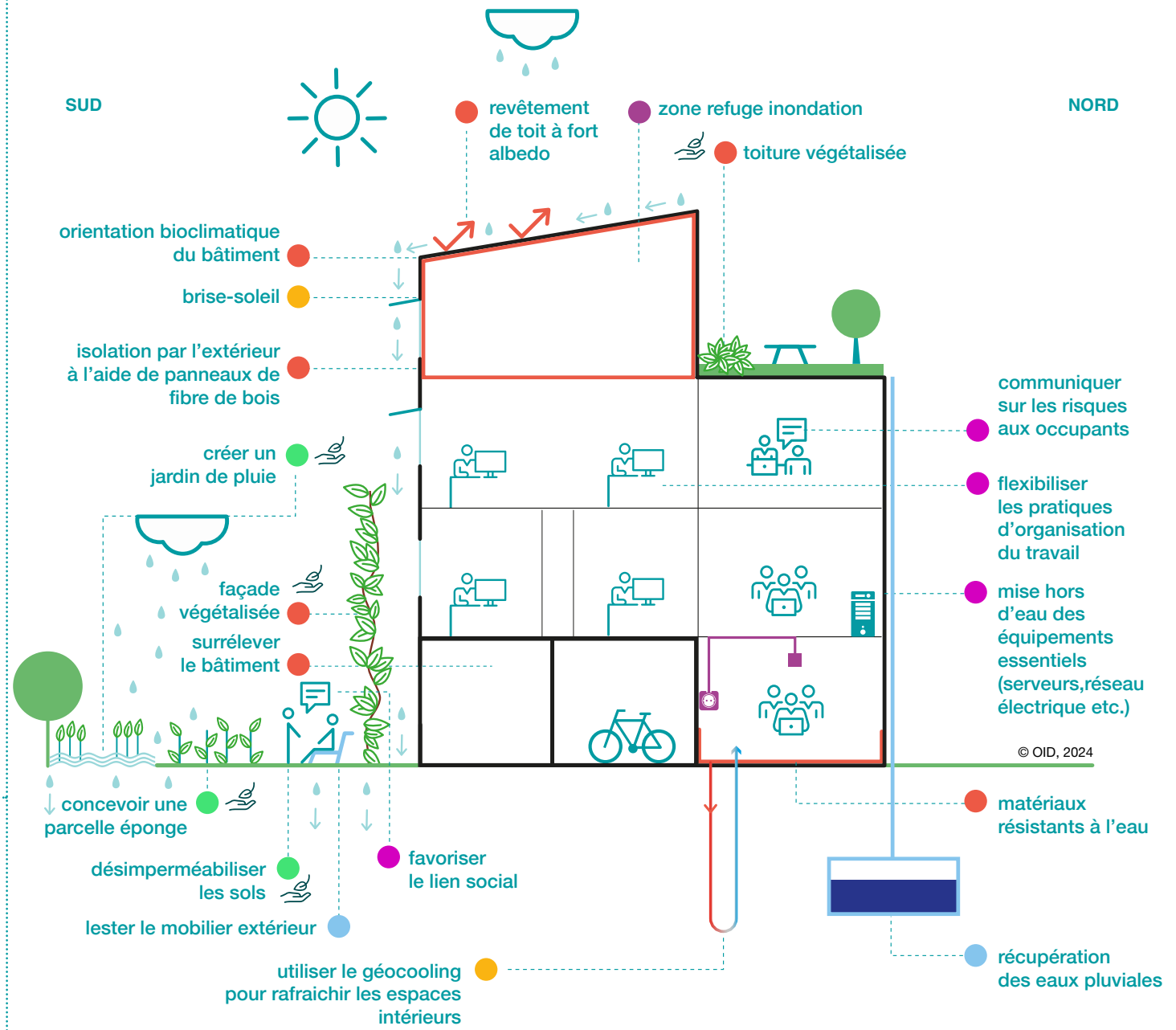
FICHES ACTIONS ADAPTATIVES

0
1
2
3
4
5

QUELQUES IDÉES POUR ADAPTER UN BÂTIMENT AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Localisé à proximité d'un cours d'eau et dans une zone urbanisée, ce bâtiment à usage tertiaire est particulièrement confronté aux problématiques liées aux vagues de chaleur et inondations. Comme vous, nous avons réfléchi à une conception idéale.



- CONDITIONS SINE QUA NON
- STRUCTURE, MATÉRIAUX ET COMPOSANTS
- CONDITIONS DE SANTÉ ET DE CONFORT
- SITE ET TERRAIN
- USAGES ET COMPORTEMENTS
- RÉSEAUX, INFRASTRUCTURES ET SERVICES
- SOLUTION ADAPTATIVE FONDÉE SUR LA NATURE (SAFN)

SOMMAIRE PAR THÉMATIQUE

0 CONDITIONS *SINE QUA NON*

- Exploiter les avantages du territoire 16
- Renforcer et restaurer les trames vertes, bleues et brunes 18
- Adapter la végétation au climat 20
- Tenir compte des diagnostics préalables 22
- Définir une stratégie : éviter, résister ou céder à l'eau ? 24

1 STRUCTURE, COMPOSANTS ET MATÉRIAUX

- Adapter les fondations 26
- Choisir des revêtements de murs et de toits à fort albédo 29
- Choisir des revêtements de voirie à fort albédo 32
- Créer une toiture végétalisée 35
- Désolidariser les éléments de structure 38
- Installer des dispositifs anti-eau 41
- Limiter la prise au vent des équipements 44
- Améliorer l'isolation et l'inertie des parois opaques 47
- Orienter le bâtiment et les espaces 50
- Rigidifier la structure 53
- Surélever les élements de structure 56
- Utiliser des matériaux résistants à l'eau 59
- Végétaliser la façade 62

2 CONDITIONS DE SANTÉ ET DE CONFORT

- Favoriser la circulation de l'air d'un quartier 65
- Installer des dispositifs de protection solaire 68
- Limiter et adapter les parois vitrées 71
- Rafraîchir les espaces intérieurs par le sol 74
- Rafraîchir les espaces intérieurs par méthodes adiabatiques 77
- Rafraîchir les espaces intérieurs par ventilation 80

3 SITE ET TERRAIN

- Limiter les variations du taux d'humidité du sol 83
- Créer et exploiter des points d'eau artificiels 86
- Désimperméabiliser les sols 89
- Végétaliser les abords du bâtiment 92
- Aménager une cour oasis 95
- Concevoir une parcelle éponge 98
- Créer un jardin de pluie 101
- Restaurer un cours d'eau 104
- Organiser une stratégie de repli permanent 107
- Organiser une gestion intégrée du trait de côte 110

4 USAGES ET COMPORTEMENTS

- Choisir des équipements à faible émission de chaleur 113
- Communiquer sur les risques aux occupants 116
- Concentrer les équipements et activités essentiels aux étages supérieurs 119
- Favoriser le lien social 122
- Mettre en place des dispositifs de secours 125
- Flexibiliser les pratiques d'organisation du travail 128
- Organiser une stratégie de repli temporaire 131

5 RÉSEAUX, SERVICES ET INFRASTRUCTURES

- Aménager des bassins de gestion des eaux pluviales 134
- Dimensionner la gestion des eaux pluviales sur la parcelle 137
- Favoriser l'autoconsommation électrique 140
- Fixer le mobilier d'extérieur 143
- Mettre en place un maillage efficace des réseaux 146
- Protéger les réseaux 149
- Réemployer les eaux pluviales 152
- Se raccorder au réseau de froid urbain 155

SOMMAIRE PAR ALÉA

CHALEURS

- Choisir des revêtements de murs et de toits à fort albédo 29
- Choisir des revêtements de voirie à fort albédo 32
- Créer une toiture végétalisée 35
- Améliorer l'isolation et l'inertie des parois opaques 47
- Orienter le bâtiment et les espaces 50
- Végétaliser la façade 62
- Favoriser la circulation de l'air d'un quartier 65
- Installer des dispositifs de protection solaire 68
- Limiter et adapter les parois vitrées 71
- Rafraîchir les espaces intérieurs par le sol 74
- Rafraîchir les espaces intérieurs par méthodes adiabatiques 77
- Rafraîchir les espaces intérieurs par ventilation 80
- Créer et exploiter des points d'eau artificiels 86
- Désimperméabiliser les sols 89
- Végétaliser les abords du bâtiment 92
- Aménager une cour oasis 95
- Concevoir une parcelle éponge 98
- Créer un jardin de pluie 101
- Restaurer un cours d'eau 104
- Choisir des équipements à faible émission de chaleur 113
- Communiquer sur les risques aux occupants 116
- Favoriser le lien social 122
- Mettre en place des dispositifs de secours 125
- Flexibiliser les pratiques d'organisation du travail 128
- Organiser une stratégie de repli temporaire 131
- Aménager des bassins de gestion des eaux pluviales 134
- Favoriser l'autoconsommation électrique 140
- Mettre en place un maillage efficace des réseaux 146
- Protéger les réseaux 149
- Réemployer les eaux pluviales 152
- Se raccorder au réseau de froid urbain 155

SÉCHERESSES

- Adapter les fondations 26
- Désolidariser les éléments de structure 38
- Rigidifier la structure 53
- Limiter les variations du taux d'humidité du sol 83
- Aménager une cour oasis 95
- Concevoir une parcelle éponge 98
- Créer un jardin de pluie 101
- Communiquer sur les risques aux occupants 116
- Favoriser le lien social 122
- Mettre en place un maillage efficace des réseaux 146
- Protéger les réseaux 149
- Réemployer les eaux pluviales 152

TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS

- Limiter la prise au vent des équipements 44
- Orienter le bâtiment et les espaces 50
- Végétaliser les abords du bâtiment 92
- Communiquer sur les risques aux occupants 116
- Favoriser le lien social 122
- Mettre en place des dispositifs de secours 125
- Organiser une stratégie de repli temporaire 131
- Favoriser l'autoconsommation électrique 140
- Fixer le mobilier d'extérieur 143
- Mettre en place un maillage efficace des réseaux 146
- Protéger les réseaux 149

PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS

- Adapter les fondations 26
- Créer une toiture végétalisée 35
- Installer des dispositifs anti-eau 41
- Surélever les éléments de structure 56
- Utiliser des matériaux résistants à l'eau 59
- Végétaliser la façade 62
- Désimperméabiliser les sols 89
- Végétaliser les abords du bâtiment 92
- Aménager une cour oasis 95
- Concevoir une parcelle éponge 98
- Créer un jardin de pluie 101
- Restaurer un cours d'eau 104
- Communiquer sur les risques aux occupants 116
- Concentrer les équipements et activités essentiels aux étages supérieurs 119
- Favoriser le lien social 122
- Mettre en place des dispositifs de secours 125
- Organiser une stratégie de repli temporaire 131
- Aménager des bassins de gestion des eaux pluviales. 134
- Dimensionner la gestion des eaux pluviales sur la parcelle 137
- Favoriser l'autoconsommation électrique 140
- Fixer le mobilier d'extérieur 143
- Mettre en place un maillage efficace des réseaux 146
- Protéger les réseaux 149
- Réemployer les eaux pluviales 152

DYNAMIQUES LITTORALES

- Adapter les fondations 26
- Installer des dispositifs anti-eau 41
- Surélever les éléments de structure 56
- Utiliser des matériaux résistants à l'eau 59
- Aménager une cour oasis 95
- Concevoir une parcelle éponge 98
- Organiser une stratégie de repli permanent 107
- Organiser une gestion intégrée du trait de côte 110
- Communiquer sur les risques aux occupants 116
- Concentrer les équipements et activités essentiels aux étages supérieurs 119
- Favoriser le lien social 122
- Mettre en place des dispositifs de secours 125
- Organiser une stratégie de repli temporaire 131
- Favoriser l'autoconsommation électrique 140
- Fixer le mobilier d'extérieur 143
- Mettre en place un maillage efficace des réseaux 146
- Protéger les réseaux 149

FEUX DE FORÊT

- Communiquer sur les risques aux occupants 116
- Favoriser le lien social 122
- Mettre en place des dispositifs de secours 125
- Organiser une stratégie de repli temporaire 131
- Aménager des bassins de gestion des eaux pluviales. 134
- Mettre en place un maillage efficace des réseaux 146
- Protéger les réseaux 149
- Réemployer les eaux pluviales 152

EXPLOITER LES AVANTAGES DU TERRITOIRE

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS

DYNAMIQUES LITTORALES

SÉCHERESSES

CHALEURS

COÛT

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

L'environnement immédiat du bâtiment joue un rôle fondamental dans sa capacité à résister aux aléas climatiques. Certains éléments du territoire et du terrain peuvent représenter des facteurs de risque, tels que des sols imperméabilisés ou des vents forts. Cependant, d'autres éléments peuvent constituer de véritables facteurs de résilience, comme la présence de points d'eau ou de reliefs naturels. Au lieu d'adapter le terrain pour convenir au bâtiment, une approche innovante consiste à adapter le bâtiment au terrain. Cette approche va à l'encontre des pratiques courantes et vise à tirer parti des caractéristiques positives du territoire pour renforcer la durabilité et la résistance des constructions.

IMPACTS

Face à l'intensification et à la multiplication des aléas climatiques, tels que les vagues de chaleur, les inondations et les tempêtes, identifier et exploiter les avantages du territoire revêt une importance cruciale. Cela **renforce la résilience du bâtiment** en protégeant l'intégrité du bâti (structures, équipements, etc.) ainsi que la **sécurité et le confort de ses occupants** face au changement climatique.

L'adaptation d'un bâtiment au terrain et l'architecture bioclimatique sont souvent utilisées de manière complémentaire pour créer des bâtiments durables. Un bâtiment à architecture bioclimatique est un bâtiment dont l'implantation et la conception prennent en compte, au moment de la conception et donc avant même la construction, le **climat et l'environnement immédiat**, afin de **réduire les besoins en énergie** pour le chauffage, le refroidissement, l'éclairage et d'être **mieux adapté aux risques climatiques**. Cette architecture peut également prendre en compte les **besoins en mise hors d'eau ou la nature des sols**. L'architecture bioclimatique vise également à utiliser le moins possible des moyens techniques mécanisés et de l'énergie extérieure au site. Cette double approche, en **réduisant l'impact environnemental** du bâtiment et en diminuant la facture énergétique, incarne une démarche durable et économiquement avantageuse.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Identifier les caractéristiques de la région et du terrain : il s'agit d'approfondir la compréhension des caractéristiques climatiques locales et de mener une analyse détaillée du terrain. Cela implique d'identifier la présence de reliefs, de végétation, la direction des vents dominants, l'ensoleillement estival, et bien d'autres éléments.

Bien implanter et orienter le bâtiment : en fonction des caractéristiques topographiques précédemment identifiées, il est essentiel de planifier soigneusement l'emplacement et l'orientation du bâtiment. L'objectif est de minimiser l'impact des facteurs de risque tout en exploitant les avantages offerts par le site. Par exemple, l'implantation du bâtiment à proximité d'un point d'eau ou de végétation permettra d'apporter de la fraîcheur aux occupants. Sur un terrain en pente, il peut être avantageux de concevoir un bâtiment partiellement enterré pour le protéger des vents dominants et des variations de température. En milieu urbain, la structure et la disposition des bâtiments alentours peuvent également être utilisées pour améliorer la résilience du bâtiment (ombre projetée par exemple).



Maison souterraine (Druidston Haven, Grande Bretagne)

Utiliser les ressources disponibles pour les apports en froid et en chaud : de nombreux terrains disposent de ressources qui peuvent être exploitées pour un refroidissement passif ou semi-passif du bâtiment. Par exemple, la proximité d'une nappe phréatique peut constituer un atout pour la mise en œuvre de systèmes de géothermie. Il est important de tirer parti de ces ressources naturelles pour réduire la dépendance aux systèmes de chauffage et de refroidissement traditionnels, ce qui favorise la résilience aux variations climatiques.

En plus de ces actions, une architecture est considérée comme bioclimatique si elle remplit plusieurs de ces critères :

- L'**orientation du site** a été pensée afin de préserver le confort thermique d'hiver comme d'été, pour le climat d'aujourd'hui et des années à venir. Il faut pour cela maximiser l'ensoleillement durant l'hiver tout en protégeant le bâtiment du rayonnement solaire d'été,
- Les **matériaux** utilisés pour la construction ou réhabilitation/rénovation sont de **source naturelle** (bois, paille, terre crue ou cuite, chanvre…),
- L'**autonomie en énergie et en eau** est maximisée, à l'aide de sources d'énergie renouvelable et de système de récupération des eaux pluviales,
- Les **risques climatiques** sont pris en compte et le bâtiment y est adapté, avec une projection selon les scénarios du GIEC,
- Les **moyens de chauffage et de rafraichissement** sont le plus sobre possible.

FREINS ET LEVIERS

⊕ Il est plus simple d'exploiter les avantages du territoire dans le cadre de la **construction neuve** car il est possible de jouer sur l'implantation du bâti.

⊖ Cette action nécessite souvent une **emprise foncière libre importante** pour d'exploiter les caractéristiques du terrain. Ainsi, cette solution adaptative peut être difficile à mettre en place dans les zones fortement urbanisées.

⊖ Il est important de prendre en compte tous les aléas climatiques auxquels le bâtiment est exposé et les avantages et inconvénients de chacune des caractéristiques du terrain. Certaines caractéristiques du terrain peuvent constituer à la fois un facteur de résilience et de risque selon l'aléa étudié ; la présence d'**arbres** à proximité du bâtiment peut permettre de limiter les apports solaires directs mais peut aussi **déséquilibrer le taux d'humidité du sol** et causer des désordres dans le bâti si le terrain est propice au retrait-gonflement des argiles.

EN SAVOIR PLUS

ADEME (2022), Faire la ville dense, durable et désirable

Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (2023), Guide de l'aménagement durable

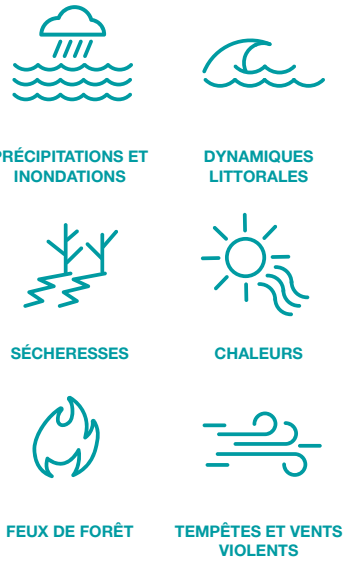
Guide bâtiment durable Brussels (2016), Implantation et forme des bâtiments : quels choix influencent les effets du vent ?

OID (2022), L'architecture bioclimatique et les constructions traditionnelles

The Shift Project (2022), Climat, crises : comment transformer nos territoires

RENFORCER ET RESTAURER LES TRAMES VERTES, BLEUES ET BRUNES

ALÉA



COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

Les trames représentent des réservoirs de biodiversité connectés les uns par rapport aux autres par des corridors écologiques continus ou discontinus. On parle de trames verte, bleue et brune pour définir les continuités écologiques végétales, aquatiques et des sols. Certaines sont identifiées par les schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE) ainsi que par les documents de planification à l'échelle nationale et locale. Renforcer et restaurer ces trames revient donc à reconnecter des espaces végétalisés, aquatiques et sols non artificialisés entres eux en en créant de nouveaux dans la continuité des espaces existants ou bien en restaurant des sites existants.

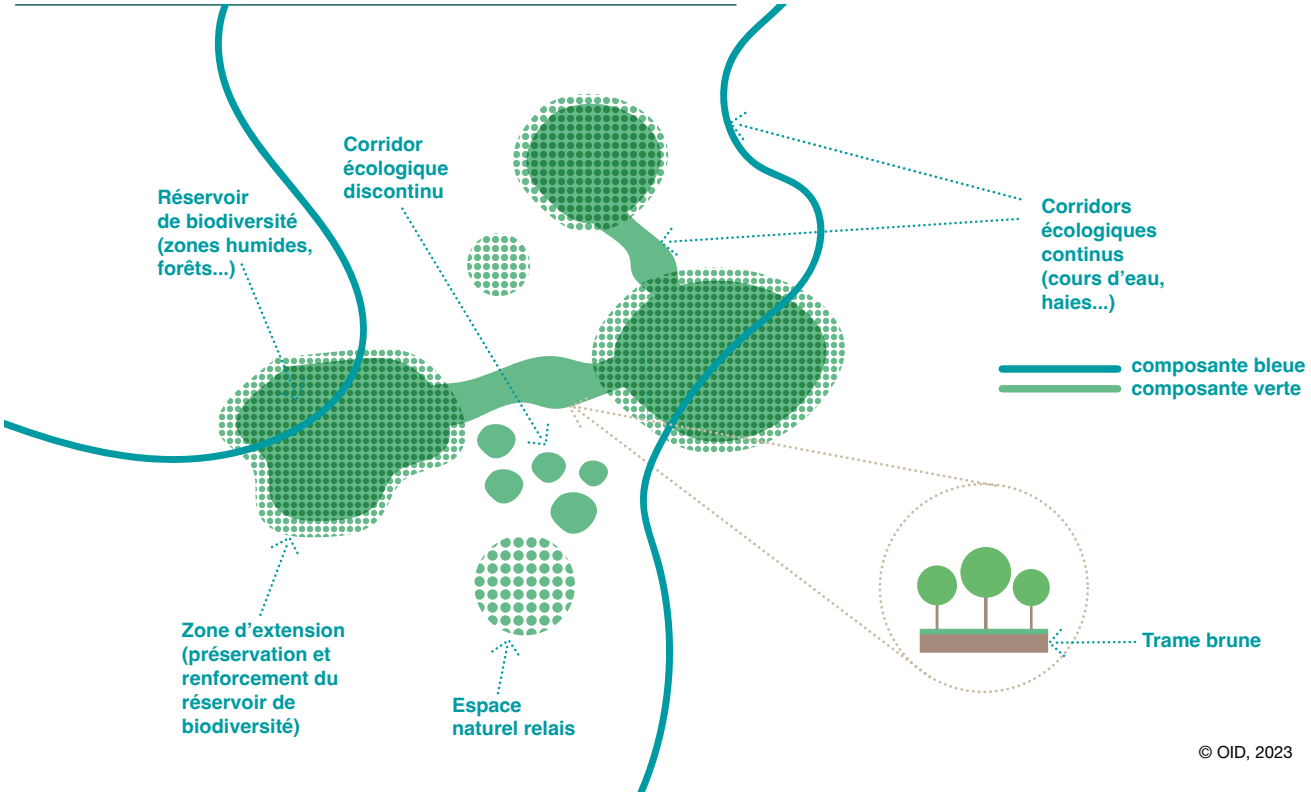
IMPACTS

En fragmentant le paysage, l'espace urbain (villes, bâtiments, routes…) limite l'accès des organismes vivants aux zones indispensables à leurs cycles de vie (alimentation, reproduction, repos…). Les trames vertes, bleues et brunes agissent alors comme facteur de **préservation** voire de **restauration de la biodiversité locale** en reconnectant des réservoirs de biodiversité entre eux. Sans continuité entre les milieux, la **fonctionnalité** et la **résilience** des écosystèmes se voit réduite. Cela influe directement sur les **services écosystémiques** associés à la biodiversité. Prenons l'exemple suivant pour montrer l'interconnexion entre la santé des écosystèmes et les services écosystémiques : lorsque la trame brune est rompue, la biomasse des sols est moins riche ce qui impacte directement la porosité des sols. L'absorption de l'eau dans les sols est alors réduite ce qui augmente le risque inondation en cas de forte pluie et réduit l'évapotranspiration contribuant au rafraîchissement lors des fortes chaleurs.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Afin de renforcer voire restaurer une trame verte, bleue, ou brune, il est tout d'abord nécessaire d'effectuer un **diagnostic en amont du projet**. Pour cela, la première étape consiste à prendre connaissance des documents d'urbanisme (SRCE, PLU, etc.) et d'identifier les espaces végétalisés et aquatiques à proximité du projet. Un diagnostic écologique précis des milieux identifiés permet alors de mettre en place ou restaurer sur la zone du projet un écosystème adapté au contexte environnemental et aux trames à proximité. Les trames vertes, bleues et brunes étant complémentaires, il est important de les prendre en compte simultanément. Afin de minimiser l'impact du bâti sur les continuités écologiques, il est essentiel de réfléchir à **l'emplacement des bâtiments sur la parcelle** pour qu'ils ne soient pas des obstacles à la biodiversité. En étudiant l'emplacement des espaces ouverts (végétalisés, en pleine terre ou points d'eau), il est alors possible d'intégrer la parcelle aux trames. **Cette action doit s'appliquer pour toute mise en place de stratégie d'adaptation** impliquant notamment la végétalisation aux abords des bâtiments et sur les bâtiments (toitures et façades), la désimperméabilisation des sols, l'aménagement de bassins, etc. Par la proximité avec les espaces naturels alentour, une attention toute particulière doit être portée sur le choix de la palette végétale lors du projet de végétalisation de l'espace urbain ou de la parcelle. Ainsi, le recours à des essences locales et adaptées au climat futur réduit les risques de maladaptation.

ELÉMENTS COMPOSANTS DES TRAMES VERTES, BLEUES ET BRUNES



© OID, 2023

FREINS ET LEVIERS

⊖ Concilier les enjeux de mobilités et la préservation des trames pour assurer les différentes continuités écologiques peut s'avérer être un défi.

⊖ Ces nouveaux espaces peuvent modifier les habitudes des riverains du fait de l'augmentation de la biodiversité locale dans ces différentes trames par rapport à la situation initiale. Cela peut interpeller des riverains non habitués à ce type d'environnement.

⊕ Faire appel à un écologue pour la conception du projet.

⊕ S'intégrer dans des trames existantes est simplifié par une réflexion en amont de la conception du projet.

⊕ Mettre en place des actions de communication à l'attention des riverains.

EN SAVOIR PLUS

Centre de ressources pour la mise en œuvre de la Trame verte et bleue, Définitions trames vertes et bleues

Habitat et Qualité de vie, La trame brune

Syndicat Mixte pour le Schéma de Cohérence Territoriale du Pays de Lorient, Comment intégrer la Trame Verte et Bleue dans les documents d'urbanisme et les opérations d'aménagement ?

Construction 21, La cohérence territoriale pour une optimisation des solutions d'adaptation

ADAPTER LA VÉGÉTATION AU CLIMAT

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES



SÉCHERESSES



CHALEURS



FEUX DE FORÊT



TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



EXTÉRIEURS

COÛTS

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Puisque diverses solutions d'adaptation au changement climatique pour les bâtiments s'appuient sur les solutions de végétalisation, il est indispensable d'apporter une attention particulière à la composition de la palette végétale. En effet, les caractéristiques physiques locales, telles que l'exposition, la composition du sol, l'intensité des courants d'air dominants, ont une influence sur le type de végétation adapté à un site. Compte tenu de la longévité de certaines plantes (arbres, vivaces, etc.), il est également important de tenir compte des évolutions climatiques à venir pour la deuxième moitié du XXIe siècle, afin d'assurer leur survie et efficacité sur le long terme.

IMPACTS

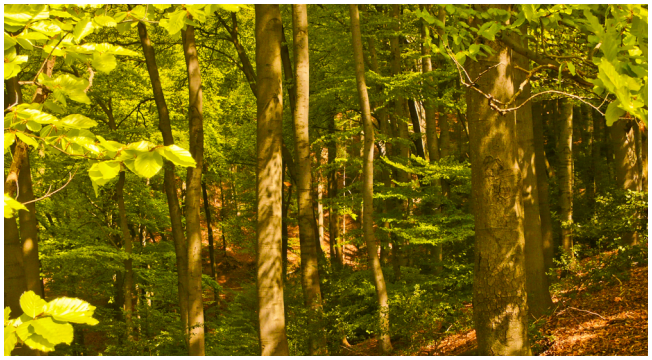
Le succès d'une opération de végétalisation (d'une toiture, d'une façade, des abords d'un bâtiment, etc.) est conditionné par le **choix de la palette végétale**. Une mauvaise connaissance des enjeux de la végétalisation peut aboutir à une surmortalité des plantes ou à l'incapacité à profiter des services écosystémiques attendus (exemple : surconsommation en eau des murs végétalisés avec des plantes exotiques). En tenant compte des conditions locales (sol, climat, disponibilité en eau, etc.), la **durée de vie de la végétation sera allongée, et son développement favorisé**, en hauteur comme en épaisseur. Le changement climatique renforce également les pressions sur la végétation, notamment du fait de l'augmentation de la fréquence et intensité des évènements climatiques extrêmes ainsi que de **l'arrivée de nouvelles espèces végétales** potentiellement envahissantes. Pour assurer les fonctions attendues d'une stratégie de végétalisation sur la durée, ces évolutions doivent être prises en compte dès aujourd'hui.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Il est conseillé de choisir les essences composant un projet de végétalisation en fonction des paramètres suivants :

- **Le microclimat local** : températures ambiantes et extrêmes potentielles, pressions atmosphériques, précipitations, ensoleillement (luminosité et ombre, présence de surfaces réfléchissantes et façades vitrées), humidité, vitesse du vent. Ces caractéristiques varient notamment en fonction de la topographie naturelle ou anthropique (exemple : présence de montagnes ou de bâtiments).
- **Les caractéristiques du sol et du substrat** : degré de compaction, pH, humidité, pollutions, etc.
- **L'évolution des aléas climatiques** : le changement climatique augmente la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur, sécheresses, inondations, vents violents…

Par ailleurs, certaines essences, notamment méditerranéennes, si elles ne sont pas envahissantes, peuvent parfois présenter une meilleure capacité d'adaptation que les essences locales face aux vagues de chaleur et sécheresses. Dans le cadre de la lutte contre le phénomène d'îlot de chaleur urbain, un **arbitrage doit être effectué entre les essences consommatrices en eau**, qui permettent une plus grande évapotranspiration



Les hêtraies, répandues dans la moitié nord du territoire, sont particulièrement vulnérables aux variations climatiques ainsi qu'à la prolifération de certains parasites.
© Okologix

et donc un meilleur rafraîchissement, **et les espèces moins consommatrices en eau**, plus résilientes mais témoignant parfois de capacités rafraîchissantes moindres.

La couverture du sol par des plantes vivaces ou des arbustes limite le développement des graminées et autres adventices qui développent à la surface du sol un chevelu racinaire très dense (feutrage). Les racines des graminées limitent l'infiltration de l'eau vers la couche inférieure du sol où se trouvent les racines des arbres. Il est donc conseillé de développer une couverture au sol par des plantes vivaces ou arbustives afin que la strate arborée ne soit pas en stress hydrique.

D'une manière générale, une **densité importante des plantations** permet de favoriser la résilience de la végétation, et potentialise le pouvoir rafraîchissant des végétaux.

Face à la multiplication des espèces invasives et des parasites, il est indispensable de maintenir une certaine **diversité de la palette végétale** pour maintenir un degré de résilience important : aucune essence ne doit représenter plus de 5 à 10 % de l'ensemble (à l'échelle du quartier ou de la ville).

FREINS ET LEVIERS

⊖ Il est **difficile d'évaluer de manière précise les retours positifs** d'une stratégie de végétalisation. Ils ne sont pas immédiats, les évolutions et aléas climatiques, les usages, etc. peuvent avoir un impact considérable sur la survie de la végétation locale.

⊖ Le choix de planter des essences non locales pour **anticiper les effets du changement climatique peut parfois entrer en contradiction avec l'objectif de favoriser la biodiversité locale**. Cette problématique suscite un important débat dans la communauté scientifique, opposant les partisans d'une adaptation anticipée aux défenseurs du patrimoine local.

⊕ Se **référer à des guides** (étude Sesame, étude « Arbre et climat » etc.).

⊕ **Solliciter des organismes spécialisés** : bureaux d'études (écologues et paysagistes), agences régionales de biodiversité, associations naturalistes.

NOTION / DÉFINITION

- Espèce indigène : espèce qui se trouve dans le domaine géographique qu'elle occupe ou peut occuper naturellement, sans intervention humaine.
- Espèces endémiques : espèce indigène qui n'existe que dans cette zone géographique (enjeu de conservation).
- Espèce exotique : espèce non indigène de la zone d'étude. Elle a donc été introduite par l'homme, volontairement ou non.
- Espèce exotique envahissante : espèce exotique qui menace la biodiversité indigène (écosystèmes, habitats naturels ou les espèces locales).

ILS L'ONT TESTÉ POUR VOUS

ICADE

LIEU : PARC DU MILLÉNAIRE, AUBERVILLIERS
SUPERFICIE : 60 HA
USAGE : TERTIAIRE, COMMERCE
COÛT : N/A

Dans le cadre du projet du « Parc du Millénaire », Icade a entamé depuis une dizaine d'années une démarche d'adaptation de la végétation au changement climatique. Celle-ci s'est appuyée sur la réalisation d'une étude basée sur des projections climatiques menée par Icade, en collaboration avec Météo France, la CDC biodiversité et la Société Forestière. Elle a permis d'élaborer une palette végétale composée d'essences présentant une bonne résistance au stress hydrique et aux écarts de température importants. L'étude sert aujourd'hui de base à tous les projets du groupe, aux côtés d'autres critères : biodiversité, bilan carbone (achat local privilégié), caractère allergène de certaines essences, etc. Si la prise en compte de la l'adaptation dans la stratégie de végétalisation a entraîné un surcoût dans un premier temps (multiplicité des essences, plus grande densité d'arbres, etc.), elle a permis de réduire les coûts d'entretiens par la suite (quantité d'eau pour l'arrosage réduite, moins de maintenance, etc.), et de redynamiser la zone en créant un espace attractif en période de forte chaleur notamment.

EN SAVOIR PLUS

Cerema (2023), Végétaliser les villes : le Cerema, Plantes & Cités et l'Ademe conçoivent un outil commun de sélection des végétaux

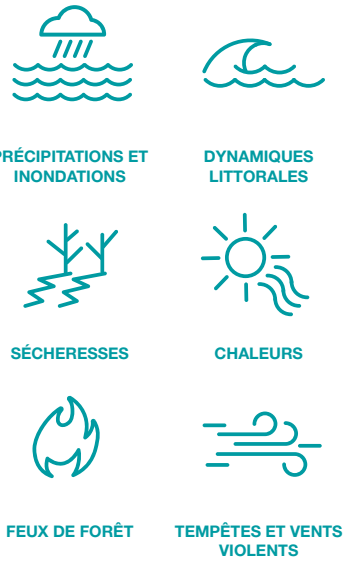
Fayolle et Haddad (2008), L'arbre le jour d'après, quels arbres pour 2050 ?

Trees & Design Action Group (2016), Arbres en milieu urbain, Guide de mise en œuvre

Ville de Metz, Metz Métropole et Cerema (2019), Etude SESAME (Services écosystémiques rendus par les arbres, modulés selon l'essence)

TENIR COMPTE DES DIAGNOSTICS PRÉALABLES

ALÉA



COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élévé

À mesure que les défis du changement climatique se multiplient, il devient impératif que la grande majorité des bâtiments évolue pour renforcer leur résilience face aux événements climatiques extrêmes. Pour mettre en œuvre des mesures adaptatives efficaces et cohérentes, tant dans le cadre de la construction neuve que de la rénovation, il est essentiel de recourir à des professionnels pour réaliser divers diagnostics. Ces diagnostics ont pour objectif d'identifier précisément les risques climatiques auxquels le bâtiment est exposé. Cette étape cruciale permet ensuite de prendre des décisions éclairées en matière d'adaptation.

IMPACTS

Effectuer puis tenir compte des diagnostics permet d'identifier et de tirer profit des avantages du territoire lors de la conception du bâtiment et ainsi de **maximiser la résilience du bâti et des usagers**.

Ces diagnostics préalables facilitent également la détermination des solutions adaptatives les plus appropriées pour chaque bâtiment, contribuant ainsi à **réduire les dommages potentiels** subis par le bâtiment et ses équipements en cas d'événements climatiques majeurs. En conséquence, cette mesure préserve non seulement **l'intégrité physique** et la **qualité de vie des occupants** du bâtiment, mais contribue également à préserver la valeur du bien immobilier ainsi que des biens entreposés au sein du bâtiment.

De plus, la réalisation de diagnostics tout au long de la vie du bâtiment joue un **rôle informatif** crucial pour les propriétaires, les gestionnaires et les occupants du bâtiment. Cela permet à ces parties prenantes de prendre pleinement conscience des risques auxquels elles sont exposées, favorisant ainsi une meilleure préparation et une réponse adaptée aux éventuels défis climatiques.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Le dispositif d'information acquéreur-locataire (IAL) rend obligatoire le fait que tous les locataires ou acheteurs d'un bien immobilier, notamment dans une zone réglementée par un plan de prévention des risques (PPR), soient **informés des risques naturels** et de toute indemnisation de sinistre antérieure à la suite d'une catastrophe naturelle. Un état des risques doit figurer dans le dossier de diagnostic technique (DDT) annexé à la promesse et à l'acte de vente ou au bail de location. Pour renforcer cette information, le décret d'application du 1er octobre 2022 a instauré que :

- Toute annonce immobilière, quel que soit son support de diffusion, doit désormais porter cette mention : « Les informations sur les risques auxquels ce bien est exposé sont disponibles sur le site Géorisques : www.georisques.gouv.fr »,
- L'état des risques doit être remis à la première visite.

De plus, en amont d'un projet immobilier et tout au long de sa phase d'utilisation, il est vivement recommandé de réaliser un ou plusieurs des diagnostics suivants (liste non-exhaustive) :

- **Diagnostic prospectif de risques climatiques auxquels le bâti est exposé :** peut être effectué en s'appuyant sur l'outil cartographique tel que R4RE,



Réalisation d'une étude de sol

- **Etude de sol** : permet de détecter entre autres les risques de retrait gonflement des argiles (RGA) et de déterminer le type de fondations à utiliser ainsi que leur profondeur d'ancrage,

- **Diagnostic de vulnérabilité au risque d'inondation** : permet de sélectionner quelle stratégie de lutte contre les inondations et submersions marines adopter et d'identifier les dispositifs pouvant être mis en place,

- **Analyse topographique** : il s'agit d'identifier les caractéristiques topographiques du terrain (relief, présence de points d'eau, etc.) afin de pouvoir exploiter les avantages qu'offre l'environnement immédiat du bâtiment,

- **Analyse hydrométrique** : identifie les débits d'écoulement de l'eau sur le bâtiment et sert de base au schéma d'évacuation des eaux sur la parcelle ou le quartier,

- **Etude aéraulique** (étude sur la circulation des flux d'air) : permet de déterminer les zones d'inconfort thermique extérieures et intérieures dues à une mauvaise circulation de l'air. Elle peut être réalisée à différentes étapes, de la construction à l'exploitation du bâtiment,

- **Diagnostic écologique** : vise à dresser l'état des lieux et à comprendre le fonctionnement des écosystèmes environnants. Il identifie les éléments clés qui peuvent orienter l'aménagement et la gestion de l'espace concerné, notamment dans le cadre d'opérations de végétalisation.

FREINS ET LEVIERS

⊕ Les obligations en matière de diagnostics de prévention des risques climatiques deviennent de plus en plus nombreuses avec l'évolution du cadre réglementaire.

⊕ La loi ELAN de 2018 impose la réalisation d'études de sols, dans les zones où l'exposition au retrait gonflement des argiles est identifiée comme moyenne ou forte, par le :

- Vendeur : avant la vente d'un terrain non bâti constructible, il doit informer l'acheteur potentiel de l'existence du risque de retrait-gonflement des sols argileux et faire une **étude géotechnique préalable**,

- Maître d'ouvrage : dans son contrat avec le constructeur ou le maître d'œuvre, il peut choisir entre **deux types d'étude géotechnique de conception**. La première est personnalisée, tenant compte de l'implantation et les caractéristiques du bâtiment. La seconde (type G2) est générique, couvrant à la fois l'avant-projet et le projet, pouvant servir de référence pour plusieurs projets et réduisant potentiellement les coûts pour le maître d'ouvrage.

- Constructeur : il doit suivre les **recommandations de l'étude géotechnique de conception** fournie par le maître d'ouvrage ou respecter les techniques de construction spécifiques établies par la **réglementation**.

⊕ Lors de la vente ou la location d'un bien ou d'un terrain situé en zone à risque, il est obligatoire depuis 2003 pour le propriétaire de fournir un « état des risques », incluant une analyse des risques liés aux aléas climatiques.

⊕ Bien que cela ne soit pas le cas pour tous, nombre des diagnostics listés précédemment peuvent être réalisés à l'échelle du bâtiment et à l'échelle du territoire.

⊖ Ces études et diagnostics ont une validité limitée en termes de résultats, soumise à une période d'expiration.

EN SAVOIR PLUS

Adam Y., Béranger C., Delzons O., Frochot B., Gourvil J., Lecomte P., Parisot-Laprun M. (2015), Guide des méthodes de diagnostic écologique des milieux naturels - Application aux sites de carrière

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

Ifsttar et CSTB (2017), Retrait et gonflement des argiles - Protéger sa maison de la sécheresse : conseils aux constructeurs de maisons neuves

Ministère de la Transition Écologique (2021), Construire en terrain argileux - La réglementation et les bonnes pratiques

DÉFINIR UNE STRATÉGIE : ÉVITER, RÉSISTER OU CÉDER À L'EAU ?

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



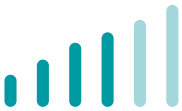
DYNAMIQUES LITTORALES

COÛT

€ € €

faible

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Lorsqu'un bien est exposé aux risques d'inondation ou de submersion marine, il est important de définir une stratégie de limitation des dégâts en amont de la crise, en fonction des caractéristiques du bâtiment et de l'aléa. On considère qu'il existe trois stratégies permettant de lutter contre l'eau : éviter l'eau (mettre le bâtiment hors d'atteinte de l'eau), résister à l'eau (empêcher la pénétration de l'eau dans le bâtiment) ou céder à l'eau (laisser entrer l'eau dans le bâtiment de manière contrôlée).

IMPACTS

Ces stratégies ne sont pas mutuellement exclusives, mais plutôt complémentaires. Elles font toutes partie intégrante de la gestion des risques liés aux catastrophes et sont toutes indispensables :

- La **stratégie Éviter** : le principe de précaution nous oblige à considérer la non-mise en danger de la vie et des moyens de subsistance de la population comme une priorité indiscutable.

- La **stratégie Résister** : vise principalement à atténuer les impacts, en particulier pour les structures déjà construites et exposées. Cependant, si l'on ne peut pas garantir de manière certaine la protection de la vie, il est impératif de revenir à la stratégie Eviter.

- La **stratégie Céder :** pointe vers un changement d'approche vis-à-vis de l'espace et du phénomène d'inondation. Cela implique d'apprendre à coexister avec elle. De nombreux exemples se trouvent dans des espaces publics inondables qui sont temporairement occupés par l'eau et peuvent être utilisés après, tout comme les logements sur pilotis.

La stratégie Éviter est considérée par le Centre européen de prévention des risques d'inondation (CEPRI) comme la plus efficace et la plus rentable car elle permet d'éliminer la totalité des dommages potentiels causés par l'eau ; ses paramètres de mise en place étant restrictifs (Voir Guide de mise en place), elle ne peut être sélectionnée que dans certaines situations. Viennent ensuite par ordre de rentabilité la stratégie Résister et la stratégie Céder.

Attention, un **mauvais choix de stratégie peut avoir de graves conséquences humaines et matérielles**. Il faut être particulièrement vigilant et prendre en compte les caractéristiques de l'aléa lorsque la stratégie Résister est envisagée car si le bâtiment n'est pas en capacité d'empêcher l'eau de pénétrer, la vie des personnes présentes à l'intérieur peut être mise en péril.

Il est important de noter qu'aucune de ces trois stratégies n'est adaptée aux zones potentielles de courant fort.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Afin de définir quelle stratégie adopter face au risque d'inondation et/ou de submersion marine, il est conseillé de réaliser un diagnostic préalable de vulnérabilité au risque d'inondation. Pour cela, il est possible de faire appel à un professionnel ou d'effectuer

le diagnostic soi-même en évaluant à la fois l'exposition du bâtiment aux risques climatiques, à l'aide de plateformes gouvernementales telles que Vigicrues et Géorisques qui développent des modélisations de scénarios sur les inondations et submersions marines à venir, et la sensibilité du bâtiment, grâce à des outils d'auto-évaluation tel que celui développé par le CEPRI.

La stratégie Éviter ne peut être appliquée qu'aux nouvelles constructions, et elle devrait être privilégiée par rapport aux deux autres approches, à condition que cela ne mette personne en danger. Lorsqu'il est possible de choisir, il est préférable de ne pas construire dans les zones exposées à des risques climatiques tels que les inondations et les dynamiques littorales. Cependant, dans les situations où il n'y a pas d'autre option, les dispositifs pouvant être utilisés consistent à surélever les éléments de structure du bâtiment (construction sur pilotis, surélévation sur remblais, etc.).

La stratégie Résister est applicable aux structures déjà en place. Cependant, en ce qui concerne les bâtiments futurs, il est important de ne pas compter exclusivement sur cette stratégie, car elle n'est pas entièrement fiable en raison des incertitudes liées aux changements climatiques et des effets potentiels des phénomènes climatiques extrêmes. Il ne convient pas de construire en se fiant à l'idée que cette stratégie sera la solution. Il s'agit de la stratégie la plus intuitive pour les occupants, qui ont tendance à se barricader dans leur habitation à la montée des eaux. Attention cependant, car l'efficacité de cette stratégie, en plus d'une communication adaptée sur les risques, est soumise à plusieurs conditions :

(1) la hauteur d'eau maximale ne doit pas dépasser 1 mètre ;

(2) la durée de submersion doit être limitée (pas plus de 48 heures) ;

(3) le délai d'alerte (temps entre l'annonce de l'arrivée de l'eau et son arrivée réelle au niveau du bâtiment) doit être suffisant afin de permettre la mise en place des dispositifs d'obstructions temporaires.

Les dispositifs anti-eau s'inscrivent dans cette stratégie et incluent notamment les batardeaux et les clapets anti-retours pour les canalisations.

La stratégie Céder peut être mise en place à la fois dans le cadre du bâti existant et du bâti neuf. Il s'agit d'une stratégie de dernier recours, car elle expose l'intérieur du bâti à d'importants dégâts potentiels. Elle doit être mise en place lorsque qu'il n'est **pas possible de surélever la structure** ou que les caractéristiques de l'inondation excluent un recours à la stratégie Résister (dans ce cas, il est nécessaire de laisser l'eau pénétrer dans le bâti afin d'éviter de trop grands dommages causés par l'action mécanique de l'eau). Si cette stratégie est sélectionnée, on emploiera des matériaux résistants à l'eau, tels le béton ou l'acier, pour préserver les espaces intérieurs du bâtiment et on concentrera les équipements et activités essentiels aux étages supérieurs.

FREINS ET LEVIERS

⊕ Quelle que soit la stratégie adoptée, il est **essentiel de mettre en place une zone refuge** afin de mettre en sécurité les usagers du bâtiment. Une campagne de sensibilisation doit également être menée afin **d'informer les occupants du bâtiment des risques climatiques** auxquels ils sont exposés et des **bons comportements** à adopter lors d'une catastrophe naturelle.

⊕ Autant que faire se peut, les interactions sociales entre les occupants du bâtiment **doivent être renforcées** car elles permettront d'instaurer une dynamique d'entraide, essentielle à la survie des populations, en cas d'inondation ou de submersion marine.

⊖ Même si un bien ne subit pas de dégâts lors d'une inondation, cela ne signifie pas qu'il est utilisable ou habitable pour autant. En effet, il n'est exploitable que si les **réseaux qui le desservent** (routiers, électriques, etc.) sont toujours fonctionnels. La stratégie de lutte contre l'eau sélectionnée doit donc être associée à des **dispositifs de préservation des réseaux**, tels qu'un maillage efficace ou des systèmes de protection des réseaux.

EN SAVOIR PLUS

Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (CEPRI) (2009), Un logement "zéro dommage" face au risque d'inondation est-il possible ?

Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation CEPRI) (2010), Le bâtiment face à l'inondation

Centre Européen de Prévention du Risque d'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'Energie (2012), Référentiel de travaux de prévention du risque d'inondation dans l'habitat existant

ADAPTER LES FONDATIONS

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES



SÉCHERESSES

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE

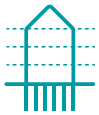


CONSTRUCTION



RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



FONDATIONS

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

Les fondations sont essentielles à la stabilité du bâtiment : elles transmettent au sol les charges et surcharges supportées par la structure du bâtiment et permettent de contrôler les tassements et infiltrations d'eau. Il existe deux principaux types de fondations : les fondations superficielles (peu profondes, pouvant être réalisées lorsque le sol est stable) et les fondations profondes (réalisées si les couches superficielles du sol sont trop fragiles).

IMPACTS

De nombreux sinistres liés aux aléas climatiques sont causés par une mauvaise adaptation et/ou conception des fondations. Un **désordre au niveau des fondations** se fait souvent remarquer par l'apparition de **fissures** dans les murs, une **déformation** des cadres des portes et des fenêtres ou par une différence de niveaux entre les planchers.

Adapter les fondations permet de limiter les désordres dus aux mouvements des sols en cas de retrait gonflement des argiles (RGA) et à l'affouillement des fondations (déchaussement partiel ou complet des fondations) en cas d'inondation ou de submersion marine.

GUIDE DE MISE EN PLACE

La mise en place de fondations adaptées compte tenu des risques climatiques, nécessite de :

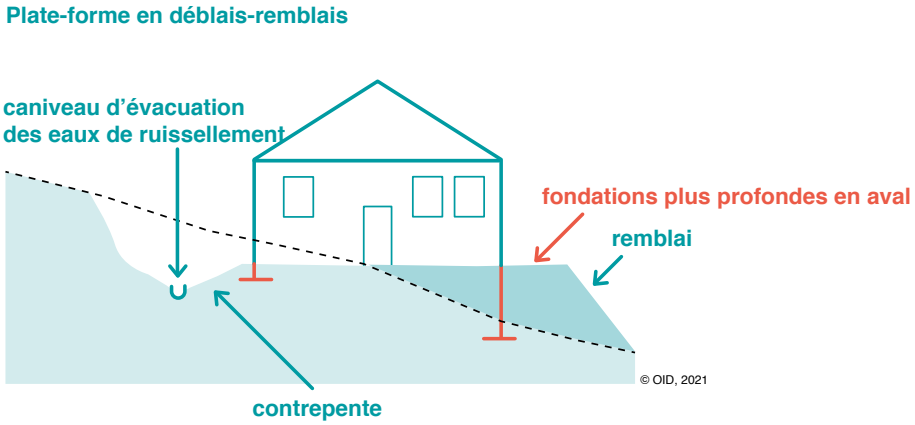
1. **Connaître la nature du sol et du bâtiment :** il est important d'effectuer une étude de sol préalable afin de détecter tous les risques de mouvement de terrain liés au RGA. Une analyse croisée des caractéristiques du terrain et du bâtiment doit permettre de déterminer le type de fondation à utiliser et la profondeur d'ancrage des fondations : en cas de sol instable, de risque d'affaissement des fondations ou de charge du bâtiment importante, des fondations profondes devront être réalisées.

2. **Ancrer les fondations de manière homogène** : si un terrain est en pente, les fondations à l'aval doivent être ancrée plus profondément qu'à l'amont, afin de reposer sur la même couche du sol.

3. **Respecter une profondeur d'ancrage minimale** : de manière générale, pour les fondations superficielles, on considère que l'ancrage des fondations doit être de 0,80 m minimum en zone d'aléa faible à moyen et 1,20 m en zone d'aléa fort pour les maisons individuelles (Agence Qualité Construction, 2004).

Si des désordres, notamment des fissures, apparaissent, il est conseillé, d'effectuer un examen de la structure et une étude des sols afin de déterminer les vulnérabilités du bâtiment. Une reprise en sous-œuvre (renforcement des fondations par une nouvelle répartition des charges) peut alors être envisagée. Dans ce cas, deux techniques principales peuvent être utilisées : augmenter la largeur des fondations existantes ou ajouter de nouveaux éléments de fondation plus en profondeur.

ADAPTER LES FONDATIONS À UN TERRAIN EN PENTE



Source : ministère de la Transition écologique (2008)

FREINS ET LEVIERS

- Les travaux de reprise en sous-œuvre des fondations sont **très onéreux et délicats** car ils comportent des risques d'effondrement ou de tassement du bâtiment. En cas de rénovation et d'extension, il peut être préférable de désolidariser les éléments de structure pour améliorer la stabilité du bâti.

- Afin de préserver l'intégrité des fondations et ainsi d'éviter d'avoir recours à ce procédé, des **solutions préventives** de contrôle du taux d'humidité du sol peuvent être mises en place à l'échelle du bâtiment. Des actions adaptatives permettant d'éviter les inondations ou submersions marines peuvent être mises en œuvre à l'échelle du territoire (bassins de gestion des eaux pluviales, désimperméabilisation du sol, etc.).

- La mise en place de fondations doit idéalement suivre les **préconisations des Documents Techniques Unifiés** (DTU) 13.11 et 13.12 pour les fondations superficielles et 13.2 pour les fondations profondes.

- Alors que les sécheresses et les RGA s'intensifient, le **gouvernement français semble s'être emparé du sujet** avec pour objectif de diminuer le nombre de sinistres liés à ce phénomène : dans le cadre de la loi Elan de 2018, il est obligatoire depuis mai 2019 de réaliser deux études de sols lors de la vente d'un terrain constructible destiné à l'habitat individuel ou de la construction d'une maison et une carte d'exposition aux RGA a été publiée en juillet 2020.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Perturbations du sol et des structures avoisinantes

Certaines techniques d'adaptation des fondations, telles que l'ajout de contre-voiles en béton armé ou de butons, visent à renforcer la stabilité structurelle en répartissant les charges et en résistant aux forces latérales telles que le vent ou les pressions du sol. Cependant, ces ajustements peuvent exercer des forces latérales indésirables sur le sol environnant, altérant ainsi sa capacité à soutenir les charges et potentiellement perturbant les structures avoisinantes.

Perturbations de l'équilibre hydraulique naturel du sol

L'utilisation d'injections de résines ou de mortiers dans le sol, ainsi que l'introduction de fondations profondes, peuvent également perturber les équilibres hydrauliques naturels du sol, affectant les flux souterrains et la recharge des nappes phréatiques. Ces altérations hydrauliques peuvent conduire à des problèmes d'inondations locales ou de sécheresses, tout en impactant la stabilité à long terme des structures environnantes.

Inadéquation des mesures d'adaptation au changement climatique

Par ailleurs, si les prévisions climatiques ne sont pas correctement anticipées, les fondations adaptées pour les conditions actuelles pourraient ne pas être en mesure de résister aux futurs événements climatiques extrêmes tels que des tempêtes, des inondations ou des périodes de sécheresse prolongée. Cela pourrait entraîner une vulnérabilité accrue des bâtiments et des infrastructures à ces événements, compromettant ainsi leur résilience et leur durabilité.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- AUGMENTER LA LARGEUR DES FONDATIONS EXISTANTES
- AJOUTER DES ÉLÉMENTS DE FONDATION PLUS EN PROFONDEUR
- RÉALISER DES INJECTIONS (RÉSINE EXPANSIVE, MORTIERS ETC.)
- AJOUTER DES PIEUX ET/OU MICROPIEUX
- AJOUTER DES BUTONS, TIRANTS D'ANCRAGE, CONTRES-VOILES EN BÉTON ARMÉ ETC.
- AJOUTER DES PICOTS D'INJECTION DE SOL (PIS)
- RÉALISER UNE ÉTUDE DE SOL

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/– : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/– Pourcentage de fissures surveillées parmi celles qui sont supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieures à 10 cm de longueur (%)	A maximiser
★ Etat hydrique du sol de fondation défini à l'aide d'une étude hydrométrique du sol définissant la situation témoin*	-
+/– Comparaison de la tension de l'eau et celle de la situation témoin* (centibars)	Stabilisation au cours du temps
+/– Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/– Nombre de fissures supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieure à 10 cm de longueur	Absence d'augmentation du nombre de fissures
+/– Nombre de fissures dont l'ouverture et/ou la longueur a augmenté parmi celles supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieures à 10 cm de longueur	Absence d'élargissement des fissures
+/– Différence de nivellement entre plusieurs points de référence répartis sur les fondations de même profondeur d'un bâtiment, à comparer avec une situation témoin* (m)	La différence de nivellement entre les points de référence doit varier le moins possible (évitement d'un tassement différentiel des fondations).

**La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

OUTIL

- Une **jauge d'ouverture de fissures** est principalement destinée à mesurer l'ouverture linéaire d'une fissure spécifique, tandis qu'un fissuromètre est un instrument plus complet qui mesure divers paramètres de fissure (déformation, largeur, longueur, forme etc.), surveille la fissure dans plusieurs directions et enregistre les variations avec le temps.
- Le **nivellement différentiel** est réalisé à l'aide d'outils de nivellement tels que des niveaux à bulle, des lasers ou des instruments de nivellement précis.
- Les **sondes tensiométriques** permettent un suivi annuel des données tensiométriques (mesure en continu et en temps réel). Le Cerema expérimente le procédé MACH (MAison Confortée par Humidification) : lorsque la tension dans le sol atteint un niveau critique qui indique un sol trop sec (défini par rapport à l'étude hydrométrique), le sol de fondation est humidifié en injectant de l'eau de pluie récupérée et stockée. Cette eau est diffusée dans le sol gravitairement à travers plusieurs points d'injection répartis autour des façades fissurées. Cela permet la stabilisation des habitations dégradées par le phénomène du RGA.

RÉGLEMENTATION / CRITÈRE

- Les **fissures** ayant **plus d'1 mm d'ouverture** sont à surveiller plus rigoureusement. Pour la longueur, cela dépend de l'élément concerné mais il est conseillé de surveiller à partir de 10 cm (Baticopro, 2020).

EN SAVOIR PLUS

BRGM (2009), Rapport final du projet ARGIC (Analyse du Retrait-Gonflement des Argiles et de ses Incidences sur les Constructions)

Ifsttar et CSTB (2017), Retrait et gonflement des argiles - Protéger sa maison de la sécheresse : conseils aux constructeurs de maisons neuves

LAVARDE, C. (2023), Rapport d'information fait au nom de la commission des finances sur le financement du risque de retrait gonflement des argiles et de ses conséquences sur le bâti

OID (2020), Fiche aléa – Sécheresse & retrait-gonflement des argiles

CHOISIR DES REVÊTEMENTS DE MURS ET DE TOITS À FORT ALBÉDO

ALÉA



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE

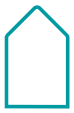


CONSTRUCTION



RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



ENVELOPPE

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Alors que la température ne cesse d'augmenter et que les vagues de chaleur s'intensifient et se multiplient, une attention particulière doit être accordée au choix des revêtements extérieurs du bâtiment. Tout comme les revêtements végétalisés (toiture et façade), les revêtements de murs et de toits à fort albédo, c'est-à-dire ayant un fort pouvoir réfléchissant, constituent un moyen efficace de limiter la pénétration de la chaleur dans le bâtiment.

IMPACTS

Parce qu'ils renvoient une grande partie des rayons solaires, les matériaux à fort albédo n'absorbent et ne transmettent au bâti que peu de chaleur. L'utilisation de matériaux de revêtements à fort albédo permet ainsi de **baisser la température intérieure du bâtiment** de plusieurs degrés et d'améliorer le confort thermique de ses occupants.

Les revêtements à fort albédo permettent également de **lutter contre l'intensification les îlots de chaleur urbains** (température plus élevée dans les milieux urbains que dans les zones rurales environnantes), au même titre que les revêtements de voirie à fort albédo.

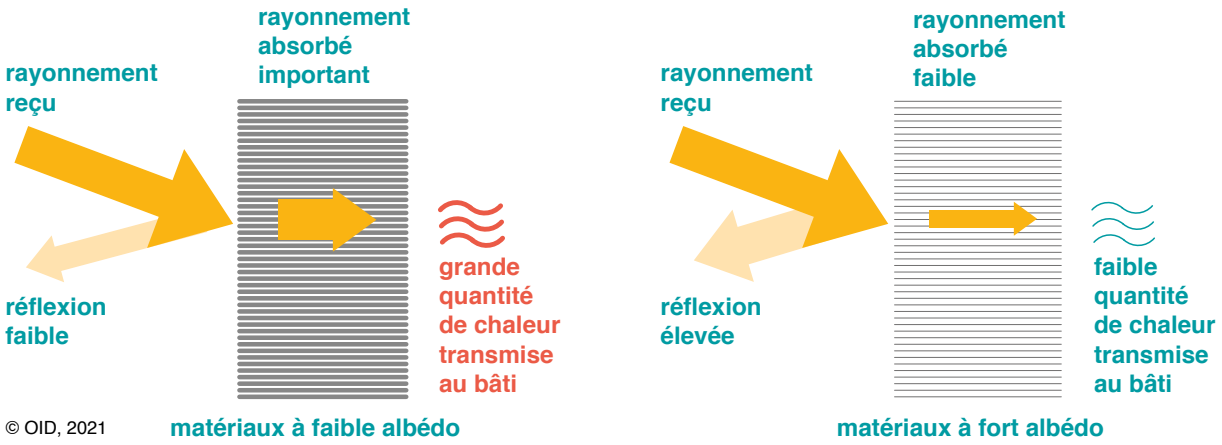
GUIDE DE MISE EN PLACE

Afin d'assurer un meilleur confort thermique intérieur et extérieur, il est recommandé d'utiliser des **matériaux de couleurs claires pour les façades** et des **matériaux clairs et/ou réfléchissants pour les toitures**. Les surfaces les plus exposées aux rayons du soleil à l'échelle du bâtiment étant les toitures, de nombreuses techniques ont été développées afin de mettre en place des « cool roofs » (ou toitures fraîches) : membranes élastomères ou polyurées réfléchissantes, enduits réfléchissants et graviers pâles.

La mise en place de revêtements à fort albédo **ne nécessite pas forcément d'investissements ou de travaux importants** : l'application d'une peinture blanche sur une surface permet déjà d'augmenter son albédo.

Lors du choix des revêtements extérieurs d'un bâtiment, il faut prendre en compte à la fois l'albédo des matériaux mais **également leur** inertie thermique. Ces deux paramètres doivent permettre de sélectionner des matériaux qui protègent efficacement le bâtiment contre les apports de chaleurs extérieures.

ILLUSTRATION DES PROPRIÉTÉS RÉFLÉCHISSANTES DES REVÊTEMENTS DE MURS ET DE TOITS À FORT ALBÉDO



© OID, 2021

FREINS ET LEVIERS

⊕⊖ Dans certaines conditions, les toitures à fort albédo qui réfléchissent davantage les rayonnements solaires peuvent réduire la quantité d'énergie absorbée par les panneaux photovoltaïques, ce qui peut affecter négativement leur production. Cependant, l'effet de refroidissement des toitures réfléchissantes peut également contribuer à améliorer le rendement des panneaux en évitant la surchauffe. Il est difficile de déterminer quel facteur prédomine car cela dépend de la conception spécifique du système solaire, des conditions environnementales et de l'efficacité des panneaux photovoltaïques utilisés. Une analyse détaillée prenant en compte tous ces facteurs est recommandée pour évaluer l'impact net sur la production d'énergie des panneaux photovoltaïques dans un contexte donné.

⊖ Il est important de noter que les surfaces claires, parce qu'elles se salissent plus rapidement, nécessitent un **entretien plus important**.

⊖ Attention, le choix des matériaux et couleurs utilisés pour les revêtements extérieurs du bâti peut être **encadré par les autorités locales**. Il est donc conseillé de consulter le PLU (Plan Local d'Urbanisme) et éventuellement de s'adresser au CAUE (Conseil d'Architecture et d'Urbanisme et d'Environnement) local avant d'entreprendre des travaux.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Pollution liée à la peinture

La fabrication des peintures synthétiques, principalement dérivées de l'industrie pétrochimique, consomme beaucoup de matières premières non renouvelables et d'énergie. Contenant des solvants, des métaux lourds, des produits phytosanitaires, et des COV, les déchets de ces peintures (résidus, emballages, outils) sont dangereux pour l'environnement et la santé. De plus, elles pourraient également contribuer de manière significative à la pollution par les microplastiques dans les océans (Environmental Action, 2022). Une mauvaise gestion de ces déchets peut contaminer l'air, l'eau et les sols, nuisant à la biodiversité, en particulier aquatique. Pour atténuer ces problèmes, des alternatives existent comme les peintures à base de composants naturels et/ou biosourcés.

Inconfort visuel

Lors de l'installation de revêtements à fort albédo, il est essentiel de porter une attention particulière au confort visuel des usagers. Ceux-ci, en renvoyant les rayons solaires, peuvent causer de l'éblouissement, ce qui peut être gênant, en particulier pour la mobilité urbaine. Il est donc conseillé de les éviter pour les façades et les toitures en pente.

Amplification de la pollution lumineuse

La pollution lumineuse provient de la diffusion excessive de la lumière artificielle dans l'atmosphère nocturne, notamment de l'éclairage public, des bâtiments, des publicités, etc. Les surfaces réfléchissantes comme les toits et les murs à fort albédo en zone urbaine peuvent agir comme des miroirs reflétant la lumière artificielle, contribuant ainsi à la pollution lumineuse qui perturbe la biodiversité et les écosystèmes nocturnes.

REPÈRES DE SUIVI

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de surface de revêtements de toit avec un albédo supérieur à 0,4 (%)	A maximiser
+/− Pourcentage de surface de revêtements de façade avec un albédo supérieur à 0,4 (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison entre la température du toit à fort albédo et celle d'une situation témoin* (°C)	Température du toit avec fort albédo < celle de l'espace témoin*
+/− Comparaison entre la température de façade à fort albédo et celle d'une situation témoin* (°C)	Température de façade avec fort albédo < celle de l'espace témoin*

**La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

RÉGLEMENTATION / CRITÈRE

- On parle d'**albédo fort** lorsque celui-ci est **proche de 1**. Un revêtement est caractérisé avec un **albédo faible** s'il est compris entre **0 et 0,4** (ADEME, 2021). On privilégiera un albédo supérieur à 0,4.

OUTIL

- L'**albédomètre** est formé de deux pyranomètres identiques opposés : un dirigé vers le haut (ciel), l'autre vers le bas (terre). Le pyranomètre dirigé vers le haut mesure l'éclairement énergétique global (direct + diffus) incident sur le terrain tandis que celui dirigé vers le bas mesure l'éclairement énergétique global réfléchi par le terrain (C2AI,2020).

EN SAVOIR PLUS

ADEME (2012), Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain à destination des collectivités territoriales

ADEME (2021), Rafraîchir les villes, des solutions variées

Institut national de Santé Publique Québec (2009), Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains

Ville de Paris (2023), Mission d'information et d'évaluation du Conseil de Paris - Paris à 50 degrés : s'adapter aux vagues de chaleur



Toiture du Leclerc de Quimper

ILS L'ONT TESTÉ POUR VOUS

SAS KERVILLY, E.LECLERC

BÂTIMENT : CENTRE E.LECLERC, QUIMPER
SUPERFICIE : 7 000 M² DE TOITURE
USAGE : TERTIAIRE, CENTRE COMMERCIAL
COÛT : 140 000€ TTC

Sur ce bâtiment construit dans les années 1980, un revêtement réfléchissant a été ajouté en 2014. Cet ajout a permis de réduire le phénomène de dilatation-rétractation de la toiture bitumineuse bicouche, et de régler les problématiques de fuites régulières auxquelles le bâtiment faisait face, sans toutefois nécessiter le renouvellement de l'étanchéité. Après sept années, le constat est très positif : le revêtement blanc a permis de diminuer les recours à la climatisation de 50 %. L'opération a été amortie en 4,5 années grâce à l'abaissement des consommations énergétiques (28 000 à 32 000€ par an), la diminution des interventions en toiture par les étancheurs, et l'arrêt de l'arrosage sur condenseurs en période de forte chaleur. Cette action, envisageable sur des bâtiments qui ne peuvent pas supporter structurellement d'autres options telles que la végétalisation ou l'installation de panneaux photovoltaïques, offre une alternative intéressante. Elle n'a nécessité que deux semaines d'intervention, sans interruption des activités du centre. Le centre, qui a procédé à 2 nettoyages de la toiture depuis son installation, a ainsi pu allonger la durée de vie de sa toiture d'au moins 15 ans. Cette durée pourrait potentiellement être allongée si l'ajout d'une nouvelle couche est réalisé d'ici quelques années.

CHOISIR DES REVÊTEMENTS DE VOIRIE À FORT ALBÉDO

ALÉA



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



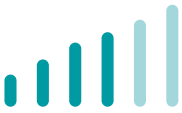
EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Face à l'augmentation de la température, à l'intensification et à la multiplication des vagues de chaleur, l'aménagement des espaces extérieurs publics et privés doit aujourd'hui répondre à de nouveaux enjeux de confort thermique des usagers. Il est largement admis que les modifications de l'albédo au sol entraîneraient un refroidissement dans la région où l'albédo est modifié et, en particulier, qu'il réduirait les extrêmes de chaleur (GIEC, 2018). Tout comme la création de points d'eau, la végétalisation des espaces et la désimperméabilisation des sols, l'utilisation de revêtements de voiries à fort albédo, c'est-à-dire clairs et/ou réfléchissants, constitue un moyen efficace de lutter contre la surchauffe des espaces extérieurs.

IMPACTS

Contrairement aux matériaux sombres qui absorbent l'énergie solaire, surchauffent puis réchauffent l'air, les revêtements à fort albédo **réfléchissent une grande partie du rayonnement solaire** et restent ainsi « frais ». Leur utilisation permet donc de ralentir la formation d'îlots de chaleur urbains (température plus élevée dans les milieux urbains que dans les zones rurales environnantes) et de **réduire l'inconfort thermique extérieur** des usagers de manière générale.

GUIDE DE MISE EN PLACE

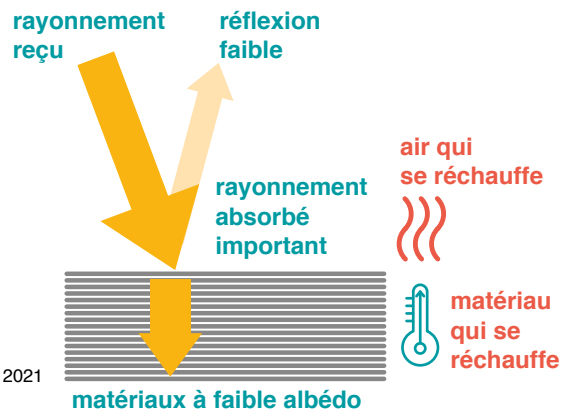
Des revêtements à fort albédo peuvent être mis en place dans le cadre de voiries neuves et existantes. Pour les voiries neuves ou en cas de rénovation importante, il est recommandé de choisir des matériaux clairs. Pour les voiries existantes, il est possible d'améliorer l'albédo des surfaces minéralisées grâce aux **pavés inversés** (granulat à fort albédo disposé sur une fine couche de bitume), **à l'asphalte et au béton colorés** (ajout de pigments réfléchissants afin d'augmenter la réflectivité des matériaux) et à **l'ajout d'une couche superficielle de béton** sur une chaussée de bitume (le béton a en effet un albédo un peu plus élevé que le bitume).

L'asphalte, le béton et le granit sont des matériaux à éviter car ils piègent la chaleur durant la journée et la restituent pendant la nuit.

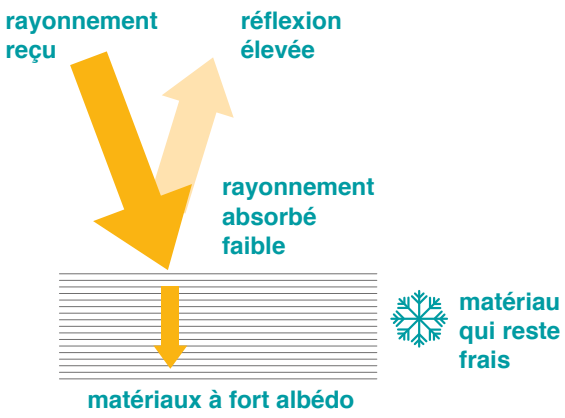
Afin de conserver leurs propriétés réfléchissantes, les revêtements de voiries clairs doivent être **entretenus régulièrement** car ils se salissent plus rapidement qu'un revêtement foncé.

Les revêtements clairs et/ou réfléchissants seront à éviter dans le cadre de grandes places minéralisées si elles ne disposent ni de point d'eau, ni de végétation, car les rayons solaires réfléchis par les voiries à fort albédo peuvent augmenter l'inconfort thermique des usagers. Les stratégies d'ombrage peuvent également être plus appropriées.

ILLUSTRATION DES PROPRIÉTÉS RÉFLÉCHISSANTES DES REVÊTEMENTS DE VOIRIE À FORT ALBÉDO



© OID, 2021



FREINS ET LEVIERS

⊕ Les revêtements de voiries à fort albédo peuvent être combinés à des revêtements perméables qui permettent à la fois d'améliorer le confort thermique et de lutter contre les inondations. Alors que les revêtements clairs ou réfléchissants présentent l'avantage **de résister à une circulation importante de véhicules** et pourront donc être mis en place sur les chaussées, ce n'est pas le cas d'une majorité des revêtements perméables, qui seront plutôt utilisés pour les trottoirs, pistes cyclables et espaces de stationnement.

⊖ Parce qu'ils renvoient une grande partie des rayonnements solaires, les revêtements à fort albédo peuvent **éblouir les individus et causer une gêne quotidienne.** La biodiversité locale est aussi impactée : de jeunes arbres plantés à proximité d'une surface réfléchissante sont susceptibles de prendre des « coups de soleil ».

⊕ Pour les mêmes raisons, ce type de revêtement permet **d'augmenter la sécurité des usagers** de la route la nuit (car les objets et personnes sont plus visibles) et de **réduire les dépenses en éclairage** de nuit.

⊕ Les revêtements à fort albédo peuvent être utilisés à l'échelle de la ville ou du bâtiment pour améliorer le confort thermique des usagers.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Pollution de l'eau

Les revêtements de voiries rafraîchissants peuvent avoir des impacts environnementaux négatifs, notamment la pollution de l'eau. Il est crucial de prendre en compte les matériaux et les produits chimiques utilisés tout au long de leur cycle de vie, de la fabrication à l'application et à la fin de vie. Certains de ces revêtements contiennent des agents chimiques conçus pour réduire l'absorption de la chaleur. Lorsque ces revêtements sont exposés à la pluie, les agents chimiques peuvent être lessivés et finir dans les systèmes de drainage, les cours d'eau ou les plans d'eau, ce qui peut être toxique pour la faune aquatique et perturber l'équilibre écologique.

Augmentation de l'empreinte carbone

Modifier les revêtements de voiries pour augmenter leur albédo peut avoir un impact significatif sur l'empreinte carbone des projets, notamment en raison de la fabrication, du transport, de l'installation des nouveaux matériaux, et de la gestion des déchets liés au retrait des revêtements existants. Plutôt que de démolir et reconstruire, il est préférable d'adapter les infrastructures de voirie existantes. Il est donc essentiel d'évaluer attentivement l'équilibre entre la nécessité d'ajuster l'albédo des voiries et l'impact carbone intrinsèque de chaque projet.

Amplification de la pollution lumineuse

La pollution lumineuse résulte de la diffusion excessive de la lumière artificielle dans l'atmosphère nocturne, émanant notamment de l'éclairage public, des bâtiments, des publicités lumineuses, etc. Le déploiement massif de voiries à fort albédo en zone urbaine pourrait les transformer en miroirs, réfléchissant la lumière des lampadaires, enseignes lumineuses, et autres sources lumineuses, contribuant ainsi à la pollution lumineuse qui perturbe la biodiversité et les écosystèmes nocturnes.

REPÈRES DE SUIVI

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de surface de revêtements de voiries avec un albédo supérieur à 0,4 (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison entre la température de voiries et celle d'une situation témoin* (°C)	Température de voiries avec fort albédo < celle de l'espace témoin*

**La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

RÉGLEMENTATION / CRITÈRE

- On parle d'**albédo** fort lorsque celui-ci est **proche de 1**. Un revêtement est caractérisé avec un **albédo faible** s'il est compris entre **0 et 0,4** (ADEME, 2021). On privilégiera un albédo supérieur à 0,4.

OUTIL

- L'**albédomètre** est formé de deux pyranomètres identiques opposés : un dirigé vers le haut (ciel), l'autre vers le bas (terre). Le pyranomètre dirigé vers le haut mesure l'éclairement énergétique global (direct + diffus) incident sur le terrain tandis que celui dirigé vers le bas mesure l'éclairement énergétique global réfléchi par le terrain (C2AI,2020).

EN SAVOIR PLUS

AdaptaVille (2021), Revêtements routiers anti-bruit et anti-chaleur : trois formules testées à Paris.

ADEME (2012), Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain à destination des collectivités territoriales

ADEME (2021), Rafraîchir les villes, des solutions variées

Institut national de Santé Publique Québec (2009), Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains

Ville de Paris (2023), Mission d'information et d'évaluation du Conseil de Paris - Paris à 50 degrés : s'adapter aux vagues de chaleur

CRÉER UNE TOITURE VÉGÉTALISÉE

ALÉA



CHALEURS



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



ENVELOPPE



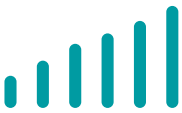
EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

La végétalisation des toitures apparaît aujourd'hui comme un levier efficace pour améliorer la résilience des bâtiments face au changement climatique, en protégeant le bâtiment des variations des températures notamment lors des vagues de chaleur, et en jouant un rôle de régulateur de l'écoulement des eaux pluviales lors de fortes pluies. Il existe trois types de végétalisation selon l'épaisseur du substrat : extensives, semi-intensives, et intensives.

IMPACTS

La végétalisation d'une toiture apporte divers bénéfices :

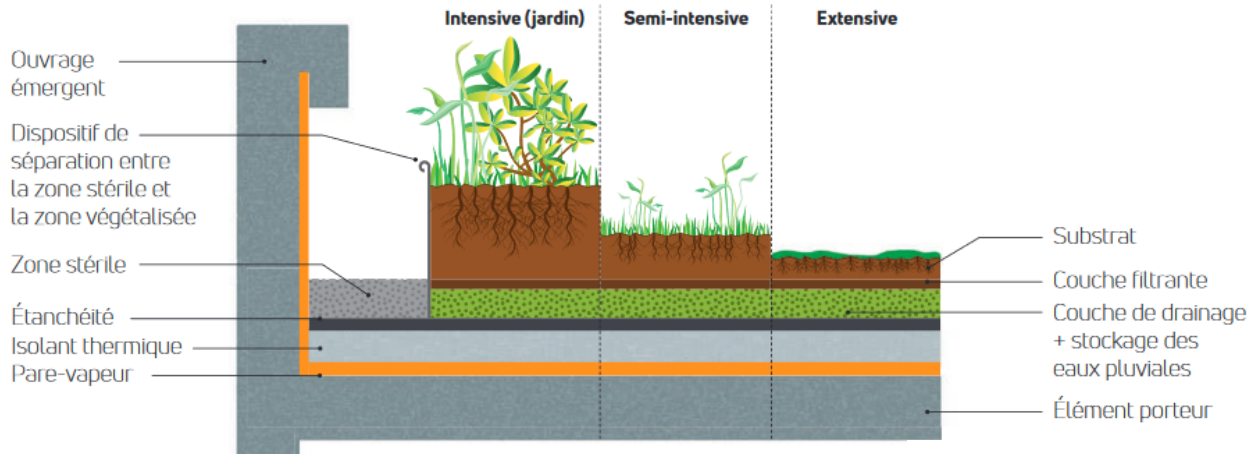
- **Amélioration du confort thermique** des occupants du bâtiment par une régulation naturelle de la température et de l'humidité du bâtiment (jusqu'à 40 % de réduction des variations de température) ;
- **Réduction des consommations** énergétiques en chauffage et climatisation. Résultat variable selon la conception et le contexte environnemental pouvant aller jusqu'à 98 % pour les besoins en climatisation
- **Protection de la membrane d'étanchéité** du toit qui n'est plus exposée aux UV, différences de températures et intempéries (durée de vie de 30 à 50 ans plus longue) ;
- **Rétention des eaux pluviales** par absorption d'une partie des pluies (jusqu'à 50 % annuellement) et désengorgement des réseaux favorisant un bon écoulement.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Le choix d'un modèle de toiture dépend de l'inclinaison de la toiture, de la charge que peut supporter le toit, du type de végétaux souhaités, de l'accessibilité et des usages présents sur le toit, de l'entretien des végétaux ainsi que du budget de l'opération. Le tableau ci-contre détaille les caractéristiques des différentes toitures extensives, semi-intensives et intensives :

TYPE DE TOITURE	EXTENSIVE	SEMI-INTENSIVE	INTENSIVE
EPAISSEUR DU SUBSTRAT	4 à 12 cm	12 à 30 cm	> 30 cm
TYPE DE VÉGÉTATION	Succulentes, bulbes, mousses, herbacées non ligneuses (8 à 12cm) …	Arbrisseaux, vivaces herbacées, vivaces ligneuses, graminées …	Arbres, arbustes, vivaces…
CHARGE	100 kg/m²	150 à 350 kg/m²	> 600 kg/m²
PENTE MAXIMALE	20 %	5 %	5 %
ENTRETIEN	Faible (1 à 2 fois par an)	Moyen (3 à 4 fois par an)	Important (type jardin)

REPRÉSENTATION DES ÉLÉMENTS DE COMPOSITION D'UNE TOITURE VÉGÉTALISÉE



Source : Adopta (2019)

A noter que des zones dites « stériles », de 40 cm minimum de largeur, doivent être mises en place en périphérie des parties végétalisées afin d'en assurer l'étanchéité.

FREINS ET LEVIERS

⊕ La végétalisation des toitures est d'autant plus intéressante que **les toitures couvrent des surfaces non négligeables** des espaces urbains (10 % en moyenne), et que ces espaces ne possèdent que peu de compétition pour leur utilisation, hormis le développement des panneaux photovoltaïques. Les installations photovoltaïques et la végétalisation des toitures n'entrent pas en compétition s'ils sont pensés conjointement dès la conception de la toiture. Au contraire des synergies existent comme l'augmentation du rendement photovoltaïque par rafraichissement issu de l'évapotranspiration.

⊕ Dans le cadre de la Loi Energie Climat**, certains bâtiments tertiaires sont contraints de végétaliser un tiers de leur surface de toiture**, ou de les couvrir de panneaux photovoltaïques.

⊕ Pour les toitures non adaptées, il est possible d'utiliser des matériaux ou revêtements clairs et réfléchissants qui garantiront un confort thermique en période estivale.

⊕ Les toitures végétalisées peuvent être un **support de biodiversité** en fournissant abris et nourriture à la faune urbaine tout en contribuant à la connectivité écologique sous forme de patch. Du fait de la particularité du milieu, une attention particulière doit être portée lors de l'élaboration de la palette végétale.

⊖ L'installation d'une toiture végétalisée sur un bâtiment déjà existant est **complexe du fait de la charge supplémentaire**, surtout s'il s'agit d'une toiture intensive ou semi-intensive.

⊖ Si elles sont mieux adaptées au bâti existant, les **toitures extensives**, du fait de la finesse du substrat, ne sont cependant **pas accessibles par les usagers** du bâtiment et ont un bénéfice moindre pour la biodiversité et les services écosystémiques associés.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Fragilisation du bâtiment

La conception d'une toiture végétalisée est un procédé complexe. Si les choix de végétalisation ne sont pas adaptés à la structure du bâtiment, celle-ci peut être fragilisée et une problématique d'infiltration de l'eau pluviale peut être rencontrée. Un risque pour les usagers existe alors.

Inefficacité des co-bénéfices

Par ailleurs, négliger l'étape du choix de la palette végétale peut rendre le projet inefficace voire entrainer des retombées néfastes sur la biodiversité. Si les essences végétales choisies ne sont pas adaptées aux conditions particulières des toitures (vents, pente, épaisseur faible du substrat, etc.) les plus-values attendues pour l'adaptation au changement climatique ne seront atteintes.

Pression pour la biodiversité locale

Si la toiture accueille des espèces exotiques envahissantes des phénomènes de compétition interspécifique peuvent naître, constituant alors une pression sur la biodiversité locale.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- ✓ AVOIR LE PLUS POSSIBLE RECOURS À DES ESPÈCES LOCALES
- ✓ ADAPTER LA PALETTE VÉGÉTALE AUX CLIMATS ACTUELS ET FUTURS
- ✓ ADAPTER LA PALETTE VÉGÉTALE AUX CONDITIONS EN TOITURE (HAUTEURS, VENTS, PENTE, ETC.)
- ✓ RECOURIR À PLUSIEURS ÉPAISSEURS ET NATURES DE SUBSTRAT
- ✓ ASSURER LA PRÉSENCE D'UN SYSTÈME DE RÉCUPÉRATION DES EAUX PLUVIALES AFIN DE PERMETTRE L'IRRIGATION DE LA VÉGÉTATION EN TOITURE
- ✓ INSTALLER DES REFUGES POUR LA FAUNE (TAS DE BOIS, TAS DE ROCHES, NICHOIRS À OISEAUX, ETC)
- ✓ AVOIR UNE ÉPAISSEUR DE SUBSTRAT SUPÉRIEURE À 8 CM
- ✓ FAIRE APPEL À UN ÉCOLOGUE DURANT LA PHASE DE CONCEPTION

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Part de la toiture végétalisée par rapport à la surface totale de la toiture	La plus élevée possible en tenant compte de la structure du bâtiment
★ Type de toiture installée (extensive, semi-intensive ou intensive)	Si possible, tendre vers une toiture intensive
+/− Nombre de strates végétales	A maximiser
+/− Calcul du CBS-TTV décrit dans le GreenRoofScore selon l'épaisseur de substrat et le type de végétation (sans unité)	A maximiser
+/− Consommation d'eau pour irrigation (m^3)	A minimiser
+/− Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison entre la température de la toiture végétalisée et celle sur une situation témoin* (°C)	Température de la toiture végétalisée < Température témoin
+/− Comparaison entre la consommation énergétique (kWh) liée au chauffage et à la climatisation avant et après végétalisation de la toiture	Consommation énergétique (kWh) avant > consommation énergétique (kWh) après
+/− Performance écosystémique du projet calculée via le GreenRoofScore	Note la meilleure possible
+/− Capacité maximale en eau (CEM) du substrat (l/m^2) (protocole de calcul à l'annexe G du référentiel GreenRoofScore)	A maximiser
+/− Capacité de rétention en eau de la toiture	A maximiser
+/− Capacité de la structure de stockage d'eau destinée à l'irrigation de la végétation (l/m^2)	A maximiser selon les capacités de la toiture (structure, surface, etc.)
+/− Abattement pluvial de la toiture (%)	A maximiser
+/− Débit de fuite de la toiture (l/s. m^2) (voir repères de suivi)	A minimiser
+/− Réduction du ruissellement en aval des toitures via l'outil Faveur du Cerema	A maximiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

DÉFINITIONS

- **Capacité de rétention en eau de la toiture :** quantité d'eau (volume/m^2 de toiture) retenue par le substrat après saturation en eau pendant 24 heures puis ressuyage pendant deux heures.
- **Structure(s) de stockage d'eau destinée à l'irrigation de la végétation :** dispositif additionnel au substrat qui permet de stocker de l'eau sur la toiture ou au sol et d'irriguer la végétation.
- **Abattement pluvial de la toiture :** quantité d'eau de pluie captée par le substrat et consommée par la toiture végétalisée (évaporation par le substrat et transpiration par la végétation).
- **Débit de fuite de la toiture :** volume d'eau pluviale rejeté par la toiture lors d'un épisode pluvieux.

OUTIL

- GreenRoofScore **:** Référentiel développé par l'Adivet visant à évaluer les performances des toitures végétalisées en termes de services écosystémiques.
- Faveur **:** Outil développé par le Cerema afin d'évaluer les performances hydriques des toitures terrasses végétalisées.

EN SAVOIR PLUS

Adivet (2023), Règles professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées

Adopta (2019), La toiture végétalisée

De Munck (2013), Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville

Adivet (2023), GreenRoofScore

DÉSOLIDARISER LES ÉLÉMENTS DE STRUCTURE

ALÉA



SÉCHERESSES

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION

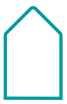


RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



FONDATIONS



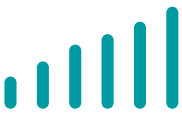
ENVELOPPE

COÛT

€ € €

faible moyen élévé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

Lorsqu'un bâtiment construit sur un sol argileux possède des éléments de construction accolés (garage, véranda, etc.), ceux-ci doivent être séparés du bâtiment principal par un joint de rupture qui permettra à chaque partie du bâtiment d'absorber les tassements différentiels liés aux mouvements du sol. En effet, sur un terrain exposé au retrait-gonflement des argiles (RGA), la teneur en eau hétérogène du sol entraîne des mouvements différentiels du sol.

IMPACTS

La pose d'un joint de rupture permet au bâti de mieux s'adapter aux mouvements du sol, en laissant chaque partie du bâtiment bouger librement, et **limite ainsi les risques de désordres** au niveau de la structure du bâti. En effet, si la structure d'un bâtiment est trop rigide, les mouvements du sol peuvent entraîner des fissurations au niveau de la jonction entre les éléments de structure ou pire, un décollement des bâtiments accolés.

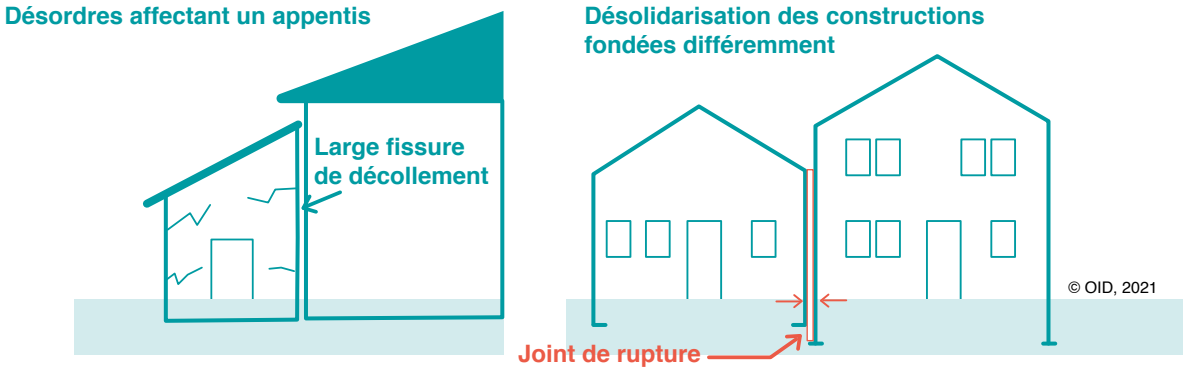
GUIDE DE MISE EN PLACE

Lorsqu'un bien se trouve sur un terrain exposé au RGA, il est important de **réaliser un joint de rupture** entre toutes les parties du bâtiment qui ne possèdent pas les mêmes fondations ou qui exercent des charges variables (c'est-à-dire qui ne font pas le même poids). Il est également fortement recommandé de **poser un joint de rupture lors d'un projet d'extension du bâtiment existant**. De manière générale, afin de prévenir la fissuration de la structure du bâtiment, il est possible de **poser des joints de dilatation** (non spécifiques au risque de RGA), qui permettront d'absorber les déformations du bâti dues aux variations de températures. La **pose de joints parasismiques** peut remplacer celle de joints de rupture si le bâtiment se trouve en zone sismique.

Lorsque qu'un joint de rupture est posé, les deux parties du bâtiment sont désolidarisées entièrement. En effet, il s'agit de créer un vide entre les blocs qui constituent le bâtiment. Un joint en élastomère est ensuite inséré à l'intérieur de ce vide.

Pour être efficace, un joint de rupture doit être **mis en œuvre sur toute la hauteur du bâtiment** (y compris les fondations).

ILLUSTRATION DES DÉSORDRES ÉVITÉS ET D'UNE DÉSOLIDARISATION DE DEUX ÉLÉMENTS BÂTIS



Source : ministère de la Transition écologique (2008)

FREINS ET LEVIERS

- La mise en place d'un joint de rupture sur un bâtiment existant est une **opération chère et délicate** car elle implique une reprise en sous-œuvre des fondations, qui pourrait déstabiliser le bâti. Elle est donc plus facile à mettre en œuvre dans le cadre d'un projet de construction.
- La pose de joints de rupture est **particulièrement indiquée pour les bâtiments à forte emprise foncière** (plusieurs centaines de mètres carrés au sol).
- Afin de limiter au maximum les dégâts liés aux mouvements des sols, des dispositifs de contrôle du taux d'humidité du sol et des dispositifs de rigidification de la structure du bâtiment peuvent également être mis en place. Les fondations du bâtiment doivent être adaptées aux risques identifiés.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Problèmes structurels à long terme

L'utilisation de joints de rupture, de dilatation ou parasismiques dans un bâtiment peut créer des points faibles à cause de l'accumulation de débris, d'humidité et de vulnérabilités aux infiltrations d'eau. Les matériaux utilisés pour les joints peuvent se dégrader avec le temps en raison des conditions environnementales (rayons UV, variations de température, etc.) compromettant leur efficacité. Le manque d'entretien régulier et les facteurs extérieurs (mouvements sismiques, vibrations liées à la circulation ou aux activités humaines, etc.) pourraient impacter la stabilité de ces joints et donc contribuer à des problèmes structurels à long terme.

Inadéquation des mesures d'adaptation au changement climatique

Les impacts du changement climatique, tels que l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes (tempêtes, inondations et sécheresses par exemple) peuvent avoir des effets significatifs sur les mouvements du sol et les réponses structurales des bâtiments. Si les joints de rupture ne sont pas adaptés pour faire face à ces conditions climatiques changeantes, cela pourrait entraîner des problèmes de stabilité structurelle, d'humidité, voire de détérioration prématurée des éléments de construction. Pour prévenir cela, il est impératif que les experts de la construction et de la conception intègrent les prévisions climatiques et les incertitudes liées au changement climatique dès la conception et l'installation des joints, tout en prévoyant des marges de sécurité pour affronter les scénarios climatiques les plus extrêmes.

REPÈRES DE SUIVI

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de joint de rupture/parasismique/de dilation entre toutes les parties du bâtiment qui ne possèdent pas les mêmes fondations ou avec des charges variables ou projet d'extension du bâtiment existant (%)	A maximiser
+/− Pourcentage de fissures supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieures à 10 cm de longueur surveillées (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Nombre de fissures supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieure à 10 cm de longueur au niveau des jonctions entre les éléments de structure	A minimiser
+/− Nombre total de fissures supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieure à 10 cm de longueur	A minimiser
+/− Nombre de fissures supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieures à 10 cm de longueur dont l'ouverture et/ou la longueur a augmenté	Absence d'élargissement de ces fissures au cours du temps
+/− Largeur de l'écartement visible entre les bâtiments accolés (mm)	A minimiser

RÉGLEMENTATION / CRITÈRE

- Les **fissures ayant plus d'1 mm d'ouverture** sont à surveiller plus rigoureusement. Pour la longueur, cela dépend de l'élément concerné mais il est conseillé de surveiller à partir de 10 cm (Baticopro, 2020).

OUTIL

- Une **jauge d'ouverture de fissure** est un dispositif utilisé pour mesurer et surveiller l'ouverture ou l'écartement d'une fissure dans une structure. Elle est généralement composée d'une échelle graduée fixée de chaque côté de la fissure et d'un indicateur mobile qui permet de mesurer précisément l'écartement entre les deux côtés de la fissure.

EN SAVOIR PLUS

BRGM (2009), Rapport final du projet ARGIC (Analyse du Retrait-Gonflement des Argiles et de ses Incidences sur les Constructions)

Ifsttar et Ineris (2017), Retrait-gonflement des argiles – Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse.

Lavarde, C. (2023), Rapport d'information fait au nom de la commission des finances sur le financement du risque de retrait gonflement des argiles et de ses conséquences sur le bâti

OID (2020), Fiche aléa – Sécheresse & retrait-gonflement des argiles

INSTALLER DES DISPOSITIFS ANTI-EAU

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT



REZ-DE-CHAUSSÉE



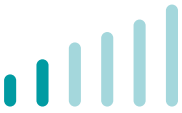
SOUS-SOL

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



faible

Lorsqu'un bâtiment est exposé aux risques d'inondation ou de submersion marine et qu'il n'est pas possible de le maintenir hors d'atteinte de l'eau, des dispositifs anti-eau peuvent être installés afin de limiter les dégâts causés par l'eau et/ou le sel. Il s'agit d'obstruer l'ensemble des orifices par lesquels l'eau est susceptible d'entrer pour retarder voire empêcher la pénétration de l'eau dans le bâtiment. Ces dispositifs s'inscrivent dans la stratégie Résister à l'eau et peuvent être mis en œuvre dans le cadre de bâtiments neufs ou existants.

IMPACTS

Les dispositifs mis en place afin de limiter la pénétration de l'eau permettent, dans une certaine mesure, de **préserver l'intérieur du bâtiment** et de réduire, parfois de manière considérable, le délai de retour à la normale.

L'efficacité de tels dispositifs est cependant soumise à quelques conditions :

(1) la **hauteur d'eau maximale** ne doit pas dépasser 1 mètre ;

(2) la **durée de submersion** doit être limitée (pas plus de 48 heures) ;

(3) le **délai d'alerte** (temps entre l'annonce de l'arrivée de l'eau et son arrivée réelle au niveau du bâtiment) doit être suffisant afin de permettre la mise en place des dispositifs d'obstructions temporaires.

Si l'une ou plusieurs des conditions listées ci-dessus ne sont pas remplies, d'importantes conséquences matérielles (endommagement des espaces intérieurs ou de la structure du bâti) et humaines (mise en péril de l'intégrité physique des occupants) sont à craindre.

GUIDE DE MISE EN PLACE

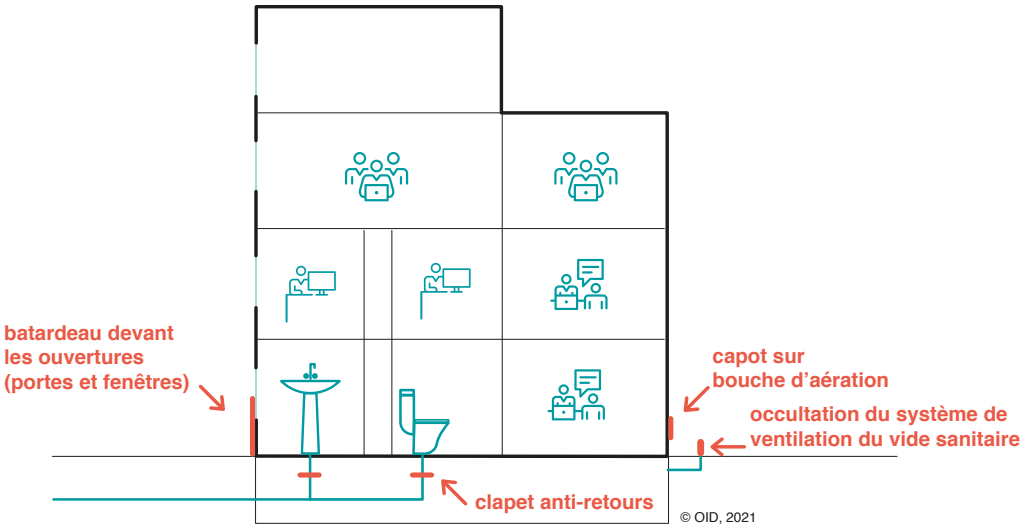
Afin de limiter la pénétration de l'eau dans le bâtiment, il est recommandé :

- De vérifier l'efficacité du **système de ventilation du vide sanitaire** et d'installer un système d'occultation ;
- D'installer des **clapets anti-retours** sur les canalisations d'évacuation des eaux usées et eaux pluviales pour éviter une remontée des eaux usées dans le bâti ;
- D'**occulter les ouvertures basses** du bâtiment à l'aide de capots amovibles (soupirail, bouches d'aération) ;
- D'éviter les portes et les fenêtres, et de s'équiper de **batardeaux fixes ou amovibles** ;
- D'installer un **dispositif d'obstruction automatique** sur les cuves d'hydrocarbures tout en effectuant un ancrage sur un radier en béton armé.

Il est également possible de **construire un muret** autour du bâtiment afin de protéger les murs et les ouvertures de la force du courant.

L'efficacité des dispositifs anti-eau amovibles, comme les batardeaux, reposant en partie sur la **capacité des occupants du bâtiment à réagir** en cas d'épisode climatique violent, il est conseillé de sensibiliser les usagers aux risques climatiques auxquels ils sont exposés et aux dispositifs de secours mis en place.

ILLUSTRATION DE PLUSIEURS DISPOSITIFS ANTI-EAU



FREINS ET LEVIERS

⊖ Parce qu'elle **incite les occupants à rester dans le bâtiment**, la mise en place de dispositifs anti-eau peut être dangereuse. La vie des personnes présentes à l'intérieur du bâtiment peut être mise en péril si les dispositifs fonctionnent mal ou si la hauteur d'eau dépasse celle des dispositifs : les personnes se retrouvent alors piégées dans un bâtiment qui se remplit d'eau.

⊕ La mise en place de dispositifs anti-eau doit ainsi se faire dans le **respect des conditions d'efficacité mentionnées plus haut** et s'accompagner de la création d'une zone refuge avec si possible un accès vers l'extérieur (velux, trappe, etc.).

⊕ Les **dispositifs anti-eau peuvent faillir**, c'est pourquoi il est recommandé de concentrer les équipements essentiels aux étages supérieurs ou de les surélever au-dessus du niveau des plus hautes eaux connues (PHEC). Afin de protéger les réseaux, ceux situés sous 1 mètre (gaz, électricité, télécoms) doivent être étanchéifiés.

⊕ Le fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM), dit fonds Barnier, apporte un soutien financier aux mesures de prévention et de protection contre les risques naturels majeurs selon le cadre fixé par la loi. Il est accessible aux collectivités territoriales, aux petites entreprises, aux particuliers, aux établissements publics fonciers et aux services de l'État.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Surpression hydraulique

Lorsque l'eau rencontre les dispositifs anti-eau installés pour bloquer les ouvertures du bâtiment, une pression hydraulique peut se former. Si les dispositifs ne peuvent pas résister à cette pression ou si elle devient trop élevée, cela peut entraîner des incidences négatives : contrainte sur les murs et les fondations, fissures dans les murs, planchers et plafonds, risque d'infiltration d'eau, détérioration structurelle, voire déformations permanentes ou dégâts importants.

Déviation des eaux

L'utilisation de dispositifs anti-eau pour protéger un bâtiment peut dévier l'eau sur d'autres parties du site ou des bâtiments voisins non protégés, augmentant ainsi le risque d'inondation dans ces endroits. Le report de vulnérabilité peut également affecter les infrastructures, les terres agricoles et les équipements environnants. Une approche intégrée de gestion des risques est essentielle. Cela implique de considérer l'ensemble du site et de coordonner les efforts avec les propriétaires voisins et les autorités locales.

Négligence des stratégies de résilience à long terme

L'utilisation de dispositifs anti-eau, bien qu'utile à court terme pour protéger un bâtiment des inondations imminentes, peut retarder la mise en place de mesures permanentes essentielles pour renforcer la résilience du bâtiment face aux inondations et aux changements climatiques futurs. Il est donc important de les considérer comme temporaires et complémentaires, en adoptant une approche globale intégrant différentes stratégies pour réduire la vulnérabilité à court et à long terme. En plus des dispositifs anti-eau, la mise en œuvre de mesures structurelles permanentes, comme la surélévation des bâtiments, assure une protection à long terme contre les inondations dues au changement climatique.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- CRÉER UNE ZONE REFUGE AVEC UN ACCÈS VERS L'EXTÉRIEUR (VELUX, TRAPPE, ETC.)
- VÉRIFIER QUE LES DISPOSITIFS ANTI-EAU SONT EN BON ÉTAT DE FONCTIONNEMENT ET PRÊTS À ÊTRE UTILISÉS EN CAS D'INONDATION

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/- : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/- Pourcentage d'ouvertures au sol munies de batardeaux fixes ou amovibles (%)	A maximiser
+/- Pourcentage de systèmes de ventilation du vide sanitaire avec système d'occultation (%)	A maximiser
+/- Pourcentage de canalisations d'évacuation des eaux usées et eaux pluviales équipées de clapets anti-retour (%)	A maximiser
+/- Pourcentage de capots amovibles à disposition pour occulter toutes ouvertures basses (soupirail, bouches d'aération etc.) (%)	A maximiser
+/- Pourcentage de cuves d'eau/ hydrocarbures avec dispositif d'obstruction automatique (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/- Hauteur d'eau atteinte dans le bâtiment lors d'une inondation (cm)	A minimiser

EN SAVOIR PLUS

AdaptaVille (2021), Installer des batardeaux et des barrières anti-inondations

Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (CEPRI) (2010), Le bâtiment face à l'inondation, vulnérabilité des ouvrages. Aide-mémoire

Cerema (2016), Référentiel national de vulnérabilité aux inondations

Episeine (2023), Dispositifs de protection contre les inondations : particuliers

LIMITER LA PRISE AU VENT DES ÉQUIPEMENTS

ALÉA



TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION

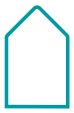


RÉNOVATION



EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT



ENVELOPPE

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Lorsqu'un bâtiment se trouve dans une zone exposée aux vents violents, les équipements du bâti (toitures, gouttières, menuiseries extérieures, clôtures, panneaux photovoltaïques etc.) peuvent être endommagés voire arrachés lors de tempêtes. Afin d'éviter cela, il est important de s'assurer que les équipements du bâti et ceux alentours sont capables de résister à la pression des vents et ne représentent pas un danger pour l'intégrité du bâti et la sécurité de ses occupants. Si ces équipements ne sont pas assez solides, des travaux peuvent être envisagés afin de les renforcer, de les déplacer, voire de les supprimer.

IMPACTS

Limiter la prise au vent des équipements permet de limiter les dégâts, souvent conséquents, subis par le bâti en cas de tempêtes : envol d'une partie de la toiture, effondrement des gouttières, infiltrations d'eau, etc. Le bâtiment ainsi préservé pourra **continuer à assurer tout ou partie de ses fonctions** (d'hébergement, de bureau, etc.), limitant les pertes économiques dues à un délai de retour à la normale long.

Cela participe également à la **protection des occupants du bâtiment et les usagers** de la rue qui peuvent être menacés par l'envol ou l'effondrement de certaines installations.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Plusieurs actions peuvent être mises en place afin de limiter la prise au vent des équipements, en se basant notamment sur les résultats d'une étude aéraulique :

- Bien positionner les équipements : on veillera à limiter la prise au vent de la toiture, notamment en évitant les débords de toits trop longs et en assurant une inclinaison de toit suffisante. De la même manière, il est recommandé d'installer certains équipements tels que les antennes et les paraboles à l'abri du vent : on évitera par exemple, une implantation sur une cheminée.

- Favoriser les formes aérodynamiques : lors de la conception du bâtiment et de la sélection des équipements du bâti on privilégiera les formes qui limitent la prise au vent, comme par exemple les arrondis.

- Vérifier régulièrement l'état des équipements et bien les fixer : il s'agit de faire régulièrement le tour du bâtiment afin de s'assurer que tous les équipements sont en bon état et correctement fixés. Si cela n'est pas le cas ou lors de la mise en place de nouveaux équipements il est important de les fixer solidement.

- Vérifier régulièrement l'état et la fixation des éléments : cela implique de parcourir périodiquement l'ensemble du bâtiment pour garantir qu'ils sont tous en bonne condition et correctement positionnés. En cas de non-conformité ou lors de l'introduction de nouveaux équipements, il est primordial de les ancrer de manière robuste.

- Mettre à l'abri les équipements amovibles du bâtiment avant la tempête : en surveillant les conditions météorologiques, il est possible d'anticiper les épisodes de vents violents et ainsi de rentrer à l'intérieur du bâtiment les équipements non-fixes (protections solaires amovibles, etc.). Il est également conseillé de développer une stratégie et des procédures de mise en sûreté des équipements et de désigner un responsable qui sera en charge de mener à bien cette stratégie.



Bâtiment endommagé par une tempête (Edimbourg, Grande-Bretagne)

FREINS ET LEVIERS

- En France, la conception, l'inclinaison et les matériaux de toitures sont encadrés par de nombreuses normes locales (e.g. Plan Locaux d'Urbanisme) et nationales (e.g. règles NV 65) qui peuvent répondre à des impératifs de sûreté ou d'esthétisme.
- Afin de se prémunir au maximum des dégâts humains et matériels dus aux épisodes de tempête, limiter la prise au vent des équipements doit s'inscrire dans une stratégie de lutte contre les vents violents plus large qui requiert :

  - de s'informer régulièrement des risques de tempêtes grâce à des plateformes telles que Météo France ;

  - de sensibiliser les occupants aux risques encourus, aux dispositifs de secours mis en place et aux bons comportements à adopter ;

  - d'élaborer un plan de mise en lieu sûr des biens légers, précieux ou dangereux (véhicules, matières toxiques, etc.).

MALADAPTATION

Le 5e rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), publié en 2013, indique qu'il est probable que les trajectoires des tempêtes de l'hémisphère Sud se déplacent légèrement vers le pôle Sud. Par conséquent, il est impératif que la conception et l'utilisation des équipements dans cette région tiennent compte de cette évolution. Prenons l'exemple de l'île de La Réunion pour illustrer davantage ce point. La Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) Réunion 2016-2023 y établit des objectifs de développement particulièrement ambitieux pour l'énergie photovoltaïque. Ceux-ci englobent notamment le développement des petits projets en toiture (du particulier aux grandes toitures industrielles et commerciales) ainsi que les ombrières photovoltaïques sur parkings. Cependant, une **attention accrue devra être portée aux fixations des panneaux photovoltaïques**, étant donné qu'ils pourraient être exposés à des vents plus fréquents et violents. En revanche, le GIEC n'accorde qu'un faible degré de confiance à la projection de l'évolution des trajectoires des tempêtes dans l'hémisphère Nord. Cette forte incertitude se confirme à l'échelle de la France métropolitaine puisque les études actuelles ne permettent pas de mettre en évidence une tendance future notable sur l'évolution du risque de vent violent lié aux tempêtes à l'horizon 2050 ou à l'horizon 2100. Dans ce contexte d'incertitudes, l**a conception actuelle des équipements, basée sur des normes de résistance aux vents passés et ignorant l'éventualité de vents plus puissants**, pourrait entraîner la défaillance des dispositifs de renforcement lors de tempêtes plus intenses. De plus, les mesures de renforcement pourraient ne pas convenir pour faire face à des circonstances imprévues telles que les changements de trajectoire des tempêtes ou les impacts spécifiques du changement climatique au niveau local.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- METTRE EN PLACE UNE STRATÉGIE ET PROCÉDURES DE MISE EN SÛRETÉ DES ÉQUIPEMENTS
- DÉSIGNER UN RESPONSABLE EN CHARGE DE CETTE STRATÉGIE

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/- : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/- Pourcentage d'équipements du bâtiment (toitures, gouttières, menuiseries extérieures, clôture, panneaux photovoltaïques etc.) fortement exposés au vent (%)	A minimiser
★ Date du dernier entretien de la toiture	Cet entretien doit être compris dans les derniers 12 mois
+/- Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre
+/- Pourcentage de personnes formées aux procédures de mise en sûreté des équipements en cas de tempêtes (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/- Pourcentage du nombre d'équipements du bâtiment endommagés voire arrachés lors de tempêtes (%)	A minimiser

NOTION / DÉFINITION

- Un **vent** est en général estimé **violent** donc dangereux lorsque sa vitesse atteint 80 km/h en vent moyen et 100 km/h en rafales dans l'intérieur des terres. Mais ce seuil varie selon les régions, il est par exemple plus élevé pour les régions littorales ou la région sud-est. Sur terre, on parle de tempête quand la dépression génère des rafales supérieures à 90 km/h (Météo-France, 2023).

RÉGLEMENTATION / CRITÈRE

- Il est essentiel **d'entretenir régulièrement la toiture**, avec une **fréquence d'au moins une à deux fois par an**. D'une part, l'entretien peut être réalisé juste après l'hiver, lorsque le printemps est bien établi. À ce moment-là, il est judicieux de vérifier les éventuels dégâts causés par les températures négatives, le gel et la neige. D'autre part, en automne, il faudra enlever les différents végétaux accumulés (Matmut, 2021).

EN SAVOIR PLUS

Assurance Prévention (2020), Comment réagir face à une tempête ?

Axa (2022), Comment éviter et prévenir les dégâts d'une tempête ?

Futura-Sciences (2018), Cyclones – Prévention et secours

Météo-France (2020), Tempêtes et changement climatique

Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) (2018), Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique

AMÉLIORER L'ISOLATION ET L'INERTIE DES PAROIS OPAQUES

ALÉA



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



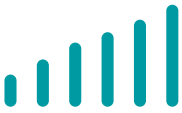
ENVELOPPE

COÛT

€ € €

faible **moyen** élévé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

Afin de protéger efficacement un bâtiment de la chaleur, il est essentiel de s'assurer que les parois opaques bénéficient d'une bonne isolation, qui doit permettre de limiter les déperditions de chaleur en hiver, ou la pénétration de chaleur en été. Une bonne inertie doit également être garantie, permettant ainsi de stabiliser la température à l'intérieur du bâti en ralentissant les variations de températures. Afin d'assurer une meilleure isolation et inertie du bâti on jouera à la fois sur la technique de mise en œuvre des isolants et les matériaux utilisés pour l'isolation et les revêtements.

IMPACTS

Face à l'augmentation de la température, à l'intensification et à la multiplication des vagues de chaleur, améliorer l'isolation et l'inertie des parois opaques du bâtiment (murs et toit), permet de **limiter la pénétration de la chaleur dans le bâti** en période estivale et ainsi de préserver le confort thermique des occupants du bâtiment. Les espaces intérieurs étant plus frais, les **besoins en énergie nécessaires au refroidissement du bâti sont moindres** et la facture énergétique ainsi que l'impact environnemental du bâtiment sont diminués.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Plusieurs actions peuvent être mises en œuvre afin d'améliorer l'isolation et l'inertie thermique du bâtiment :

- S'assurer, à l'aide de diagnostics thermiques, que le bâtiment dispose d'une isolation d'été et d'hiver satisfaisante et **ne souffre pas de ponts thermiques**, c'est-à-dire de défauts d'isolation souvent localisés au niveau des jonctions entre le plancher et les autres éléments de structure.

- **Privilégier l'isolation par l'extérieur** (« mur-manteau »), très efficace pour supprimer les ponts thermiques et qui permet de renforcer l'inertie du bâtiment.

- **Sélectionner des isolants performants** pour l'enveloppe du bâtiment afin de limiter les échanges de chaleur entre milieu chaud et milieu froid. De manière générale, les isolants les plus efficaces possèdent une **conductivité thermique faible** (quantité de chaleur qui se propage au travers du matériau) et donc une **résistance thermique élevée** (capacité de l'isolant thermique à résister au froid et à la chaleur). Pour lutter contre la pénétration de la chaleur, les isolants possédant une **faible diffusivité** (capacité à différer la restitution de la chaleur) et un **déphasage important** (c'est-à-dire un temps de pénétration de la chaleur dans le bâti d'au moins 10 heures)**,** tels que les isolants d'origine végétale, sont à privilégier.

- **Employer des matériaux à forte effusivité** (grande absorption de la chaleur sans réchauffement en surface) pour les espaces intérieurs du bâtiment, tels que le marbre ou la pierre.



Isolation des combles avec de la ouate de cellulose

FREINS ET LEVIERS

⊕ La toiture étant la surface du bâtiment la plus exposée aux rayons du soleil, il est particulièrement avantageux de l'isoler à l'aide de matériaux à faible diffusivité. Cependant, si la température ne baisse pas assez pendant la nuit, la chaleur contenue dans les matériaux ne pourra pas s'échapper et celle-ci pénétrera rapidement dans le bâti le lendemain. Les **toitures végétalisées** représentent également une solution d'isolation intéressante.

⊖ S'ils sont à favoriser pour participer à l'atténuation du changement climatique et avoir un impact moindre, les matériaux biosourcés, peuvent parfois s'avérer plus coûteux.

⊕ Plusieurs aides au financement des travaux d'isolation existent à la fois au niveau national (MaPrimeRénov', prime coup de pouce isolation, etc.) et local (aides proposées par les villes, départements et régions).

⊕ Couplé à des méthodes de rafraichissement passif par **ventilation**, **le sol** ou **méthodes adiabatiques**, l'emploi de matériaux à forte inertie se révèle très efficace et économique (économies financières et énergétiques).

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Altération de la qualité de l'air intérieur

Une meilleure isolation thermique des parois peut réduire les échanges d'air intérieur et extérieur, augmentant le risque de condensation et d'humidité sans ventilation adéquate. L'accumulation d'humidité peut favoriser la croissance de moisissures, nuisant à la qualité de l'air intérieur et à la santé des occupants. Une surisolation, en ignorant les besoins climatiques et d'utilisation, peut rendre le bâtiment trop hermétique à l'air, accumulant des polluants et créant une sensation d'enfermement. Il est donc essentiel de mettre en place une ventilation appropriée pour maintenir un équilibre entre l'isolation et la circulation d'air.

Surchauffe dans le bâtiment

De plus, une accumulation excessive de chaleur interne peut se produire lorsque des appareils électriques, des systèmes d'éclairage ou des occupants génèrent une quantité importante de chaleur à l'intérieur du bâtiment. Pour éviter cette surchauffe et un effet « thermos », il est important de réduire les émissions de chaleur internes en utilisant, par exemple, des **équipements moins émissifs de chaleur**.

Augmentation de l'inconfort thermique nocturne

Un déphasage significatif, qui décale la pénétration de la chaleur stockée pendant la journée vers la nuit, peut créer un environnement plus frais en journée. Cependant, lors de canicules, les températures nocturnes restent élevées, ce qui peut perturber la thermorégulation des occupants pendant leur sommeil, entraînant des problèmes de bien-être et de santé. Bien que le déphasage puisse atténuer la chaleur en journée, d'autres mesures de rafraîchissement sont nécessaires pour garantir le confort des occupants jour et nuit en période de canicule extrême.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

RÉALISATION D'UN DIAGNOSTIC THERMIQUE

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Nombre de ponts thermiques	A minimiser
+/− Résistance thermique de l'isolant de l'enveloppe du bâtiment pour une épaisseur fixe (m^2.K/W)	A maximiser
+/− Conductivité thermique de l'isolant de l'enveloppe du bâtiment pour une épaisseur fixe (W/m.K)	A minimiser
+/− Diffusivité thermique de l'isolant de l'enveloppe du bâtiment pour une épaisseur fixe (m^2/s)	A minimiser
+/− Déphasage thermique de l'isolant de l'enveloppe du bâtiment pour une épaisseur fixe (heures)	A maximiser
+/− Pourcentage des matériaux d'espaces intérieurs du bâtiment avec une forte effusivité (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison entre la température de la situation avec mise en place de l'action adaptative et celle d'une situation témoin* (°C)	Amélioration du confort thermique
+/− Comparaison entre la consommation énergétique dédiée au chauffage du bâtiment avec mise en place de l'action adaptative et celle d'une situation témoin* (kWh)	Consommation énergétique dédiée au chauffage avec amélioration de l'isolation et l'inertie des parois opaques < celle de la situation témoin*
+/− Comparaison entre la consommation énergétique dédiée au refroidissement du bâtiment avec mise en place de l'action adaptative et celle d'une situation témoin* (kWh)	Consommation énergétique dédiée au refroidissement avec l'amélioration de l'isolation et l'inertie des parois opaques < celle de la situation témoin*

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

OUTIL

● Le Cerema a conçu l'outil RITE **(Risque d'Inconfort Thermique d'Été)** pour évaluer rapidement le confort d'été à l'intérieur des nouvelles constructions ou rénovations en réponse au changement climatique. Accessible à tous les acteurs du secteur du bâtiment, RITE est pour l'instant développé que pour l'habitation.

RÉGLEMENTATION / CRITÈRE

● D'après l'Arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants modifié par l'Arrêté du 22 mars 2017 - art. 2.Chapitre 1er : Enveloppe du bâtiment, parois opaques (articles 2 à 7), lorsque des travaux d'installation ou de remplacement de l'isolation thermique sont entrepris sur une paroi, ceux-ci doivent être réalisés de telle sorte que la paroi isolée doit avoir une résistance thermique totale, définie dans l'annexe II au présent arrêté **supérieure ou égale à la valeur minimale en fonction du type de paroi concernée**.

EN SAVOIR PLUS

ADEME (2011), Chaud dehors, frais dedans, le confort d'été

Cerema (2023), Evaluation du Risque d'Inconfort Thermique d'été face au changement climatique. Présentation et notice d'utilisation

Observatoire de l'Immobilier Durable (OID) (2020), Les matériaux durables pour le bâtiment – Etat des lieux du biosourcé et du réemploi en métropole parisienne

PassivAct (2019), Comprendre l'inertie thermique, la diffusivité, l'effusivité et leurs incidences sur le confort

ORIENTER LE BÂTIMENT ET LES ESPACES

ALÉA



CHALEURS



TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



ENVELOPPE

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Aujourd'hui encore, un nombre important de plans de conception de bâtiments ne renseignent pas d'indicateur d'orientation du bâtiment. Pourtant, en orientant de manière optimale le bâtiment et ses espaces intérieurs, il est possible d'accroître de manière significative la résilience du bâtiment aux aléas climatiques (vague de chaleur, hausse des températures, tempête et vents violents). S'il s'agit d'un principe architectural ancestral, sa pertinence est aujourd'hui à nouveau mise en avant dans le cadre de la conception bioclimatique.

IMPACTS

Une orientation optimale du bâtiment permet **d'améliorer significativement le confort des occupants** de plusieurs manières. En été, les façades ouest, qui sont le plus longtemps exposées au rayonnement du soleil, peuvent facilement monter à 60°C. En optimisant ou en limitant les surfaces exposées aux rayonnements solaires, il est possible de baisser la température intérieure de quelques degrés en été, sans recourir à une climatisation intensive. De la même manière, les **dépenses en chauffage en hiver peuvent être diminuées** ou, en dimensionnant en conséquence les façades exposées aux vents dominants, il est possible de **réduire les risques face aux tempêtes et vents violents**.

GUIDE DE MISE EN PLACE

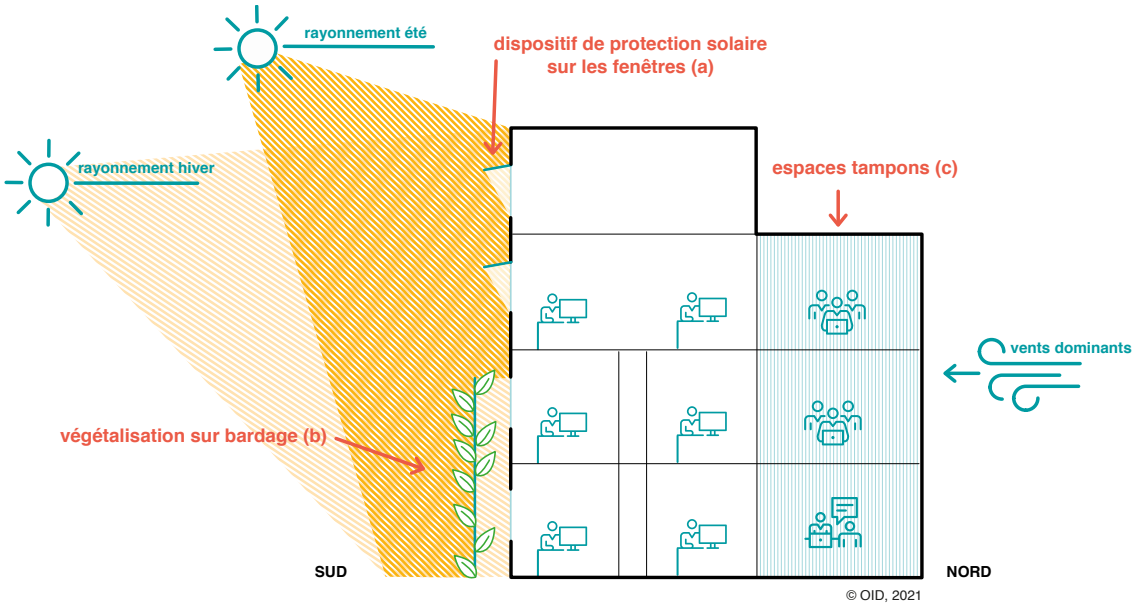
Dans l'hémisphère nord, il est possible d'optimiser les apports solaires tout au long de l'année. L'**orientation du bâtiment nord/sud** permet de maximiser les apports solaires en hiver, tout en **limitant les ouvertures sur les façades est/ouest**, qui sont les plus exposées en été (l'angle d'incidence d'irradiation de la façade sud est élevé, et il est aisé de limiter les apports solaires (a)). Pour protéger ces façades, une végétalisation à l'aide de plantes grimpantes (b), **l'intégration de végétaux directement dans la paroi via un mur végétalisé,** des arbres en abord des bâtiments procurant de l'ombre sont également possibles.

Par ailleurs, la façade la plus exposée aux vents qui varie en fonction de nombreux paramètres (régions, les parcelles, la topographie etc.) doit être identifiée et conçue en conséquence. Du fait de l'exposition répétée aux flux d'air locaux, cette façade sera identifiée comme plus fraîche.

La **création d'un espace tampon** (c) en façade nord, plus faiblement exposée aux rayonnements solaires en été comme en hiver, permet de créer des zones qui peuvent être utilisées comme des îlots de fraîcheur lors des épisodes de vague de chaleur et pendant les mois d'été. Il peut s'agir de salles de réunion ou de salles informatiques moins utilisées dans un immeuble de bureaux par exemple.

L'organisation interne du bâtiment peut également être exploitée pour améliorer le confort thermique. Également, une **conception en forme d'atrium** dans des bâtiments tertiaires peut permettre de créer un environnement favorable et d'améliorer le confort thermique (d'été comme d'hiver) des espaces adjacents. Un système de renouvellement de l'air efficace, par ventilation ou méthode adiabatique, doit toutefois être mis en place avec attention pour éviter les surchauffes.

SCHÉMA D'UN BÂTIMENT À CONCEPTION BIOCLIMATIQUE



© OID, 2021

FREINS ET LEVIERS

⊖ L'orientation du bâtiment ne relève pas toujours de la volonté du maître d'ouvrage. Dans les zones urbaines, cette **orientation peut être contrainte** du fait de la proximité avec les bâtiments voisins par exemple.

⊕ C'est une mesure qui semble concerner principalement les bâtiments en phase de construction, **mais l'agencement des espaces intérieurs** peut être réorganisé lors d'une rénovation afin d'optimiser les apports solaires toute l'année. Les choix de couleurs de revêtements intérieurs (réfléchissants ou non) peuvent aussi jouer un rôle.

⊕ Le bioclimatisme ne se limite pas à l'optimisation des apports solaires, et peut notamment se compléter par une optimisation des flux d'air permettant un **rafraîchissement passif** du bâtiment optimal.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Négligence des variations climatiques à venir

Lors de la reproduction des choix architecturaux traditionnels, il est essentiel de considérer la variation climatique future. Par exemple, dans l'hémisphère Nord, l'exposition Sud est prisée pour recevoir le rayonnement solaire en hiver. Cependant, en été, cela provoque une surchauffe, rendant les espaces intérieurs inconfortables. Les changements climatiques doivent conditionner l'orientation du bâtiment en s'inspirant des régions dont le climat correspond au climat à venir, plutôt que de celle de régions dont le climat ne ressemble qu'à la réalité immédiate du lieu d'implantation du bâtiment.

Négligence des spécificités saisonnières

Idéalement, l'orientation du bâtiment doit assurer le confort thermique en hiver et en été, en tenant compte du climat actuel et des projections climatiques futures. Il faut éviter que les adaptations pour une saison aient un impact négatif sur les autres. Toutefois, il y a un arbitrage à faire entre le fait de favoriser la fraicheur dans le contexte des températures chaudes de plus en plus extrêmes et la recherche de chaleur en période froide.

Altération des écosystèmes

L'implantation et l'orientation d'un bâtiment doivent tenir compte des écosystèmes naturels pour éviter la fragmentation des habitats et préserver leur intégrité. Les écosystèmes aquatiques, essentiels à la biodiversité, sont particulièrement sensibles et peuvent être endommagés par une mauvaise implantation qui limite l'accès aux zones humides ou perturbe les régimes hydrologiques. De plus, l'orientation du bâtiment peut affecter les systèmes hydrologiques locaux, comme la collecte et le drainage des eaux pluviales. Il faut éviter d'obstruer les voies de drainage naturelles pour prévenir les inondations et les dommages aux structures voisines.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- CONSTRUIRE EN QUINCONCE LES BÂTIMENTS
- ORIENTER NORD/SUD LE BÂTIMENT
- CONCEVOIR LE BÂTIMENT EN FORME D'ATRIUM (TERTIAIRE)

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de surfaces d'ouvertures sur les façades est/ouest (%)	A minimiser
+/− Nombre d'espaces tampons en façade nord	A maximiser
+/− Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Température dans les pièces du bâtiment en façade ouest sans système de refroidissement (°C)	A minimiser en période estivale
+/− Nombre de personnes pouvant être accueillies temporairement dans les espaces tampons en façade nord	A maximiser sans diminuer le confort des usagers

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

OUTIL

Le Cerema a conçu l'outil RITE **(Risque d'Inconfort Thermique d'Été)** pour évaluer rapidement le confort d'été à l'intérieur des nouvelles constructions ou rénovations en réponse au changement climatique. Accessible à tous les acteurs du secteur du bâtiment, RITE est pour l'instant développé que pour l'habitation.

EN SAVOIR PLUS

Bluetek (2020), Atriums et confort d'été – Les solutions de rafraîchissement intelligent

Cerema (2023), Evaluation du Risque d'Inconfort Thermique d'été face au changement climatique. Présentation et notice d'utilisation

CLER (2018), La conception bioclimatique en rénovation

OID (2022), Décryptage - L'architecture bioclimatique et les constructions traditionnelles

RIGIDIFIER LA STRUCTURE

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES



SÉCHERESSES



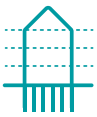
TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION

PARTIE DU BÂTIMENT



FONDATIONS



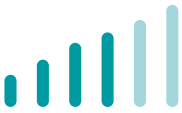
ENVELOPPE

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Alors que les évènements climatiques extrêmes s'intensifient et se multiplient, l'intégrité du bâti se retrouve plus menacée que jamais. Rigidifier la structure des bâtiments apparaît essentiel afin de les rendre plus solides et leur garantir une meilleure stabilité. En effet, une structure parfaitement rigide est en mesure de résister aux distorsions générées par les mouvements des sols, de l'air et la force de la pression exercée par l'eau sur le bâtiment.

IMPACTS

Rigidifier la structure du bâtiment permet de **limiter les risques de fissures** dus aux mouvements des sols (retrait-gonflement des argiles) et de **réduire les dégâts liés à l'action mécanique de l'eau** en cas d'inondation ou de submersion marine. Attention, l'efficacité du dispositif ne saurait être garantie si le niveau de submersion attendu est supérieur à 1m (car la pression exercée par l'eau pourrait mettre en danger l'intégrité de la structure du bâti). Dans ce cas, il est conseillé de laisser rentrer l'eau dans le bâtiment, après avoir préalablement protégé le bâti en employant des matériaux résistants à l'eau et mis en sûreté les occupants et les équipements essentiels du bâtiment.

Améliorer la rigidité de la structure du bâtiment permet également de **limiter les risques d'effondrements liés à la pression de l'air en cas de tempêtes et vents violents**. Ces risques sont particulièrement importants dans les territoires ultramarins.

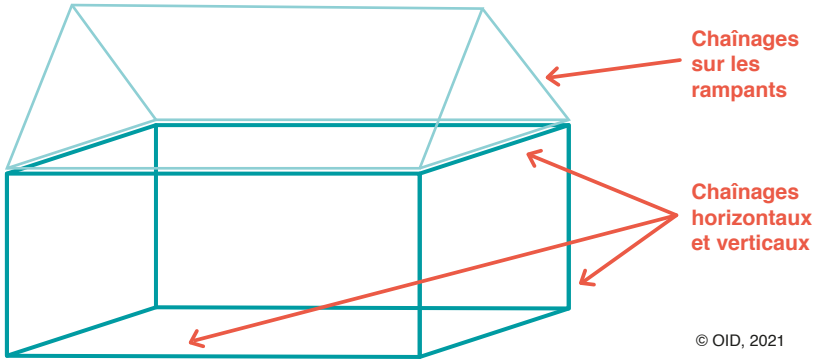
GUIDE DE MISE EN PLACE

La **mise en place de chaînages** est la mesure la plus recommandée en cas de risques de distorsion de la structure. Il s'agit d'intégrer des armatures en acier à un béton adapté, procédé déjà largement répandu dans le cadre des constructions de grande envergure.

En France, les documents techniques de référence, le Documents Techniques Unifiés 20.1 et 23.1**,** préconisent de réaliser des **chaînages horizontaux** au niveau de chaque plancher ou dallage du bâtiment et des chaînages verticaux pour tous les murs porteurs, à l'exception des maçonneries en pierres naturelles. Idéalement, des **chaînages sur les rampants des pignons** (au niveau du toit) doivent également être réalisés. Une attention particulière doit être accordée aux **liaisons entre les chaînages horizontaux et verticaux**, notamment dans les angles du bâtiment.

Il existe **d'autres techniques** permettant de rigidifier la structure du bâtiment comme la mise en place de linteaux au-dessus des ouvertures et la création de soubassement (assise de la construction) « monobloc ». Cette dernière est une technique de renforcement qui consiste à créer une base solide pour le bâtiment. Cela inclut l'utilisation de sous-sols complet via un radier (dalle en béton continue s'étendant sur toute la surface de l'édifice) ou de planchers sur vide sanitaire, plutôt que des dallages sur terre-plein (à même le sol) ou de sous-sols partiels. Cette approche offre plusieurs avantages en termes de stabilité et de résistance aux charges, car elle permet de mieux répartir les charges sur une plus grande surface.

EXEMPLES DE CHAÎNAGE SUR UN BÂTIMENT



© OID, 2021

FREINS ET LEVIERS

- ⊕ La mise en place de chaînages doit idéalement suivre les **préconisations du Document Technique Unifié (DTU) 20.1 et 23.1**. S'il ne s'agit pas de documents obligatoires, il est vivement recommandé de mettre en application les directives qu'ils contiennent. Une attention particulière doit être accordée lors de la réalisation de bâtiments de type logement individuel, car il arrive que les constructeurs de ce type de bien fassent fi des prescriptions des DTU.
- ⊖ La mise en place de chaînages dans le béton **nécessite des travaux de gros-œuvre**. Il s'agit donc d'un dispositif réservé aux bâtiments neufs ou aux bâtiments existants qui font l'objet d'une rénovation complète.
- ⊕ Pour le bâti existant, la **pose d'une croix de chaînage** permettant de stopper l'expansion d'une fissure ou de limiter l'affaiblissement du bâti peut être envisagée. Ce dispositif est souvent mis en place dans le cadre d'habitations anciennes, notamment construites en pierre.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Accentuation de la vulnérabilité sismique

En rigidifiant la structure d'un bâtiment, sa vulnérabilité aux tremblements de terre pourrait augmenter. En effet, une rigidité excessive peut rendre la structure moins capable d'absorber les vibrations sismiques. Cela pourrait mettre en péril la sécurité des occupants.

Report des contraintes sur d'autres éléments structurels

Lorsqu'une partie spécifique d'un bâtiment est renforcée pour résister à des forces externes appliquées à la structure, un transfert de contraintes peut se produire vers les parties non renforcées. Par exemple, en rigidifiant les murs porteurs, les contraintes pourraient se déplacer vers les fondations non préparées, créant ainsi un report de vulnérabilité spatiale. Il est essentiel de considérer l'ensemble de la structure pour anticiper ces conséquences et prendre des mesures adéquates.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- POSER UNE CROIX DE CHAÎNAGE POUR BÂTI EXISTANT EN CAS DE FISSURES OU D'AFFAIBLISSEMENTS
- METTRE EN PLACE DES CHAÎNAGES EN CAS DE RISQUES DE DISTORSION DE LA STRUCTURE
- PLACER DES LINTEAUX AU-DESSUS DES OUVERTURES
- RIGIDIFIER PAR LE SOUS-SOL (RADIER, PLANCHER SUR VIDE SANITAIRE, ETC.)

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS		INTERPRÉTATION
+/−	Inclinaison de la structure par rapport à la situation témoin* (mm/minute)	A minimiser
+/−	Comparaison entre les microdéformations relatives de la structure et celles de la situation témoin* (mm)	Microdéformations relatives de la structure avec rigidité améliorée < celles de la situation témoin*
+/−	Pourcentage de fissures surveillées parmi celles qui sont supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieures à 10 cm de longueur (%)	A maximiser
+/−	Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre

INDICATEURS DE RÉSULTATS		INTERPRÉTATION
+/−	Nombre de fissures supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieures à 10 cm de longueur	Absence d'augmentation du nombre de fissures
+/−	Nombre de fissures dont l'ouverture et/ou la longueur a augmenté parmi celles supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieures à 10 cm de longueur	Absence d'élargissement des fissures
+/−	Dégâts financiers, matériels et/ou humains liés à l'action mécanique de l'eau en cas d'inondation ou de submersion marine	A minimiser
+/−	Dégâts financiers, matériels et/ou humains d'effondrements liés à la pression de l'air en cas de tempêtes ou vents violents	A minimiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

NOTION / DÉFINITION

- Un **vent** est en général estimé **violent** donc dangereux lorsque sa vitesse atteint 80 km/h en vent moyen et 100 km/h en rafales dans l'intérieur des terres. Mais ce seuil varie selon les régions, il est par exemple plus élevé pour les régions littorales ou la région sud-est. Sur terre, on parle de tempête quand la dépression génère des rafales supérieures à 90 km/h (Météo-France, 2023).

OUTIL

- Les inclinomètres sont des outils qui permettent des lectures précises de l'angle d'inclinaison et la détection des mouvements et des inclinaisons anormales d'une structure.
- Parmi les capteurs de déformation, on retrouve les **jauges de contraintes électriques/ jauges à cordes vibrantes/capteurs à fibre optique** permettant de mesurer des microdéformations relatives (mm). Economiques, ces capteurs sont facilement soudés, collés ou noyés dans le béton et permettent également des mesures dynamiques.
- Une **jauge d'ouverture de fissures** est principalement destinée à mesurer l'ouverture linéaire d'une fissure spécifique, tandis qu'un fissuromètre est un instrument plus complet qui mesure divers paramètres de fissure (déformation, largeur, longueur, forme etc.), surveille la fissure dans plusieurs directions et enregistre les variations avec le temps.

RÉGLEMENTATION / CRITÈRE

- Les **fissures ayant plus d'1 mm d'ouverture** sont à surveiller plus rigoureusement. Pour la longueur, cela dépend de l'élément concerné mais il est conseillé de surveiller à partir de 10 cm (Baticopro, 2020).

EN SAVOIR PLUS

BRGM (2009), Rapport final du projet ARGIC (Analyse du Retrait-Gonflement des Argiles et de ses Incidences sur les Constructions)

Ifsttar et Ineris (2017), Retrait-gonflement des argiles – Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse

Ministère de la Transition Ecologique (2008), Le retrait-gonflement des argiles – Comment prévenir les désordres dans l'habitat individuel ?

Ministère de la Transition Écologique (2021), Construire en terrain argileux - La réglementation et les bonnes pratiques

Ministères Écologie Énergie Territoires (2022), Construction et risques sismiques

SURÉLEVER LES ÉLEMENTS DE STRUCTURE

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS — DYNAMIQUES LITTORALES

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION — RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



REZ-DE-CHAUSSÉE

COÛT

€ € €

faible moyen **élevé**

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

Afin d'empêcher ou de limiter la pénétration de l'eau dans le bâtiment en cas d'inondation ou de submersion marine, il est possible de surélever les éléments de structure du bâtiment. Il s'agit de mettre le bâtiment et/ou ses ouvertures hors d'atteinte de l'eau dans le cadre des stratégies de limitation des dégâts Eviter et Résister. Ces dispositifs peuvent être mis en place à l'échelle du bâtiment et du quartier.

IMPACTS

Surélever le bâtiment et ses ouvertures permet de se **prémunir des dégâts sévères causés par l'eau et le sel** et **d'accélérer le délai de retour à la normale** en cas d'inondation ou de submersion marine. Dans le cadre de constructions neuves en zones à risques, il s'agit d'un dispositif de prévention extrêmement pertinent.

Attention, même si un bien ne subit pas de dégâts lors d'une inondation, cela ne signifie pas qu'il est utilisable ou habitable pour autant. En effet, il n'est exploitable que si les réseaux qui le desservent (routiers, électriques, etc.) sont toujours fonctionnels. Les réseaux doivent donc, eux aussi, être résilients.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Dans le cadre de constructions neuves plusieurs dispositifs de surélévation du bâtiment peuvent être mis en œuvre :

- **Surélévation sur un remblais** : solution limitée aux bâtiments situés aux extrémités des zones inondables.
- **Création d'un vide sanitaire, d'un sous-sol ou d'un garage non enterré** : permet de rehausser le premier étage habitable.
- **Construction sur pilotis** : particulièrement indiquée lorsqu'un bâtiment se situe en région côtière ou zone fréquemment inondée.
- **Création de bâtiments flottants** : solution intéressante pour les biens situés dans des zones touchées par la montée des eaux ou des inondations fréquentes. Construits sur des flotteurs en béton, plastique, aluminium, etc., les bâtiments flottants s'élèvent et descendent pour s'adapter au niveau de l'eau.

Dans le cadre de constructions existantes, il est possible d'effectuer un **relèvement complet des seuils de portes**, c'est-à-dire un rehaussement de la hauteur des entrées de plusieurs décimètres. Ce relèvement est généralement envisagé lors de gros travaux de rénovation et concerne plutôt le bâti ancien car il nécessite une hauteur sous plafond importante.



Maison de la nature de Muttersholz en période de crue de l'Ill



Pilotis supportant le bâtiment en période de crue

FREINS ET LEVIERS

⊕ Selon le Centre européen de prévention des risques d'inondation (CEPRI), **surélever le bâtiment serait la stratégie la plus rentable**, notamment dans le cadre de bâtiment collectif, lorsqu'un bien est soumis aux risques d'inondation ou de submersion marine, et ce même si les épisodes climatiques violents sont exceptionnels.

⊖ Cette observation est toutefois à nuancer car les **gains et coûts financiers de l'adaptation d'un bâtiment aux risques climatiques ne sont pas à ce jour portés par les mêmes acteurs** : les investissements sont souvent effectués par le propriétaire et les gains par l'assurance.

⊕ Surélever les bâtiments représente une **alternative au retrait des Hommes dans les zones touchées** par la montée des eaux et les inondations. Dans des zones particulièrement exposées, des quartiers entiers sont conçus afin de rester hors d'atteinte de l'eau, comme à Hambourg ou Amsterdam.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Problèmes d'accessibilité

La surélévation d'un bâtiment peut compliquer l'accès, en particulier pour les personnes à mobilité réduite, les personnes âgées et les enfants, réduisant l'accessibilité globale. De plus, cela pourrait entraver l'évacuation rapide ou la mise à l'abri en cas d'urgence, compromettant la sécurité. Il est essentiel de trouver un équilibre entre la protection contre les inondations et l'accessibilité pour tous, y compris en situation d'urgence.

Perturbation de l'écoulement des eaux

La surélévation généralisée des bâtiments peut perturber les écoulements d'eau, entraînant des accumulations d'eau ou des inondations locales avec des répercussions sur d'autres parties du site ou des bâtiments voisins non protégés, augmentant ainsi le risque d'inondation. Ce report de vulnérabilité peut également affecter les infrastructures environnantes, comme les routes et les réseaux d'assainissement, ainsi que les terres agricoles voisines, entraînant des pertes de récoltes et des dommages aux équipements. Une approche de gestion des risques intégrée, impliquant la coordination avec les propriétaires voisins et les autorités locales, est essentielle pour minimiser ce report de vulnérabilité spatiale et ses effets sur d'autres systèmes.

Négligence des incertitudes liées au changement climatique

Par ailleurs, il est indispensable de prendre en compte les incertitudes liées au changement climatique dans la planification et la conception de la surélévation des bâtiments pour minimiser tout risque d'aggravation des vulnérabilités futures. Par exemple, si la surélévation est conçue en supposant un niveau de montée des eaux qui s'avère être sous-estimé, les bâtiments pourraient toujours être vulnérables aux inondations malgré les mesures prises.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- CRÉER UN VIDE SANITAIRE, SOUS-SOL OU GARAGE NON ENTERRÉ
- CONSTRUIRE SUR PILOTIS (RÉGION CÔTIÈRE OU ZONE FRÉQUEMMENT INONDÉE)
- CONSTRUIRE SUR DES FLOTTEURS (EN BÉTON, PLASTIQUE, ALUMINIUM, ETC.)

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/- : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/- Altitude du plancher du bâtiment (m)	Plancher du bâtiment au-dessus de la cote de référence du PPRI de la commune/de la côte des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC)
+/- Pourcentage d'entrées dont la hauteur est réhaussée (%)	Si possible, à maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/- Temps de délai de la remise en fonctionnement du bâtiment après une inondation/ submersion marine (heures)	A minimiser
+/- Dégâts financiers, matériels et/ou humains sévères causés par l'eau et/ou le sel	A minimiser

RÉGLEMENTATION / CRITÈRE

● Le **PPRI (Plan de Prévention des Risques Inondations)** cartographie et réglemente les zones exposées aux risques d'inondation en fonction de l'aléa et de l'occupation du sol. Il impose des dispositions constructives, urbanistiques et d'usages spécifiques, telles que des hauteurs de plancher à respecter au-dessus du niveau des plus hautes eaux, des zones inconstructibles ou des exigences pour le stockage des flottants. Le décret PPRi, codifié dans le Code de l'environnement, précise les règles générales d'interdiction et d'encadrement des constructions en cas de débordement de cours d'eau ou de submersion marine (articles R. 562-11-1 et suivants) (Ministères Écologie Énergie Territoires, 2023).

EN SAVOIR PLUS

Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (2009), Un logement « zéro dommage » face au risque inondation est-il possible ?

Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (2015), Comment saisir les opérations de renouvellement urbain pour réduire la vulnérabilité des territoires inondables face au risque d'inondation ?

Ministère de l'égalité des Territoires et du Logement, ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Energie (2012), Référentiel de travaux de prévention du risque d'inondation dans l'habitat existant

Ministère de la Sécurité publique du Nouveau-Brunswick (2019), Protection contre les inondations – Protégez votre maison et son contenu contre les inondations

ILS L'ONT TESTÉ POUR VOUS

COMMUNE DE MUTTERSHOLTZ

BÂTIMENT : MAISON DE LA NATURE
SUPERFICIE : 1600M², 1 ÉTAGE
USAGE : PUBLIC
COÛT : 65 000€ HT

Construite aux deux tiers sur pilotis, la Maison de la nature du Ried et de l'Alsace centrale, localisée sur la commune de Muttersholz en zone inondable, voit son terrain régulièrement inondé par le débordement de l'Ill qui passe à proximité, particulièrement en période hivernale. Les 15 pilotis en béton hydrofuge, ancrés dans des puits busés à 3m de profondeur, supportent la partie arrière du bâtiment qui demeure accessible même en cas de crues grâce à une surélévation des voies d'accès. La hauteur de la structure en sous-poutre a été dimensionnée à l'aide des côtes des plus hautes eaux renseignées par la police de l'eau (ici 167,44 m), en respectant une garde de 30 cm supplémentaires (pour laisser passer la végétation ou autres éléments emportés lors de la crue notamment). En créant l'équivalent d'une sixième façade exposée aux variations de températures extérieures, la construction sur pilotis nécessite une attention particulière à l'isolation du plancher. Le montant des travaux de gros œuvre pour la zone pilotis s'est élevé à 65 000 € HT (le coût d'un pilotis seul est d'environ 170 €), et permet aujourd'hui de protéger ce bâtiment et l'ensemble des zones alentours en favorisant la perméabilité du sol.

UTILISER DES MATÉRIAUX RÉSISTANTS À L'EAU

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



SOUS-SOL



REZ-DE-CHAUSSÉE

COÛT

€ € €

faible **moyen** élévé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Il n'est pas toujours possible de surélever le bâtiment afin de le maintenir hors d'atteinte de l'eau. Dans de nombreux cas, lors d'une inondation ou d'une submersion marine, l'eau entre en contact avec l'enveloppe extérieure et les espaces intérieurs du bâtiment. Afin de limiter les dégâts hydriques, il est alors recommandé d'utiliser des matériaux de revêtement résistants à l'eau. L'emploi de ces matériaux est possible en cas de construction neuve ou existante et s'inscrit dans le cadre des stratégies Eviter, Résister et Céder.

IMPACTS

L'utilisation de matériaux résistants à l'eau permet de **limiter les dégâts causés par l'eau** et ainsi de réduire le coût et le délai nécessaires à la remise en fonctionnement d'un bâtiment. En effet, après une inondation, et notamment lorsque l'eau a réussi à pénétrer dans le bâti, il est souvent nécessaire d'effectuer d'importants travaux de rénovation au niveau des étages inférieurs et de remplacer les menuiseries, les revêtements de sol, les isolants ou le mobilier car ceux-ci sont trop endommagés.

L'utilisation de tels matériaux est particulièrement indiquée lorsque le bâtiment est susceptible d'être exposé à des crues d'une hauteur supérieure à 1 m et d'une durée de plus de 48 heures.

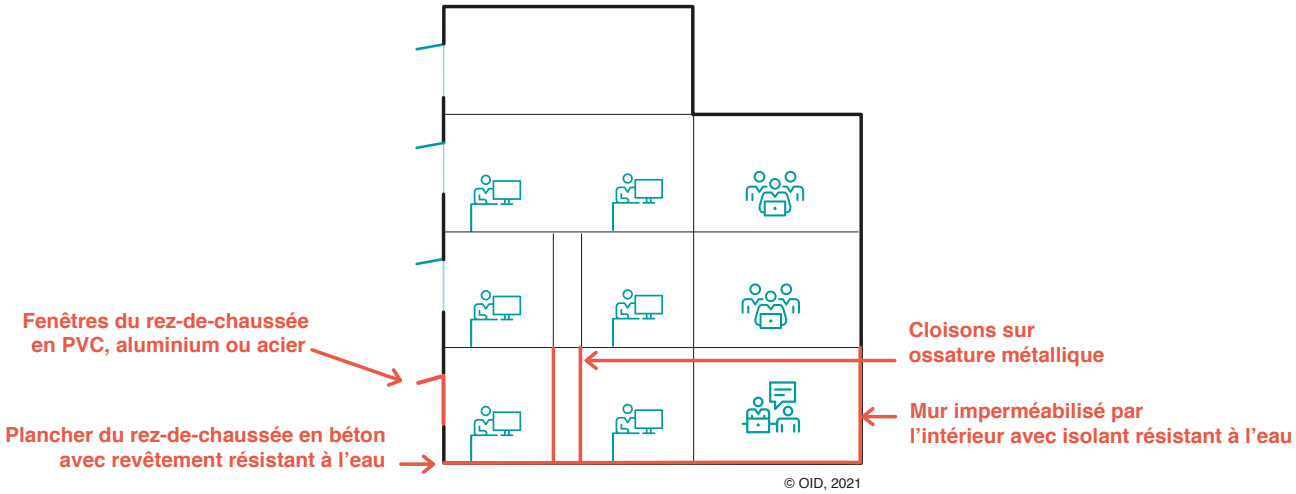
GUIDE DE MISE EN PLACE

Afin de préserver les **espaces intérieurs** et particulièrement les étages inférieurs, il est recommandé de sélectionner des matériaux résistants à l'eau au niveau :

- **Des menuiseries intérieures** : privilégier les menuiseries en PVC, aluminium, acier pour les portes, portes-fenêtres et fenêtres ;
- **Des planchers** : favoriser les planchers en béton armé plutôt que les planchers vulnérables à l'eau (en bois par exemple) ;
- **Des revêtements de sol** : choisir un revêtement résistant à l'eau ou au contraire facilement décollable ;
- **Des cloisons** : éviter les cloisons alvéolées et les cloisons en bois et privilégier les cloisons sur ossatures métalliques ;
- **Des isolants thermiques et acoustiques** : utiliser des isolants résistants à l'eau, tel que le polystyrène expansé. Pour des questions de santé, il est cependant généralement recommandé de remplacer les isolants après une inondation.

Pour l'**enveloppe extérieure** du bâtiment, il est recommandé **d'imperméabiliser les murs** (par l'intérieur pour les parties hors sol et par l'extérieur pour les parties enterrées) à l'aide par exemple d'un enduit à base de plâtre ou de mortier hydrofuge, d'étanchéifier les canalisations et de choisir des matériaux résistants à l'eau pour les menuiseries extérieures.

MISE EN PLACE DE MATÉRIAUX RÉSISTANTS À L'EAU AU REZ-DE-CHAUSSÉE D'UN BÂTIMENT



© OID, 2021

FREINS ET LEVIERS

- L'utilisation de matériaux résistants à l'eau semble peu pertinente dans la cadre de bâtiments situés en bord de mer. En effet, bien qu'ils permettent de se prémunir des dégâts liés à l'eau, de tels matériaux **ne permettent pas de lutter contre la salinité de l'eau de mer** qui agit comme un corrosif sur le bâtiment. Tout revêtement touché par le sel doit ainsi être quasi-systématique remplacé.
- Il est recommandé de procéder à des vérifications régulières afin de garantir que les propriétés de résistance à l'eau demeurent efficaces au fil du temps.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Négligence des mesures et stratégies d'adaptation

L'utilisation exclusive de matériaux résistants à l'eau demeure insuffisante. Il est impératif de la compléter par d'autres mesures et stratégies d'adaptation aux inondations et aux dynamiques littorales. En effet, même avec l'utilisation de matériaux résistants à l'eau, des dommages importants sont à craindre en cas d'infiltration d'eau dans le bâtiment. Ainsi, si cela est possible, il faut privilégier une stratégie « Eviter, résister ou céder à l'eau », notamment par une stratégie d'évitement de l'eau par surélévation ou la mise en place de dispositifs anti-eau qui empêchent la pénétration de l'eau dans le bâti, voire de combiner ces stratégies.

Détérioration liée à l'humidité

Certains matériaux résistants à l'eau peuvent être moins perméables à la vapeur d'eau, ce qui peut entraîner des problèmes d'humidité et de condensation à l'intérieur du bâtiment. De plus, si l'humidité parvient à se glisser entre le matériau hydrofuge et la surface du bâtiment, elle peut s'y piéger, ce qui peut causer des problèmes de pourriture et de détérioration à long terme. Par conséquent, il est crucial de prévoir une ventilation de l'air appropriée.

Dépassement des capacités des matériaux

Si les matériaux résistants à l'eau ne sont pas choisis en tenant compte des scénarios climatiques futurs, les bâtiments pourraient se retrouver inadéquatement protégés. Les inondations et submersions marines à venir pourraient dépasser les capacités de ces matériaux, entraînant des dommages considérables.

REPÈRES DE SUIVI

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de menuiseries intérieures pour portes/portes-fenêtres/fenêtres en PVC/aluminium/acier au RDC et R+1 (%)	A maximiser
+/− Pourcentage de cloisons sur ossatures métalliques au RDC et R+1 (%)	A maximiser
+/− Pourcentage d'isolants thermiques/acoustiques résistants à l'eau au RDC et R+1 (%)	A maximiser
+/− Pourcentage des murs imperméabilisés par l'intérieur au RDC et R+1 (%)	A maximiser
+/− Pourcentage des murs imperméabilisés par l'extérieur pour les parties enterrées (%)	A maximiser
+/− Pourcentage des canalisations étanchéifiées sous le niveau R+1 (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de matériaux endommagés en cas d'inondations/submersions marines (%)	A minimiser
+/− Coût de la remise en fonctionnement du bâtiment après une inondation/submersion marine (€)	A minimiser
+/− Délai nécessaire à la remise en fonctionnement d'un bâtiment après une inondation/submersion marine (heures)	A minimiser

EN SAVOIR PLUS

Agence Qualité Construction (AQC) (2022), Construction en zones inondables : conception et adaptation au site

Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (CEPRI) (2010), Le bâtiment face à l'inondation : Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité

Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (CEPRI) (2009), Un logement "zéro dommage" face au risque d'inondation est-il possible ?

Cerema, Grenoble Alpes Métropole (2023), Guide métropolitain de l'aménagement résilient en zone inondable constructible

VÉGÉTALISER LA FAÇADE

ALÉA



CHALEURS



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



ENVELOPPE



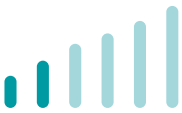
EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



faible

Depuis plusieurs années, la pratique de végétalisation des façades se développe et suscite l'intérêt de plus en plus d'acteurs. Cette stratégie fait partie des Solutions d'Adaptation Fondées sur la Nature (SAFN), et présente un réel intérêt pour le bâtiment. Elle consiste à mettre en place des plantes grimpantes sur une façade ou bien à intégrer des végétaux directement dans la paroi dans le cadre d'un mur végétalisé.

IMPACTS

Végétaliser la façade permet **d'améliorer le confort thermique** des occupants du bâtiment, et particulièrement le confort d'été en interceptant le rayonnement solaire (pouvant dépasser les 60° en été), en créant des zones d'ombres et des couches d'isolation supplémentaires. La couche isolante peut réduire **la consommation énergétique** liée à la climatisation de l'ordre de 5 % à 68 % selon l'implantation géographique du bâtiment (Malys et al. 2013). Elle permet aussi de lutter contre l'îlot de chaleur urbain et les vagues de chaleur en transformant environ 60 % du rayonnement solaire absorbé en chaleur latente qui n'entraine donc aucune élévation de température.

En **protégeant la façade des variations de température, des vents violents, des précipitations** etc., la végétation (selon le type de végétation) améliore la résilience du bâti (limitation de craquelures, protection contre les infiltrations etc.) sur certains matériaux. En absorbant, diffractant et réfléchissant le son, les façades végétalisées constituent un moyen d'isolation phonique ce qui améliore le confort acoustique des usagers. Elles **améliorent aussi la qualité de l'air et l'esthétique** du bâtiment. De nombreux travaux ont montré des liens entre le **bien-être des occupants** et la présence de flore sur les bâtiments.

Les stratégies de végétalisation des façades, notamment en pleine terre constituent un **support à la biodiversité locale**. Elles permettent d'intégrer le bâtiment aux continuités écologiques urbaines. Les risques de collision des oiseaux avec les surfaces réfléchissantes sont également diminués.

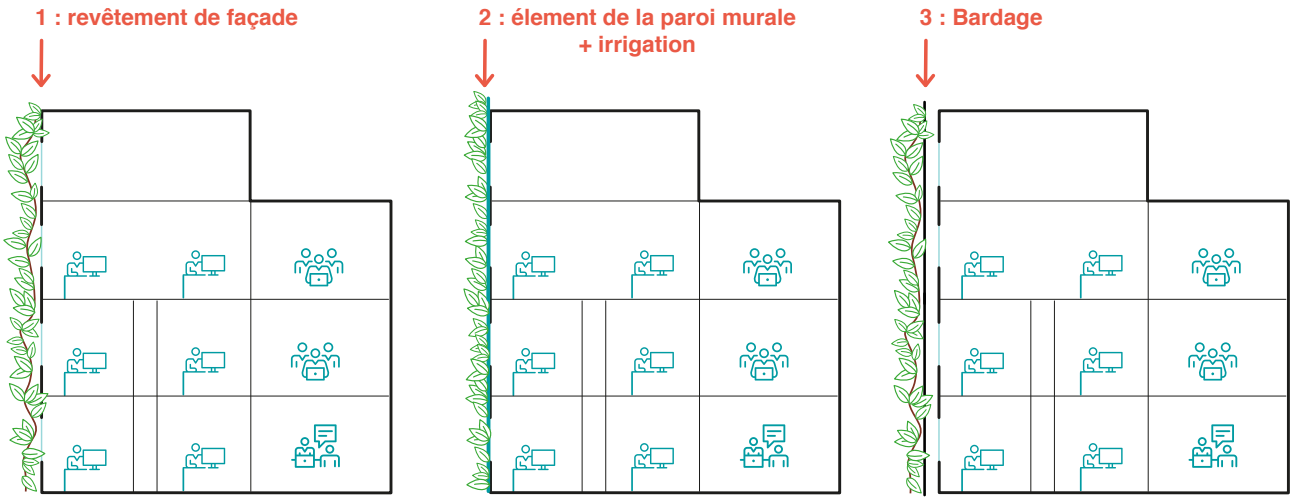
Enfin, lors d'évènements pluvieux, la végétation capte l'eau qui tombe ce qui permet de la rejeter à un débit régulé lorsque les évènements ne sont pas trop intenses. Favoriser les conceptions en pleine terre permet alors de réduire le ruissèlement en la restituant au sol perméable.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Il existe deux stratégies de végétalisation. La **façade végétalisée** consiste à faire grimper des plantes spécialisées sur la paroi (1), tandis que le **mur végétalisé**, qui intègre des plantes directement dans la paroi, nécessite une installation plus complexe ainsi qu'un système d'irrigation (2). La deuxième démarche, plus coûteuse et consommatrice en eau, répond moins aux principes de l'adaptation, notamment en ce qui concerne la sobriété. Les murs végétalisés ne sont donc pas abordés dans cette fiche.

Pour végétaliser la façade, un **bardage à base de poutres ou de câbles** peut être installé selon la capacité de portance de la structure, afin de dédoubler la façade originelle et permettre à la végétation de s'y installer sans compromettre la solidité du bâtiment, à l'image d'un mur trombe (3).

TYPES DE VÉGÉTALISATION DE FAÇADE



© OID, 2021

Il est préférable que la façade soit colonisée par des **plantes grimpantes d'origine régionale**, adaptées aux conditions climatiques et l'écosystème local, et peu gourmandes en eau. Les plantes peuvent être plantées directement en **pleine terre**, favorisant la perméabilité des sols, ou dans des pots, balconnières ou jardinières sur le bâtiment. La pleine terre permet entre autres de réduire considérablement les besoins d'irrigation et de fertilisation. L'exposition du mur, sa hauteur et le climat local doivent également être pris en compte, tout comme la hauteur attendue (plus de détails ici).

Voici certaines plantes fréquemment utilisées en France : Lierres, clématites, vigne vierge, jasmin étoilé, chèvrefeuille, rosiers grimpants etc.

Enfin, il est nécessaire de prévoir des **opérations d'élagage une à deux fois par an** pour garantir le dégagement des accès et fenêtres (de préférence en dehors des périodes de nidification et de froid hivernal pour préserver la faune qui s'en sert comme refuge).

FREINS ET LEVIERS

⊖ La végétalisation de la façade peut parfois rencontrer des réticences de la part des occupants, notamment par rapport à la **crainte d'une abondance d'insectes ou de risques d'allergies**. Le choix d'une essence appropriée ainsi qu'une bonne communication doivent permettre de faciliter l'acceptabilité de la solution.

⊖ Les murs végétalisés font intervenir un système d'irrigation et de fertilisation important.

⊕ Avoir recours plutôt à des façades végétalisées qui sont plus sobres.

⊕ Communiquer sur l'ensemble des bénéfices détaillés ci-dessus. Ce sont autant d'arguments en faveur de ces pratiques qui sont facilement abordables. La variété des enjeux de la ville traités par les façades végétalisées augmente la part de la population qui sera réceptive.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Fragilisation du bâtiment

La végétalisation par plantes grimpantes est relativement simple, nécessite peu d'entretien et a un coût assez faible. Cependant, selon les essences plantées, certaines nécessitent un support sur lequel se développer. S'il est trop petit, pas assez solide, mal fixé ou insuffisamment éloigné du mur, la végétalisation de la façade peut fragiliser la structure du bâtiment.

Une empreinte écologique supérieure

Lorsque les grimpantes sont plantées en bac hors sol, il est nécessaire d'y intégrer un système d'irrigation voire de fertilisation puisque le volume de substrat est réduit. Cependant l'irrigation des plantes est à éviter notamment durant les périodes de sécheresse où la pression sur la ressource est importante. Un bac de récupération d'eau pluviale peut être installé durant l'année afin de passer les périodes de sécheresses estivales. L'apport en nutriments provenant d'engrais chimiques nécessite l'extraction de minéraux et des procédés chimiques qui reportent la vulnérabilité sur d'autres systèmes où ces ressources sont exploitées. L'empreinte environnementale des engrais organiques est moindre mais peut contenir de la tourbe issue de tourbières.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- PRIVILÉGIER LES PLANTES GRIMPANTES PLANTÉES EN PLEINE TERRE
- FAIRE SON POSSIBLE POUR ÉVITER LE RECOURS À UN SYSTÈME D'IRRIGATION ET DE FERTILISATION (VOICI QUELQUES RECOMMANDATIONS : PLEINE TERRE, PALETTE VÉGÉTALE ADAPTÉE AU CLIMAT, CONCEVOIR UNE FAÇADE VÉGÉTALISÉE PLUTÔT QU'UN MUR VÉGÉTALISÉ, ETC.)
- AVOIR LE PLUS POSSIBLE RECOURS À DES ESPÈCES LOCALES
- ADAPTER LA PALETTE VÉGÉTALE AUX CLIMATS ACTUELS ET FUTURS
- METTRE EN PLACE UN SYSTÈME DE RÉCUPÉRATION DES EAUX PLUVIALES POUR L'IRRIGATION DE LA FAÇADE VÉGÉTALISÉE SI BESOIN PENDANT LES ÉPISODES DE SÉCHERESSE
- INSTALLER DES NICHOIRS À OISEAUX
- FAIRE APPEL À UN ÉCOLOGUE DURANT LA PHASE DE CONCEPTION

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/– : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS		INTERPRÉTATION
+/–	Température de surface des façades végétalisées (°C)	A minimiser
+/–	Irrigation annuelle hors précipitation (m^3)	A minimiser
+/–	Ratio entre la surface de façade végétalisée par rapport à l'enveloppe du bâtiment (hors toiture) (%)	A maximiser
+/–	Epaisseur de substrat pour les plantations en jardinière (50 cm minimum recommandé) (cm)	A maximiser
+/–	Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS		INTERPRÉTATION
+/–	Comparaison de la température de surface des façades végétalisées par rapport à une situation témoin* (par exemple : une autre façade non végétalisée ayant la même exposition et le même revêtement avant végétalisation) (°C)	Température de surface des façades végétalisées < Température de la situation témoin*
+/–	Comparaison entre la consommation énergétique liée au chauffage et à la climatisation après végétalisation de la façade par rapport à une situation témoin* (kWh)	Consommation énergétique après végétalisation de la façade < Consommation énergétique de l'espace témoin
+/–	Débit de fuite sur la voie publique (l/s.ha) (voir repères de suivi)	A minimiser
+/–	Abattement pluvial de la façade (%) (voir repères de suivi)	A maximiser
+/–	Comparaison du bruit à proximité de la façade et sur une situation témoin* (dB)	Bruit à proximité de la façade < bruit de la situation témoin* (dB)

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

EN SAVOIR PLUS

Mairie de Paris (2021), Créer un mur végétalisé de plantes grimpantes.

Malys et al. (2013), A hydrothermal model to assess the impact of green walls on urban microclimate and building energy consumption.

Nature4Cities (2020), Mur végétal à plantes grimpantes.

Redon (2017), Modélisation de la végétation urbaine comme régulateur thermique.

Strasbourg Eurométropole (2017), Guide de végétalisation – Façades.

Vandersmissen (2021), Les façades végétalisées : analyse comparative et mise au point d'un outil d'aide à la décision

FAVORISER LA CIRCULATION DE L'AIR D'UN QUARTIER

ALÉA



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



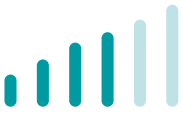
EXTÉRIEURS

COÛTS

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Au sein des villes, la chaleur produite de manière naturelle (rayon du soleil) et anthropique (transports, industries, etc.) tend à se retrouver piégée proche du sol car la circulation de l'air est entravée par les bâtiments et infrastructures urbaines. L'espace urbain doit être conçu afin d'éviter les rues étroites et bordées de larges et grands immeubles, qui ne permettent pas à l'air chaud et pollué de s'échapper. Ce phénomène, appelé « effet de canyon urbain » participe à l'intensification des îlots de chaleur urbains (température plus élevée dans les milieux urbains que dans les zones rurales environnantes).

IMPACTS

Alors que la température moyenne en France ne cesse d'augmenter et que les vagues de chaleur s'intensifient et se multiplient, favoriser la circulation de l'air en ville permet de **lutter contre les îlots de chaleur**. Cette démarche joue un rôle crucial dans la préservation du bien-être et de la santé des individus, tout en garantissant la viabilité et l'attractivité des espaces urbains et des bâtiments. Les espaces offrant un confort thermique extérieur satisfaisant pourraient ainsi devenir de plus en plus convoités.

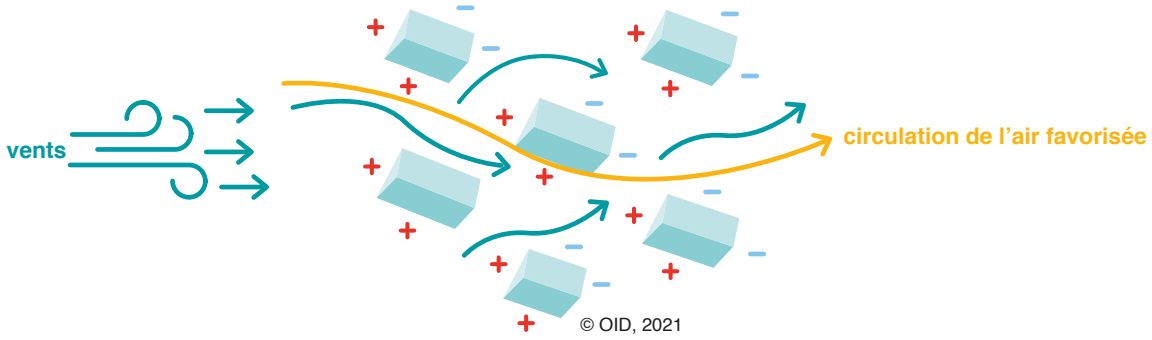
Eviter les « rues canyons » permet également **d'améliorer la qualité de l'air** car du fait du mouvement circulaire des masses d'air dans les rues canyon, la pollution émise par les véhicules se retrouve également piégée près du sol.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Afin de faciliter la circulation de l'air, il est important lors des phases d'aménagement :

- De **connaître les données climatiques** de son territoire et de se renseigner sur les vents locaux : ces informations sont notamment disponibles auprès de Météo France sur demande ;
- De **mener une étude aéraulique** (une étude sur la circulation des flux d'air) à l'échelle de la ville afin d'identifier les zones d'inconfort thermique et d'intégrer cette problématique lors de la phase de conception de tout projet d'aménagement urbain afin d'y apporter des solutions correctives ;
- D'encourager l'utilisation de **schémas de quartiers en quinconce** et de positionner les bâtiments en diagonale par rapport à la direction des vents dominants afin d'assurer une bonne ventilation extérieure tout en favorisant les systèmes de ventilation naturelle au sein des bâtiments ;
- De **prévoir de l'espace entre les bâtiments** pour rendre les rues plus « poreuses ».

ILLUSTRATION D'UNE CONCEPTION EN QUINCONCE D'UN QUARTIER



FREINS ET LEVIERS

⊖ Si elle est efficace, cette mesure adaptative ne peut être mise en place dans toutes les situations car elle requiert de **gros travaux d'aménagement**. Ainsi, les espaces qui sont déjà fortement urbanisés ont souvent une moindre marge de manœuvre pour garantir une bonne circulation de l'air.

⊕ Si cette action relève principalement de **l'aménagement du territoire**, les acteurs de l'immobilier peuvent également intégrer ces enjeux lors de la conception des bâtiments et des infrastructures.

⊖ Il est important de relever que l'étude aérologique **peut impacter les stratégies de** végétalisation. En effet, la circulation d'air peut parfois pâtir de la présence d'arbres qui peuvent freiner certains courants et la dispersion des polluants atmosphériques si la disposition n'a pas été réfléchie. La stratégie de rafraîchissement doit prendre en compte les nécessités d'aération, d'ombrage, d'évapotranspiration, etc. Le choix de l'essence revêt donc une importance primordiale. De plus, il convient parfois de privilégier certaines formes de végétalisation, telles que la végétation spontanée ou de façade.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Accentuation de la vulnérabilité face aux vents violents et tempêtes

Améliorer la circulation de l'air entre les bâtiments peut créer un report de vulnérabilité temporel, surtout en cas de négligence des évolutions climatiques futures. Si les choix d'aménagement ne sont pas adaptés pour faire face à des phénomènes météorologiques extrêmes plus intenses, tels que des vents violents ou des tempêtes, les zones qui favorisent la circulation de l'air pourraient devenir vulnérables et subir des dommages structurels.

Altération de la biodiversité locale

Une altération de la circulation de l'air peut avoir un impact sur la manière dont des éléments biologiques et chimiques se déplacent dans l'environnement. Les espèces végétales dépendent souvent du transport aérien de leurs éléments reproducteurs, comme le pollen. Si ces éléments ne sont pas distribués efficacement en raison de modifications de la circulation de l'air, cela pourrait affecter la composition des écosystèmes locaux, y compris les interactions entre les plantes et les pollinisateurs comme les abeilles.

Accumulation de polluants

Lorsque des polluants (particules fines ou gaz toxiques) sont émis dans l'air, leur déplacement dépend en partie des schémas de circulation atmosphérique. Si la circulation de l'air entre les bâtiments n'est pas soigneusement considérée, cela peut entraîner l'accumulation de polluants dans certaines zones, ce qui ensuite risque d'affecter la santé humaine.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- CONSTRUIRE EN QUINCONCE LES BÂTIMENTS
- RÉALISER UNE ÉTUDE SUR LA CIRCULATION DES FLUX D'AIR À L'ÉCHELLE DE LA VILLE
- PRÉVOIR UN ESPACEMENT ENTRE LES BÂTIMENTS

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/- : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/- Rapport de la hauteur du bâtiment (H) aux largeurs des rues adjacentes (L)	A minimiser pour limiter l'effet de canyon urbain
+/- Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/- Concentration des polluants dans l'air des rues adjacentes au bâtiment (µg/m³) à l'aide des données cartographiques des Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air	A minimiser

NOTION / DÉFINITION

- Une rue est un espace ouvert (par opposition à la rue en canyon) si la hauteur H du bâtiment divisée par la largeur de la rue L est inférieure à 1.

OUTIL

- En France, la surveillance de la qualité de l'air est confiée à des associations indépendantes régionales : les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA).

EN SAVOIR PLUS

Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France (2010), Les îlots de chaleur urbains – Répertoire de fiches connaissances

Agence de la Transition écologique (2012), Guide de recommandation pour lutter contre l'effet îlot de chaleur urbain à destination des collectivités territoriales

ADEME (2020), Mesures pour modifier le trafic routier en ville et qualité de l'air extérieur – Recherches bibliographiques et analyses.

ADEME (2022), La pollution de l'air en 10 questions – Moins de polluants pour notre santé et l'environnement

INSTALLER DES DISPOSITIFS DE PROTECTION SOLAIRE

ALÉA



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT



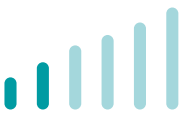
ENVELOPPE

COÛTS

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



faible

S'il peut constituer un atout dans le cadre du chauffage passif en hiver, le rayonnement solaire est considéré comme une incommodité majeure durant l'été. En effet, en rayonnant sur les parois vitrées et opaques du bâtiment, le soleil en réchauffe l'intérieur et détériore le confort thermique de ses occupants en période estivale. L'installation judicieuse de dispositifs de protection solaire permet de protéger l'enveloppe du bâtiment en été, tout en conservant les avantages du rayonnement en hiver. Les dispositifs de protection solaire peuvent être fixes ou amovibles.

IMPACTS

Les dispositifs de protection solaire permettent de bloquer les apports solaires directs, notamment au niveau des parois vitrées qui constituent des faiblesses thermiques du bâtiment, et ainsi de préserver le confort thermique des occupants en été.

Par des systèmes d'orientation ingénieux qui prennent en compte la course du soleil différenciée en été et en hiver (le soleil est plus haut et orienté plus au nord en été), les équipements de protection solaire peuvent également permettre de maximiser le chauffage passif d'hiver en laissant pénétrer les rayons solaires hivernaux.

S'il est possible de mettre en place des protections solaires intérieures (stores ou rideaux), il est vivement recommandé de privilégier les protections solaires extérieures, beaucoup plus efficaces.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Divers dispositifs de protection solaire extérieurs fixes peuvent être mis en place, tels que les auvents (a), les brise-soleils (b), les persiennes (c), ou encore les débords de toits ou balcons en étage supérieur (d).

Il est également possible d'installer des **dispositifs de protection solaires extérieures amovibles** tels que des pare-soleil horizontaux, des volets et des stores extérieurs.

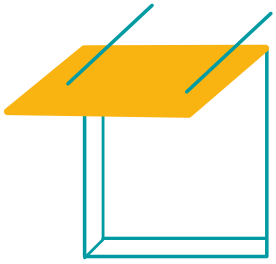
Il est conseillé de privilégier les dispositifs qui permettent à la fois de **bloquer le rayonnement solaire d'été et de laisser pénétrer celui d'hiver** : brise-soleils verticaux, dispositifs amovibles et dispositifs fixes bien dimensionnés (pour ne pas bloquer le rayonnement solaire hivernal).

Lors du choix des dispositifs de protection solaire, il est important de prendre en compte les perturbations atmosphériques (vent, pluie) et les comportements des usagers du bâtiment et de la rue. Par exemple, on évitera de sélectionner des dispositifs fragiles, tels que les toiles, si le bâtiment est exposé à des vents forts ou soumis au vandalisme.

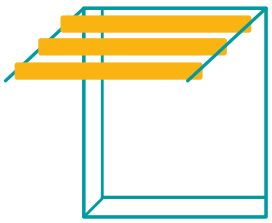
Si des protections solaires intérieures, telles que des toiles opaques ou des stores, sont mises en place, il faudra veiller à ce que celles-ci soient claires et couvrent toute la surface des fenêtres.

PRINCIPAUX DISPOSITIFS DE PROTECTION SOLAIRE EXTÉRIEURS

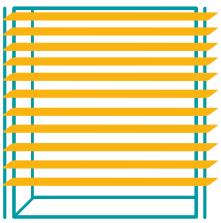
Auvents (a) : Protection horizontale opaque, intégrée à la structure du bâtiment



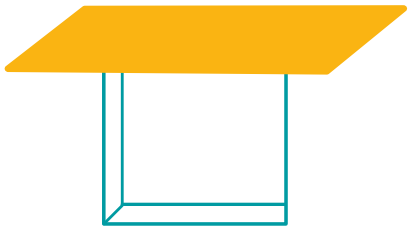
Brise-soleil (b) : composé de lames (horizontales ou verticales) disposées sur un châssis



Persiennes (c) : composées de lamelles inclinées disposées sur la façade



Débords de toits et balcons à l'étage (d) : permet de protéger les fenêtres ainsi qu'une partie des murs des rayons du soleil



© OID, 2021

FREINS ET LEVIERS

⊕ La mise en place de dispositifs de protection solaire doit idéalement s'inscrire dans une **stratégie de réduction des besoins en refroidissement** du bâtiment qui passe par l'amélioration de la protection du bâti face au rayonnement solaire (meilleure isolation des parois opaques et vitrées, choix de revêtements extérieurs à fort albédo, etc…).

⊖ On veillera à sélectionner et placer les dispositifs de protection solaire afin qu'ils laissent tout de même **pénétrer la lumière du jour dans le bâtiment**. Il s'agit de préserver le confort et le bien-être des occupants et ne pas entraîner une augmentation de la consommation énergétique due à l'utilisation plus fréquente de l'éclairage.

⊖ Les dispositifs de protection solaire nécessitent un **entretien et des ajustements réguliers**. Une maintenance inadéquate peut réduire leur efficacité avec le temps, augmentant ainsi la vulnérabilité aux variations climatiques.



Façade du Suravenir, à Brest, avec les casquettes composées de lames brise-soleil

ILS L'ONT TESTÉ POUR VOUS

CRÉDIT MUTUEL ARKÉA

BÂTIMENT : SIÈGE SURAVENIR, BREST
SUPERFICIE : 8 500 M², SOUS-SOL ET RDC+2
USAGE : TERTIAIRE (BUREAUX)
COÛT : 500 000 €

Le siège de Suravenir (filiale d'assurance-vie et de prévoyance du Groupe Crédit Mutuel Arkéa) est situé à Brest (Finistère), dans un immeuble d'exploitation de près de 8500m² géré par le Groupe Crédit Mutuel Arkéa. Construit en 1999, ce bâtiment de bureaux qui accueille plus de 530 occupants, était initialement chauffé et climatisé par un système de boucle d'eau sur PAC (pompe à chaleur) avec appoint au gaz. Le vieillissement de ce système entraînait des dysfonctionnements et un coût de maintenance élevé. Dans ce contexte, une étude STD (Simulation Thermique Dynamique) ainsi qu'une étude d'ombre portée ont donc été menées en 2013 pour analyser le comportement du bâtiment tout au long de l'année, sur les différentes saisons et déterminer les améliorations techniques envisageables. Les conclusions ont montré que l'installation de dispositifs de protection solaire, couplés à un système de ventilation nocturne, permettrait d'assurer le confort d'été en évitant le recours à la climatisation, tout en conservant des apports lumineux suffisants pour le confort des occupants en période hivernale. Ainsi, des casquettes ont été positionnées en surplomb des parois vitrées. Composées de lames orientables manuellement, elles se caractérisent également par une faible prise au vent. Les travaux d'installation du dispositif ont été terminés en 2015. L'intervention dans son intégralité a permis d'atteindre une réduction des consommations énergétiques annuelles d'environ 13 %, et de réduire les coûts de maintenance relatifs à l'installation antérieure.

REPÈRES DE SUIVI

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de fenêtres équipées de dispositifs de protection solaire extérieurs fixes et/ou amovibles (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison entre la température intérieure la nuit avec utilisation de dispositifs de protection solaire le jour et celle d'une situation témoin* (°C)	Température intérieure la nuit avec utilisation de dispositifs de protection solaire le jour < celle de la situation*
+/− Comparaison entre le cumul annuel du Degré-Heure d'inconfort et celui d'une situation témoin (°C.h.) * à l'aide de l'outils RITE	Cumul annuel du Degré-Heure d'inconfort < celui de la situation témoin*
+/− Comparaison entre la température intérieure le jour avec utilisation de dispositifs de protection solaire le jour et celle d'une situation témoin* (°C)	Température intérieure le jour avec utilisation de dispositifs de protection solaire < celle de la situation témoin*

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

RÉGLEMENTATION / CRITÈRE

● La RE2020 définit 2 seuils que la « **température intérieure « au bâtiment** ne doit pas dépasser pour éviter tout inconfort. La nuit, le seuil de température est de 26°C. Le jour, un seuil de température adaptatif qui se situe entre 26° et 28°C. Au-delà de ces seuils, chaque degré supplémentaire dans le bâtiment est considéré comme inconfortable pour l'occupant. On parle alors de **Degré-Heure (DH) d'inconfort.** En journée, ce seuil est constant sans forcément être identique à celui du jour précédent : il varie d'une journée à l'autre pour prendre en compte la capacité du corps humain à s'adapter aux températures élevées après une succession de journées chaudes, dans la limite de +2°C par rapport au seuil consensuel de 26°C. L'indicateur DH prend donc en compte les conditions climatiques des journées passées, il permet de proposer un niveau de confort relatif et donc plus proche de ce qui est effectivement ressenti par les habitants.

OUTIL

● Le Cerema a conçu l'outil RITE (Risque d'Inconfort Thermique d'Été) pour évaluer rapidement le confort d'été à l'intérieur des nouvelles constructions ou rénovations en réponse au changement climatique. Accessible à tous les acteurs du secteur du bâtiment, RITE est pour l'instant développé que pour l'habitation.

EN SAVOIR PLUS

ADEME (2021), Des solutions pour rafraîchir les villes - S'inspirer d'expériences dans le monde selon la variabilité des climats d'aujourd'hui et de demain

Cerema (2022), Le Cerema publie un outil permettant de calculer les bénéfices été/hiver d'une protection solaire de baie

Cerema (2023), Evaluation du Risque d'Inconfort Thermique d'été face au changement climatique. Présentation et notice d'utilisation

Plus fraîche ma ville (2023), Façade structure ombrage

LIMITER ET ADAPTER LES PAROIS VITRÉES

ALÉA



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



ENVELOPPE

COÛTS

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Parce qu'elles constituent le point faible de l'isolation thermique d'un bâtiment en été comme en hiver, les parois vitrées doivent faire l'objet d'une attention particulière. Leur faible isolation permet à la fois à la chaleur de pénétrer dans le bâti en été et de s'en échapper en hiver. La transparence du vitrage est considérée comme une incommodité majeure durant l'été, car en laissant passer les rayons du soleil, les surfaces vitrées participent grandement au réchauffement de l'intérieur du bâtiment.

IMPACTS

Limiter, bien orienter et adapter les parois vitrées permet de réduire la pénétration de la chaleur et du rayonnement solaire dans le bâti et ainsi de préserver le confort thermique d'été des occupants. En effet, les surfaces vitrées seraient responsables des 2/3 des apports de chaleur en été.

Mieux penser les surfaces vitrées permet de diminuer le recours à des systèmes de refroidissement, tels que la climatisation, et ainsi de réduire l'impact environnemental du bâti. Les économies d'énergie réalisées doivent également permettre d'alléger la facture énergétique du bâtiment.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Afin d'améliorer les conditions de confort thermique des bâtiments, il est essentiel :

- **De limiter les surfaces vitrées**, notamment sur les façades est et ouest qui sont les plus exposées en été, et de positionner les ouvertures de façon à minimiser les apports solaires d'été et à maximiser ceux d'hiver (façade sud). Cette mesure ne peut être mise en place que dans le cadre de constructions neuves ou de rénovations conséquentes.
- **De bien isoler les parois vitrées** en employant du double ou triple vitrage qui permet de minimiser les échanges de chaleur par conduction et convection.

Il est envisageable d'utiliser des revêtements pour les surfaces vitrées sous forme de films solaires. Lorsque la lumière du soleil atteint une surface, une partie de cette lumière est absorbée et se transforme en chaleur. Les films solaires agissent en filtrant une partie de la lumière solaire, comprenant les rayons ultraviolets (UV) et infrarouges (IR). Grâce à cette action, ils diminuent la quantité d'énergie solaire qui pénètre à l'intérieur. Ainsi, une moindre quantité d'énergie solaire se convertit en chaleur dans l'espace intérieur, ce qui aide le maintien du confort thermique des occupants.

Il est également possible d'avoir recours à du vitrage qui réduit l'apport solaire tels que le vitrage à faible gain solaire (qui limite les rayons du soleil en été comme en hiver) ou le verre intelligent qui s'assombrit et s'éclaircit afin de contrôler la pénétration du rayonnement solaire (par exemple : le vitrage thermochromique qui réagit aux changements de température, le vitrage électrochrome qui change de couleur sur commande de manière manuelle ou automatisée ou le vitrage photochrome qui s'adapte aux changements d'intensité lumineuse).



Exemples de bâtiments comprenant trop de surface vitrée (Paris, France)

FREINS ET LEVIERS

⊕ Si le rayonnement solaire constitue une incommodité majeure en été, il est d'une grande aide pour le chauffage passif d'hiver. C'est pourquoi il est conseillé de privilégier les solutions modulables de limitation des apports solaires tels que des dispositifs de protection solaire extérieurs bien dimensionnés ou le vitrage intelligent.

⊖ Les parois transparentes ou réfléchissantes représentent un danger pour les oiseaux qui ne les voient pas et se blessent en venant percuter le bâtiment. Afin d'éviter les collisions, un marquage à fort contraste ou un masque floutant peuvent être mis en place sur les surfaces vitrées.

⊕ Lors du choix du vitrage, d'autres facteurs tels que l'isolation sonore, l'apport de lumière naturelle pour assurer le bien-être des occupants ou la possibilité de créer un courant d'air dans le cadre d'une ventilation naturelle doivent également être pris en compte.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Création d'un effet rebond

Il est primordial de commencer par restreindre la surface des parois vitrées, suivi d'une adaptation judicieuse, plutôt que d'opter massivement pour des parois vitrées équipées de verre à faible gain solaire ou de technologies intelligentes. Une telle approche éviterait de provoquer un effet rebond indésirable. Cependant, une réduction excessive des surfaces vitrées limite les opportunités de rafraîchissement passif, notamment la possibilité d'établir une ventilation naturelle efficace.

Augmentation de l'empreinte environnementale

La production de vitrage à faible gain solaire ou de verre intelligent peut nécessiter des procédés de fabrication plus complexes, des procédés chimiques et énergétiques plus intensifs, l'utilisation de technologies spéciales et la consommation accrue de ressources, ce qui peut potentiellement entraîner une empreinte environnementale plus élevée par rapport au verre classique. Cependant, il est important de noter que l'impact environnemental exact dépendra de plusieurs facteurs, notamment les matériaux utilisés, les méthodes de fabrication, les sources d'énergie, les distances de transport et d'autres considérations liées à la durabilité. En fin de compte, pour évaluer l'empreinte environnementale spécifique de ces différents types de vitrage, il serait nécessaire de prendre en compte l'ensemble du cycle de vie, y compris la production, l'utilisation et la fin de vie, ainsi que les caractéristiques spécifiques de chaque option de vitrage et les conditions locales.

REPÈRES DE SUIVI

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de surface de parois vitrées (%)	Recherche d'un équilibre entre la luminosité naturelle et prévention de la surchauffe des pièces pendant l'été
+/− Pourcentage de parois vitrées pouvant contrôler la pénétration du rayonnement solaire (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison entre la température des pièces avec parois vitrées et celles d'une situation témoin* sans parois vitrées (°C)	Température sans parois vitrées < celle de la situation témoin*
+/− Comparaison entre la température des pièces avec parois vitrées adaptées et celles d'une situation témoin* (°C)	Température avec parois vitrées adaptés < celle de la situation témoin*
+/− Comparaison entre la consommation énergétique dédiée au refroidissement avec amélioration de l'isolation et l'inertie des parois opaques et celle d'une situation témoin* (kWh)	Consommation énergétique dédiée au refroidissement avec amélioration de l'isolation et l'inertie des parois opaques < celle de la situation témoin*

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

OUTIL

● Le Cerema a conçu l'outil RITE **(Risque d'Inconfort Thermique d'Été)** pour évaluer rapidement le confort d'été à l'intérieur des nouvelles constructions ou rénovations en réponse au changement climatique. Accessible à tous les acteurs du secteur du bâtiment, RITE est pour l'instant développé que pour l'habitation.

EN SAVOIR PLUS

Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Energies (ARENE) Île-de-France, Institut pour la Conception Écoresponsable du Bâti (ICEB) (2014), Guide bio-tech : confort d'été passif

Cerema (2023), Evaluation du Risque d'Inconfort Thermique d'été face au changement climatique. Présentation et notice d'utilisation

Guide bâtiment durable (2014), Optimiser l'architecture pour limiter les besoins

Institut national de Santé Publique Québec (2009), Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains

RAFRAÎCHIR LES ESPACES INTÉRIEURS PAR LE SOL

ALÉA



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



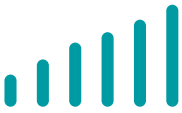
RAFRAÎCHISSEMENT

COÛTS

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

Face à l'augmentation de la température et à l'intensification et la multiplication des vagues de chaleur, la géothermie de surface représente une solution de rafraîchissement passive du bâtiment. A partir d'une dizaine de mètres de profondeur, la température du sol se stabilise à environ 15°C tout au long de l'année. La géothermie consiste à se servir du sol comme source de fraîcheur (en été) ou de chaleur (en hiver) et s'inscrit donc dans une dynamique d'exploitation des avantages du territoire. Cette méthode peut être mise en place dans tous types de bâtiments.

IMPACTS

La géothermie de surface permet de **rafraîchir les espaces intérieurs** du bâtiment et ainsi de préserver le confort thermique des occupants du bâti en période estivale. La mise en place d'un système de géothermie peut donner lieu à **d'importantes économies d'énergie** permettant d'alléger la facture énergétique du bâtiment et de réduire l'impact environnemental des équipements, notamment du fait de l'absence de transport de l'énergie.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Il existe de nombreux systèmes de géothermie, verticaux ou horizontaux, à air ou hydrauliques. Le choix du dispositif à mettre en place se fera notamment en fonction des caractéristiques du bâtiment (*e.g.* surface du bâti) et du terrain, de l'espace disponible et du budget alloué.

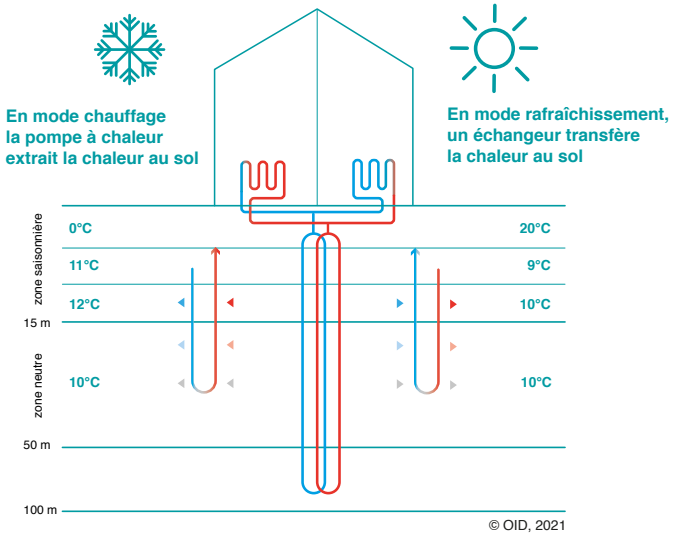
Deux systèmes de géothermie, qualifiés de « passifs » se distinguent car ils consomment peu ou pas d'énergie :

- **Le géocooling** consiste à utiliser la différence de température entre le sol et l'intérieur du bâtiment afin de rafraîchir celui-ci grâce à un échangeur thermique, sans extraction active. Il peut être mis en place indépendamment d'autres systèmes de géothermie (le géocooling est alors un dispositif à part entière) ou utilisé avec d'autres dispositifs de géothermie en contournant la pompe à chaleur. Un principe similaire est utilisé dans le cadre des systèmes de « free-cooling » mis en place dans les réseaux de froid collectifs qui permettent d'exploiter la fraîcheur d'une source d'eau afin de refroidir les bâtiments.

- Le **puit provençal** consiste à faire circuler l'air neuf capté à l'extérieur dans un conduit enterré avant de l'insuffler dans le bâtiment. Il s'agit surtout d'une méthode de pré-refroidissement ou de préchauffage. Pour plus d'efficacité, il peut être associé à une VMC simple ou double flux.

Les étapes de conception et d'installation des systèmes de géothermie sont extrêmement importantes. En effet, aucune erreur ne doit être commise car une fois le dispositif mis en place, il est très souvent difficile et coûteux d'intervenir au niveau des parties enterrées.

SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME DE GÉOTHERMIE EN PÉRIODE HIVERNALE ET ESTIVALE



Source : Ma solution chauffage (2020)

FREINS ET LEVIERS

- ⊕ L'utilisation de la géothermie en **milieu urbain peut s'avérer difficile** car elle nécessite très souvent une emprise foncière libre. La mise à profit des **espaces collectifs**, tels que les parcs ou les espaces de stationnement, par les acteurs publics peut cependant constituer une solution intéressante et innovante pour faire de la géothermie grâce à un système de « boucle d'eau tempérée ».
- ⊕ En construction, le dispositif **peut être mis en place sous le bâtiment**, et ne nécessitera pas dès lors d'emprise foncière supplémentaire.
- ⊕ Bien que le coût d'installation d'un système de géothermie soit important, les particuliers, les collectivités et les entreprises peuvent **bénéficier d'aides financières** à la mise en place de solutions de géothermie, telles que le Fonds Chaleur de l'Ademe, l'aide pour toute installation d'une pompe à chaleur géothermique en remplacement d'une vieille chaudière thermique ou MaPrimeRénov'.
- ⊖ Les **conséquences sur la biodiversité** sont encore mal évaluées : émissions de polluants toxiques, perturbation de l'écosystème du sol, etc.
- ⊕ La géothermie ne permet pas toujours de répondre à l'entièreté des besoins énergétiques des occupants du bâtiment, notamment en période hivernale. Elle peut être utilisée en **solution de base,** mais peut nécessiter le **recours à d'autres dispositifs** ponctuels.

MALADAPTATION

L'utilisation de la géothermie de surface pour rafraîchir les espaces intérieurs des bâtiments peut être affectée par le changement climatique. La capacité du sol à agir comme source de fraîcheur dépend de sa stabilité thermique à travers les saisons et les années. Si la température du sol ou ses caractéristiques géothermiques évoluent en raison de facteurs tels que le **réchauffement climatique**, cela pourrait **réduire l'efficacité du système de rafraîchissement passif**. Par exemple, si la température du sol devient plus élevée au fil du temps, la différence de température entre le sol et l'intérieur du bâtiment pourrait diminuer, ce qui pourrait compromettre la capacité du système à refroidir efficacement les espaces intérieurs.

REPÈRES DE SUIVI

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison entre la température extérieure et intérieure au bâtiment en période estivale (°C)	Augmentation de l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment en période estivale
+/− Comparaison entre la consommation énergétique dédiée aux besoins en froid avec système de géothermie et celle d'une situation témoin* (kWh)	Consommation énergétique avec système de géothermie < celle de la situation témoin*
+/− Pourcentage des besoins en froid couverts par la géothermie (%)	A maximiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

EN SAVOIR PLUS

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) (2017), Chauffer et rafraîchir avec une énergie renouvelable : géothermie très basse énergie

Association française des professionnels de la géothermie (AFPG) (2020), La géothermie de surface

Guide bâtiment durable Brussels (2016), Puits canadien

Ministère de la Transition énergétique (2023), Géothermie : un plan d'action pour accélérer



Parking de la Caf du Loiret situé au-dessus des sondes géothermiques verticales

ILS L'ONT TESTÉ POUR VOUS

CAF DU LOIRET

BÂTIMENT : CAF DU LOIRET, ORLÉANS
SUPERFICIE : 12 000M²
USAGE : TERTIAIRE
COÛT : 150 000 – 180 000 €

Du fait de la proximité avec la Loire, le bâtiment de la CAF du Loiret a pu mettre en place un système de géothermie par nappe phréatique. Les travaux ont eu lieu à l'occasion du renouvellement des centrales de traitement d'air qui étaient vieillissantes. Ce dispositif devait répondre aux besoins en froid des 290 occupants du bâtiment de 12 000 m² sur 5 niveaux et diminuer la consommation énergétique des équipements de chauffage. Situé sous le parking adjacent au bâtiment, le système de géothermie a été inauguré en août 2019. Le dispositif apporte un haut niveau de satisfaction : baisse de température de 6 à 7°C par rapport à l'extérieur en été et réduction des consommations énergétiques d'environ 25 %. La géothermie couvre 100 % des besoins en froid (géocooling) et 15-20 % des besoins en chaud du bâtiment (le reste étant fourni par l'ancien système de pompes à chaleur au gaz). Malgré un coût d'installation assez élevé, la Caf a pu bénéficier d'une aide financière de l'Ademe (Fond Chaleur) et l'installation devrait être rentabilisée en une dizaine d'années.

RAFRAÎCHIR LES ESPACES INTÉRIEURS PAR MÉTHODES ADIABATIQUES

ALÉA

CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE

CONSTRUCTION

RÉNOVATION

EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT

RAFRAÎCHISSEMENT

COÛTS

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS

moyen

Face à l'augmentation de la température et à la multiplication des vagues de chaleur, le refroidissement adiabatique représente une solution de rafraîchissement durable. Le principe de ce système est simple : il s'agit de pulvériser de l'eau sur l'air chaud, qui, en faisant évaporer l'eau, perd des calories et se refroidit. Le refroidissement adiabatique est une stratégie de refroidissement à faible consommation qui peut être mise en œuvre dans le cadre du bâti neuf et existant.

IMPACTS

Le refroidissement adiabatique permet **d'abaisser la température de plusieurs degrés** : d'une température de départ de 32°C avec 30 % d'humidité, on passe à 25°C en augmentant l'humidité à 60 %.

Son intérêt est pourtant limité aux pays confrontés à des périodes de chaleur sèche, ponctuelles ou continues, car plus le taux d'humidité de l'air est bas, plus celui-ci est capable d'absorber de l'eau et donc de se rafraîchir.

L'impact de ce dispositif est double puisqu'il s'inscrit à la fois dans une stratégie d'adaptation et d'atténuation du changement climatique : le refroidissement adiabatique consomme jusqu'à 10 fois moins d'énergie que la climatisation et ne rejette pas de chaleur à l'extérieur.

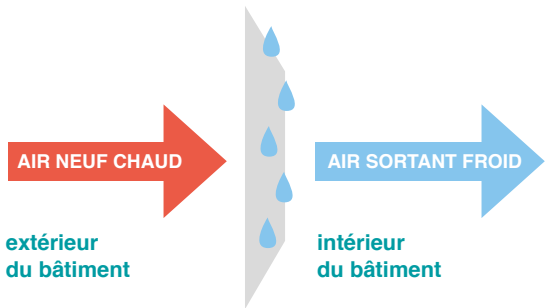
GUIDE DE MISE EN PLACE

Il existe deux systèmes de refroidissement adiabatique :

- Le **refroidissement adiabatique direct**, dans lequel l'air neuf est rafraîchi directement par humidification. Ce système est réservé aux grands espaces avec un faible taux d'occupation humaine (par ex : usines ou grandes surfaces) car l'air insufflé est très humide.

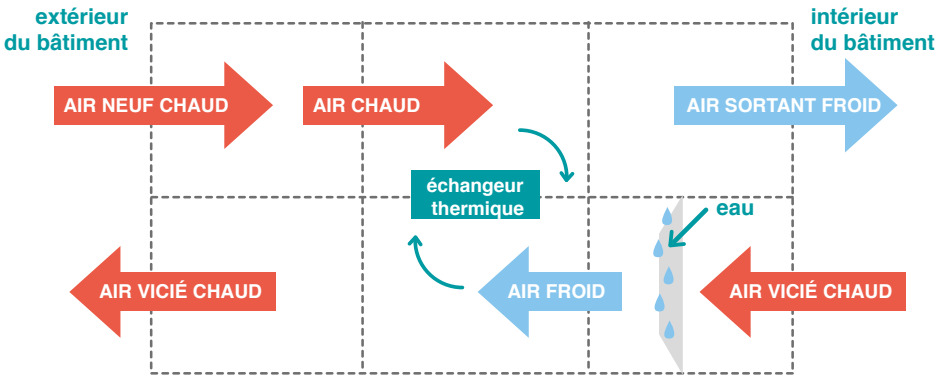
- Le **refroidissement adiabatique indirect**, dans lequel l'air neuf se rafraîchit en réchauffant l'air vicié qui est humidifié. Ce système permet un meilleur contrôle de l'humidité des locaux et peut être utilisé dans des espaces à haut taux d'occupation.

SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT DU REFROIDISSEMENT DIRECT



© OID, 2021

SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT DU REFROIDISSEMENT INDIRECT



© OID, 2021

FREINS ET LEVIERS

⊖ La mise en place d'un système de refroidissement adiabatique peut entraîner une **augmentation de la consommation d'eau** qui doit être anticipée. Pour limiter cette augmentation et améliorer la résilience du bâtiment, le refroidissement adiabatique peut être pourvu d'une fonctionnalité intégrée de réutilisation de l'eau ou couplé à un dispositif de récupération des eaux de pluie.

⊖ L'eau utilisée pour le refroidissement adiabatique doit dans certains cas (utilisation d'eau dure ou d'eau de pluie) être prétraitée avant de pénétrer dans le système de refroidissement. Ce **prétraitement de l'eau peut être coûteux**, et doit être pris en compte lorsque le dispositif est envisagé.

⊕ Contrairement aux dispositifs de ventilation naturelle, qui supposent un agencement architectural particulier, le refroidissement passif **peut être mis en œuvre dans presque tous les bâtiments**. Ce dispositif est intéressant à la fois pour le bâti tertiaire et le logement, à condition de sélectionner des appareils adaptés.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Insuffisance du rafraichissement par méthode adiabatique

Si le rafraîchissement par méthode adiabatique devient la seule solution ou la principale méthode pour assurer le confort thermique en période estivale, il pourrait en résulter une dépendance. Étant donné que les vagues de chaleur vont devenir plus fréquentes et/ou plus intenses, cette méthode pourrait ne pas suffire à maintenir des conditions intérieures confortables. Il est donc essentiel de considérer les solutions de rafraîchissement adiabatique comme faisant partie intégrante d'une approche globale et diversifiée pour faire face au changement climatique.

Augmentation de la pression sur la ressource en eau

Le refroidissement adiabatique peut nécessiter une quantité significative d'eau, en particulier dans les systèmes de grande envergure, tels que ceux utilisés dans les bâtiments industriels ou commerciaux. Dans les régions déjà confrontées à des pénuries d'eau, l'utilisation intensive de l'eau pour le refroidissement adiabatique peut aggraver la situation en ajoutant une pression supplémentaire sur les ressources hydriques locales.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- **PRIVILÉGIER UN SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT ADIABATIQUE RÉUTILISANT L'EAU**
- **COUPLER SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT ADIABATIQUE À UN DISPOSITIF DE RÉCUPÉRATION DES EAUX DE PLUIE**

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre
+/− Consommation d'eau mensuelle (m^3)	A minimiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison entre la température intérieure avec méthode adiabatique et celle d'une situation témoin* (°C)	Température intérieure avec méthode adiabatique < celle de la situation témoin*
+/− Comparaison entre la consommation énergétique avec méthode adiabatique et celle d'une situation témoin* (kWh)	Consommation énergétique avec méthode adiabatique < celle de la situation témoin*
+/− Pourcentage des besoins en froid couverts par la méthode adiabatique (%)	A maximiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

OUTIL

● Le Cerema a conçu l'outil RITE **(Risque d'Inconfort Thermique d'Été)** pour évaluer rapidement le confort d'été à l'intérieur des nouvelles constructions ou rénovations en réponse au changement climatique. Accessible à tous les acteurs du secteur du bâtiment, RITE est pour l'instant développé que pour l'habitation.

EN SAVOIR PLUS

Agence Parisienne du Climat (APC) (2020), Le rafraîchissement adiabatique : alternative naturelle à la climatisation

Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Energies (ARENE), Île-de-France et Institut pour la Conception Écoresponsable du Bâti (ICEB) (2014), Guide bio-tech : confort d'été passif

Guide bâtiment durable Brussels (2016), Refroidissement adiabatique

PROFEEL (2021), Les solutions de rafraichissement adiabatique dans les bâtiments tertiaires en rénovation

RAFRAÎCHIR LES ESPACES INTÉRIEURS PAR VENTILATION

ALÉA



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT



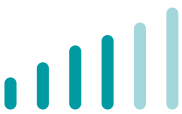
RAFRAÎCHISSEMENT

COÛTS

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Alors que le confort thermique intérieur des usagers est de plus en plus menacé par le changement climatique, et, notamment, par la hausse des températures et les vagues de chaleur, les systèmes de refroidissement par ventilation permettent de rafraîchir les espaces intérieurs des bâtiments. Naturels ou mécaniques, ces dispositifs contribuent au renouvellement de l'air, de manière « passive » ou avec une faible consommation d'énergie. Ils s'appuient sur le principe du « free-cooling », qui consiste à profiter de la différence de température entre l'air extérieur (plus frais) et l'air intérieur pour assurer le rafraîchissement, particulièrement en période nocturne.

IMPACTS

Le rafraîchissement par ventilation permet de **conserver le confort thermique** des occupants du bâtiment avec une **consommation énergétique nulle ou faible**. Le rafraîchissement par ventilation permet également d'améliorer la qualité de l'air et de préserver le bâti contre les dégâts liés à l'humidité, grâce à un taux de renouvellement de l'air élevé. En effet, en contrôlant l'humidité à l'intérieur du bâtiment, la ventilation peut contribuer à prévenir les problèmes liés à l'humidité, tels que la formation de moisissures, la détérioration des matériaux de construction et des équipements, ainsi que les problèmes de santé associés à un air intérieur humide.

Cependant, pour être pleinement efficaces, les systèmes de refroidissement par ventilation doivent être **associés à une stratégie de limitation de la pénétration de la chaleur** dans le bâtiment à l'aide de dispositifs de protection solaire, d'une bonne isolation des parois opaques et vitrées et de revêtements de murs et de toiture à fort albédo.

GUIDE DE MISE EN PLACE

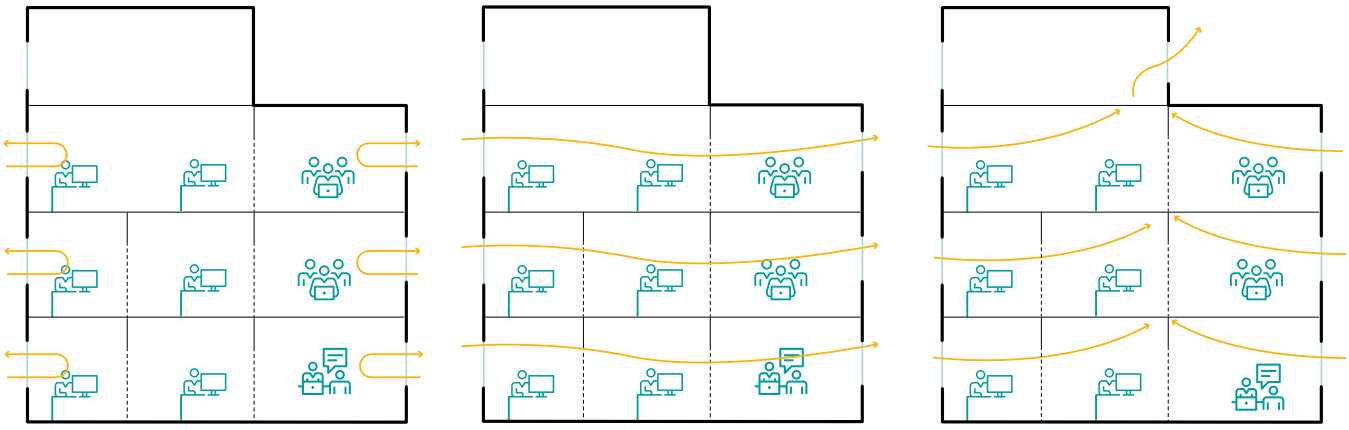
Il existe trois principales méthodes de rafraîchissement par ventilation :

- **Ventilation naturelle** : il s'agit de refroidir les espaces intérieurs du bâtiment sans intervention d'appareils mécaniques et donc sans consommation d'énergie (système de refroidissement passif). Par ordre croissant d'efficacité, cette ventilation peut être unilatérale (l'air rentre et sort par le même côté), transversale (le flux d'air traverse le bâtiment) ou verticale (l'air rentre au niveau des espaces inférieurs puis remonte pour s'échapper du bâtiment par le haut). Cette dernière méthode peut permettre de développer les pratiques architecturales innovantes, en reproduisant notamment le fonctionnement des termitières et des tours à vents.

- **Ventilation hybride** : le fonctionnement est similaire à un système de ventilation naturelle mais bénéficie d'une assistance mécanique à certains endroits pour assurer des débits minimums.

- **Ventilation mécanique** : il s'agit de créer des mouvements d'air grâce à des ventilateurs. La ventilation mécanique peut être à simple flux, à double flux, par insufflation ou répartie.

ILLUSTRATION DES TROIS SYSTÈMES DE VENTILATION NATURELLE



ventilation unilatérale — ventilation transversale — ventilation verticale

© OID, 2021

FREINS ET LEVIERS

⊕ Parce qu'il joue sur la différence de température entre l'air extérieur et l'air intérieur, le rafraîchissement par ventilation possède un **potentiel de refroidissement limité en mi-saison et en période estivale** (la journée). Cette stratégie est donc souvent **mise en œuvre durant la nuit**.

⊖ Si elle permet les plus importantes économies d'énergie, la ventilation naturelle est difficile à mettre en place dans le cadre du bâti existant de grande dimension car elle **requiert un agencement architectural particulier**. Pour le bâti de petite taille, on pourra profiter du free-cooling en ouvrant simplement une fenêtre ou une porte en fin ou début de journée.

⊕ La mise en place de dispositifs de ventilation dans des bâtiments tertiaires doit se faire dans le **respect des exigences** contenues dans le Règlement Sanitaire Départemental qui s'applique et dans le Code du Travail, pour les lieux de travail.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Négligence des investissements à long terme pour rendre le bâtiment résilient

La mise en œuvre de systèmes de refroidissement par ventilation, en tant que solution rapide et temporaire de refroidissement, peut inciter les occupants et les gestionnaires de bâtiments à adopter une attitude complaisante. Cependant, il est important qu'ils ne sous-estiment pas l'importance des investissements plus conséquents visant à améliorer structurellement le bâtiment. Ces investissements ont le potentiel d'apporter des avantages durables et significatifs en termes de confort thermique et d'économies d'énergie.

Perte d'efficacité, voire inefficacité, face à la hausse des températures

À mesure que les températures extérieures augmentent en raison du changement climatique, les systèmes de refroidissement par ventilation pourraient perdre en efficacité pour maintenir un confort thermique optimal. Si cette diminution d'efficacité n'est pas prise en compte dans la planification, les occupants pourraient se retrouver confrontés à des conditions intérieures de plus en plus inconfortables. De manière similaire, si les systèmes de rafraîchissement par ventilation sont conçus en fonction des conditions climatiques actuelles, cela pourrait entraîner une inefficacité du système pendant les périodes de chaleur extrême, laissant les occupants vulnérables aux vagues de chaleur en raison de l'incapacité du système à gérer les températures extrêmes.

REPÈRES DE SUIVI

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE RÉSULTATS		INTERPRÉTATION
+/−	Comparaison entre la température intérieure la nuit avec système de refroidissement par ventilation et celle d'une situation témoin* (°C)	Température intérieure avec système de refroidissement par ventilation < celle de la situation témoin*
+/−	Comparaison entre la température intérieure le jour avec système de refroidissement par ventilation et celle d'une situation témoin* (°C)	Amélioration du confort thermique
+/−	Comparaison entre la consommation énergétique avec système de refroidissement par ventilation et celle d'une situation témoin* (kWh)	Consommation énergétique avec méthode adiabatique < celle de la situation témoin*
+/−	Pourcentage des besoins en froid couverts par le système de refroidissement par ventilation (%)	A maximiser
+/−	Taux de renouvellement d'air	A maximiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

OUTIL

● La Caisse d'Assurance Retraite et de la Santé au Travail (Carsat) Sud-Est et Languedoc-Roussillon proposent un simulateur de l'évolution de la concentration en dioxyde de carbone dans un local fermé. Pour cela, il est nécessaire de mesurer avec un capteur de CO2 la quantité de CO2 à l'intérieur et l'extérieur du bâtiment qui serviront de valeurs de référence. En facilitant l'évaluation de la concentration en dioxyde de carbone (CO2), le simulateur permet d'**apprécier la bonne aération d'un espace de travail clos** en fonction des caractéristiques du local, du volume d'air neuf induit par la ventilation mécanique et de l'occupation réelle. Le simulateur permet **d'identifier le taux de renouvellement d'air** et ainsi de modifier les caractéristiques ou équilibrages des installations de ventilation.

EN SAVOIR PLUS

Génie Climatique Magazine (2018), La ventilation naturelle double-flux fait ses preuves dans une école maternelle

Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Energies (ARENE) Île-de-France, Institut pour la Conception Écores-ponsable du Bâti (ICEB) (2014), Guide bio-tech : ventilation naturelle et mécanique

Guide bâtiment durable Brussels (2016), Free-cooling

OID (2022), L'architecture bioclimatique et les constructions traditionnelles

LIMITER LES VARIATIONS DU TAUX D'HUMIDITÉ DU SOL

ALÉA



SÉCHERESSES

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT



FONDATIONS



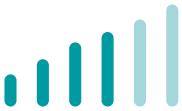
EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

L'argile est une matière rocheuse aux propriétés plastiques particulières qui change de consistance au contact de l'eau. En effet, les sols argileux ont tendance à changer de volume en fonction de leur teneur en eau : ils gonflent en présence d'eau et se rétractent en cas de sécheresse. Lorsqu'un bâtiment est construit sur un terrain argileux, il est recommandé de mettre en place des dispositifs de contrôle de la teneur en eau du sol afin de limiter les dégâts liés aux retraits et gonflements des argiles (RGA).

IMPACTS

La mise en place de dispositifs de régulation de la teneur en eau permet de **réduire les mouvements différentiés du sol** en homogénéisant et en limitant la pénétration ou l'évaporation de l'eau sous et autour du bâtiment. En effet, suivant leur taux d'humidité, les sols argileux gonflent et se rétractent de manière différenciée, ce qui entraîne des tassements hétérogènes du sol qui peuvent mener à leur tour à des désordres qui affectent l'ensemble du bâti :

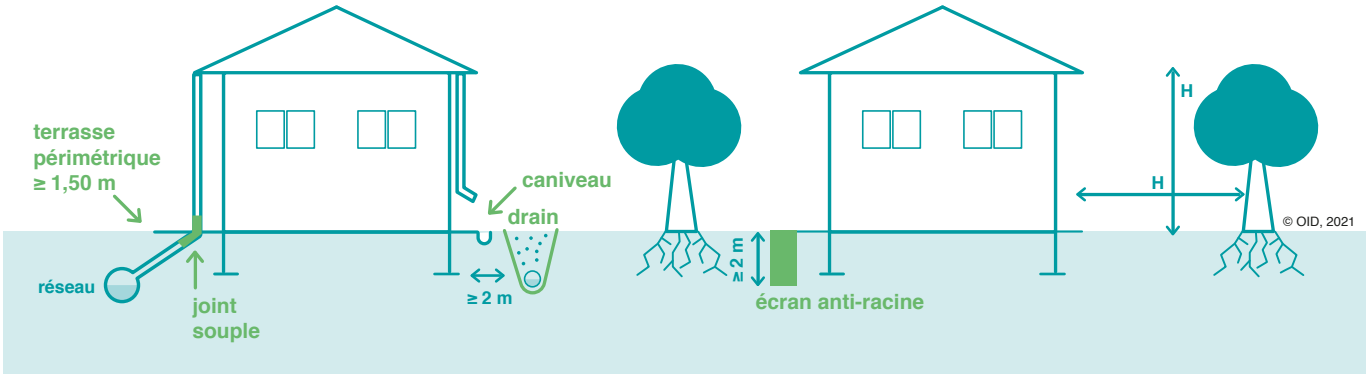
- **Gros-œuvre** : fissuration des structures, désencastrement des éléments de charpente, etc. ;
- **Second œuvre** : distorsion des ouvertures, rupture des canalisations et tuyauteries, etc. ;
- **Aménagements extérieurs** : fissuration et affaissement des terrasses et escaliers extérieurs, etc.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Diverses **stratégies et dispositifs préventifs** peuvent permettre d'anticiper les désordres sur le bâtiment et de réguler la teneur en eau d'un sol argileux :

- Réaliser un **trottoir étanche anti-évaporation** d'une largeur minimale de 1,50 m autour du bâtiment (terrasse ou géomembrane) ;
- Collecter et **évacuer les eaux de toiture** (caniveau) pour éviter le ruissellement ;
- Raccorder les réseaux d'eau pluviales et usées aux **réseaux collectifs** pour limiter l'infiltration aux abords immédiats du bâtiment ;
- **Etanchéifier les canalisations** enterrées pour éviter les fuites ;
- Mettre en place un **système de drainage** périphérique situé à au moins 2 m du bâtiment ;
- Prévoir une **isolation thermique** en cas de chaudière au sous-sol ;
- **Eloigner la végétation du bâtiment** afin de limiter l'absorption d'eau par les arbres (distance d'au moins une fois la hauteur de l'arbre) et élaguer les arbres restants régulièrement ;
- Mettre en place un **écran anti-racines** de minimum 2 mètres de profondeur si la végétation ne peut être éloignée.

EXEMPLES DE DISPOSITIFS VISANT À LIMITER LES VARIATIONS DU TAUX D'HUMIDITÉ DU SOL



Source : Ministère de la Transition Ecologique (2008)

FREINS ET LEVIERS

⊕ Les dispositifs de contrôle de la teneur en eau présentent plusieurs avantages : ils sont relativement **simples à mettre en place, peu coûteux** comparés à d'autres dispositifs de limitation des dégâts liés au retrait gonflement des argiles et ils permettent de prévenir les désordres au niveau des fondations et de la structure du bâtiment.

⊖ Il existe ici un **paradoxe** entre les recommandations visant à éloigner les arbres du bâti dans le cadre de la lutte contre les RGA et celles visant à végétaliser les espaces extérieurs afin d'apporter de la fraîcheur. Un arbitrage tenant compte du confort des occupants et des risques auxquels le bâtiment est exposé doit être effectué afin de déterminer s'il est judicieux de planter des arbres à proximité du bâtiment.

⊕ Il est particulièrement intéressant de mettre en place ces mesures dans le **cadre de logements individuels** dans la mesure où ceux-ci sont les plus vulnérables au risque de retrait gonflement des argiles, du fait de leur structure légère et de leurs fondations peu profondes.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Diminution de l'aération du sol

Lorsqu'un sol reste constamment humide, l'air a du mal à pénétrer dans le sol, ce qui compromet l'aération et l'apport en oxygène nécessaire à la survie des micro-organismes du sol, responsables de la décomposition de la matière organique et de la libération de nutriments essentiels pour les plantes. Des problèmes tels que le pourrissement des racines et le développement de maladies des plantes peuvent survenir, compromettant la santé globale du sol et la viabilité de la végétation.

Problèmes de compaction

Lorsque les sols restent constamment humides, ils sont plus enclins à la compaction, ce qui se traduit par une perte de leur structure poreuse naturelle et une diminution de leur perméabilité. Cette compaction accrue rend difficile la circulation de l'eau à travers le sol, ce qui peut entraîner des problèmes de drainage et d'inondations. De plus, la compaction du sol peut entraver la croissance des racines des plantes, car elles ont du mal à se développer dans un environnement dense et compact, limitant ainsi leur capacité à absorber l'eau et les nutriments essentiels. De plus, cela peut entraîner un affaissement inégal sous le poids du bâtiment, ce qui compromet la stabilité de la structure et peut provoquer des dommages structurels graves.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- COLLECTER ET ÉVACUER LES EAUX DE TOITURE
- ISOLER THERMIQUEMENT LE SOUS-SOL EN CAS DE CHAUDIÈRE
- PLACER UN SYSTÈME DE DRAINAGE PÉRIPHÉRIQUE SITUÉ À AU MOINS 2 MÈTRES DU BÂTIMENT
- PLACER UN ÉCRAN ANTI-RACINES DE MINIMUM 2 MÈTRES DE PROFONDEUR SI LA VÉGÉTATION NE PEUT ÊTRE ÉLOIGNÉE

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage des canalisations étanchéifiées sous le niveau R+1 (%)	A maximiser
+/− Pourcentage du périmètre du bâtiment avec une largeur du trottoir étanche anti-évaporation supérieure à 1,5 mètres (%)	A maximiser
+/− Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre
+/− Nombre d'arbres dont la distance au bâtiment est inférieure à la hauteur de l'arbre	A minimiser
+/− Pourcentage de fissures surveillées parmi celles qui sont supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieures à 10 cm de longueur (%)	A maximiser
★ Etat hydrique du sol de fondation défini à l'aide d'une étude hydrométrique du sol définissant la situation témoin*	-

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison de la tension de l'eau et celle de la situation témoin* (centibars)	Stabilisation au cours du temps
+/− Nombre de fissures supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieure à 10 cm de longueur	Absence d'augmentation du nombre de fissures
+/− Nombre de fissures dont l'ouverture et/ou la longueur a augmenté parmi celles supérieures à 1 mm d'ouverture et/ou supérieures à 10 cm de longueur	Absence d'élargissement des fissures
+/− Différence de nivellement entre plusieurs points de référence répartis sur les fondations de même profondeur d'un bâtiment, à comparer avec une situation témoin* (m)	La différence de nivellement entre les points de référence doit varier le moins possible (évitement d'un tassement différentiel des fondations)

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

RÉGLEMENTATION / CRITÈRE

- **Les fissures ayant plus d'1 mm d'ouverture** sont à surveiller plus rigoureusement. Pour la longueur, cela dépend de l'élément concerné mais il est conseillé de surveiller à partir de 10 cm (Baticopro, 2020).

OUTIL

- Une **jauge d'ouverture de fissures** est principalement destinée à mesurer l'ouverture linéaire d'une fissure spécifique, tandis qu'un fissuromètre est un instrument plus complet qui mesure divers paramètres de fissure (déformation, largeur, longueur, forme etc.), surveille la fissure dans plusieurs directions et enregistre les variations avec le temps.
- Les **sondes tensiométriques** permettent un suivi annuel des données tensiométriques (mesure en continu et en temps réel). Le Cerema expérimente le procédé MACH (MAison Confortée par Humidification) : lorsque la tension dans le sol atteint un niveau critique qui indique un sol trop sec (défini par rapport à l'étude hydrométrique), le sol de fondation est humidifié en injectant de l'eau de pluie récupérée et stockée. Cette eau est diffusée dans le sol gravitairement à travers plusieurs points d'injection répartis autour des façades fissurées. Cela permet la stabilisation des habitations dégradées par le phénomène du RGA.
- Le **nivellement différentiel** est réalisé à l'aide d'outils de nivellement tels que des niveaux à bulle, des lasers ou des instruments de nivellement précis.

EN SAVOIR PLUS

BRGM (2009), Rapport final du projet ARGIC (Analyse du Retrait-Gonflement des Argiles et de ses Incidences sur les Constructions)

CEREMA (2021), Effets des sécheresses sur les maisons individuelles et solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

Ifsttar et Ineris (2017), Retrait-gonflement des argiles – Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse

Ministère de la Transition Ecologique (2008), Le retrait-gonflement des argiles – Comment prévenir les désordres dans l'habitat individuel ?

N. Pousse, J. Ponge, M. Bartoli (2022), L'air du sol, c'est la vie de la forêt

CRÉER ET EXPLOITER DES POINTS D'EAU ARTIFICIELS

ALÉA



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



EXPLOITATION



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



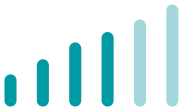
EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Face à l'augmentation de la température et à l'intensification et la multiplication des vagues de chaleur, l'aménagement des espaces extérieurs urbains publics ou privés doit de plus en plus répondre à des enjeux de confort thermique des usagers. Les points d'eau, par évaporation, brumisation ou simplement contact, permettent aux individus de se rafraîchir et participent à la création des microclimats en tempérant les fluctuations de température. L'eau, comme la végétation, est donc au cœur des stratégies de mise en place de zones de fraîcheur.

IMPACTS

Les points d'eau, parce qu'ils créent des **microclimats de fraîcheur**, permettent d'améliorer le confort thermique extérieur des usagers et ainsi d'augmenter **l'accessibilité et l'attractivité** des espaces aménagés.

La présence ou non de zones de fraîcheur, et notamment de points d'eau, conditionne en effet souvent **l'accès des populations vulnérables** (personnes âgées, familles avec enfants en bas âge, etc.), plus impactées par l'augmentation de la température, aux espaces extérieurs.

Alors que le phénomène d'îlot de chaleur urbain (température plus élevée dans les milieux urbains que dans les zones rurales environnantes) s'intensifie, les biens ou quartiers disposant de zones de fraîcheur, et notamment de points d'eau, vont devenir **plus convoités**.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Il existe une variété de systèmes de rafraîchissement par l'eau pouvant être étudier, tels que les fontaines, les brumisateurs, les miroirs d'eau, les bassins, les jets d'eau, les plans d'eau, et d'autres solutions similaires. Le choix d'un dispositif doit se faire suivant des **critères d'espace, de fréquentation, de performance, de consommation d'eau et de budget**. Il est impératif de prioriser l'emploi d'eau non potable pour ces installations, dans la mesure du possible. Une gestion alternative des eaux de pluie (utilisation de jardins de pluie, de bassins de gestion des eaux, etc.) devrait être mise en place afin de créer des points d'eau ou de permettre un rafraîchissement par évaporation de l'eau contenue dans le sol.

Lors de la mise en place de dispositifs de rafraîchissement par l'eau, **l'aspect très localisé du pouvoir rafraîchissant des points d'eau** doit être pris en compte : au-delà d'un périmètre de 50 mètres, l'effet fraîcheur de l'eau ne se fait plus sentir. On veillera donc à placer le point d'eau à proximité des zones à rafraîchir, en prenant en considération les flux d'air qui peuvent impacter l'efficacité du dispositif (une étude aéraulique peut être effectuée afin d'identifier les flux d'air). Pour assurer un rafraichissement urbain diversifié et mieux réparti spatialement, la création de points d'eau peut être couplée à des mesures de végétalisation, de choix de revêtements de voirie réfléchissants et de désimperméabilisation des sols.

Afin de tirer profit du pouvoir rafraîchissant des **points d'eau naturels ou anthropiques**, il est important d'en assurer l'accessibilité et l'attractivité en **aménageant les abords** : installation d'aires de pique-nique, d'aires gazonnées, de jeux pour enfants, etc. Dans une même logique d'exploitation des points d'eau, de nombreuses rivières, qui avaient été enterrées par le passé, souvent pour des raisons d'hygiénisme, font aujourd'hui l'objet de projets de réouverture.

FREINS ET LEVIERS

- ⊕ La création ou le réaménagement d'un point d'eau (par exemple les berges d'un fleuve), peut être **coûteux**, mais certains petits dispositifs (fontaines, brumisateurs, etc.) sont plus accessibles.
- ⊕ En privilégiant les solutions d'aménagement respectueuses de la nature basées sur **l'ingénierie écologique**, les coûts d'aménagement peuvent être réduits et le bilan en termes de biodiversité, peut s'avérer très positif.
- ⊖ L'**apparition ou la multiplication d'espèces nuisibles** (moustiques, amphibiens, etc.) est une conséquence potentielle de la création de points d'eau qu'il convient d'anticiper. Afin d'assurer à la fois un rafraîchissement agréable pour les habitants et la prévention de ces problèmes, cela implique de placer les points d'eau à une distance raisonnable des habitations les plus proches tout en évitant la stagnation de l'eau.
- ⊖ Afin de prévenir d'éventuels **dégâts liés au gel de l'eau** dans les canalisations, il est conseillé de mettre hors gel les dispositifs de rafraîchissement par l'eau vulnérables en **enterrant les canalisations** à une profondeur suffisante (selon la nature ou l'utilisation du sol) et en effectuant une **vidange avant l'arrivée des grands froids**.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Augmentation de la consommation en eau

Les températures élevées entraînent une évaporation plus rapide de l'eau des points d'eau. Cela peut entraîner une consommation d'eau plus élevée pour maintenir le même niveau de fonctionnement des points d'eau artificiels. Il est crucial que ceux-ci n'aggravent pas la pénurie d'eau pendant les périodes de forte demande en ressources hydriques. Dans de telles situations, il sera nécessaire de restreindre leur utilisation afin de préserver la disponibilité en eau pour d'autres besoins essentiels. Cependant, l'utilisation intermittente de ces dispositifs peut compromettre leur efficacité et leur capacité à offrir un rafraîchissement adéquat. Cela souligne la nécessité de ne pas devenir dépendant de l'eau pour le rafraîchissement des espaces urbains, surtout durant les périodes de chaleur extrême qui peuvent se superposer à des périodes de sécheresse et de pénuries d'eau. Il est impératif de combiner des solutions alternatives et complémentaires pour le rafraîchissement urbain.

Insuffisance du rafraîchissement

À mesure que la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur augmentent, la demande d'utilisation des points d'eau artificiels pour le rafraîchissement pourrait également augmenter. S'ils ne sont pas dimensionnés pour répondre à cette demande croissante, ils pourraient ne pas être en mesure de fournir un rafraîchissement suffisant. Par ailleurs, lorsque les températures s'élèvent et que l'humidité atmosphérique augmente, l'efficacité de l'évaporation en tant que processus de refroidissement diminue, impactant ainsi la capacité de ces systèmes à fournir un rafraîchissement efficace.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- PLACER LES POINTS D'EAU À PROXIMITÉ DES ZONES À RAFRAÎCHIR
- AMÉNAGER LES ABORDS DES POINTS D'EAU POUR LES RENDRE ATTRACTIFS

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Distance entre le bâtiment et le point d'eau le plus proche (m)	A minimiser
+/− Nombre de point d'eau disponibles par nombre de personnes	A maximiser
+/− Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre
+/− Consommation d'eau mensuelle (m^3)	A mettre en adéquation avec la disponibilité de la ressource en eau

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Nombre de personnes fréquentant le point d'eau par jour	Recherche d'un équilibre entre la fréquentation et la capacité d'accueil
+/− Comparaison de la température extérieure à proximité du point d'eau et celle d'une situation témoin* (°C)	Température extérieure à proximité du point d'eau < celle de la situation témoin*
+/− Pourcentage de satisfaction du confort thermique extérieur des usagers (%)	A maximiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

EN SAVOIR PLUS

AdaptaVille (2022), Un mobilier urbain brumisant et modulable

Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) (2023), Les vagues de chaleur dans un contexte de changement climatique

Plus fraîche ma ville (2023), Jeux d'eau : brumisateurs, miroirs d'eau

Ville de Paris (2018), Cartographie des ilots de fraîcheur à Paris



Dispositif double usage de brumisation et de boisson
Source : Eau de Paris

ILS L'ONT TESTÉ POUR VOUS

VILLE DE PARIS

LIEU : RUE CHARLES MOUREU, 13E ARRONDISSEMENT DE PARIS
SUPERFICIE : -
USAGE : PUBLIC
COÛT : 12 000 – 15 000 € POUR UN DISPOSITIF DOUBLE USAGE BRUMISATION ET BOISSON

Dans le cadre de sa stratégie de rafraîchissement du territoire parisien Paris Frais, et plus largement afin de répondre aux besoins en eau des habitants, la Ville de Paris a mis en place divers dispositifs de rafraîchissement par l'eau (brumisateurs, fontaines à boire, rampes à eau, etc.). Parmi les quelques 2000 points d'eau qui constituent le maillage de la ville, les brumisateurs sont des dispositifs particulièrement appréciés par les usagers. Ceux-ci ont un pouvoir rafraîchissant important, bien que ponctuel, et constituent une activité ludique vecteur de lien social. Ils ont engendré une augmentation de la consommation d'eau limitée, de moins de 200l par mois, grâce notamment à un actionnement par bouton pressoir activé uniquement en période estivale.La législation sanitaire nécessite un entretien et des contrôles de la qualité d'eau réguliers, entraînant des coûts d'exploitation (maintenance, contrôle qualité d'eau, mise hors gel, rinçage, consommation d'eau…) d'environ 13 000 € par an pour ce dispositif. Si un tel dispositif ne permet pas à lui seul de créer un îlot de fraîcheur, qui nécessiterait de combiner des dispositifs d'ombrage, un végétalisation ou encore des revêtements clairs, il permet de soulager les usagers lors de périodes de fortes chaleurs et peut facilement être mis en œuvre par des acteurs de l'immobilier à l'échelle du bâtiment.

DÉSIMPERMÉABILISER LES SOLS

ALÉA



CHALEURS



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible moyen **élevé**

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

En recouvrant les sols par des matériaux imperméables de type béton, asphalte ou dalles, le sol est partiellement ou totalement imperméabilisé. Le sol n'est plus en contact avec l'eau et l'air, et les cycles naturels tels que le cycle de la matière organique, du carbone ou de l'azote ne peuvent se perpétuer. L'imperméabilisation se distingue de l'artificialisation qui décrit l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques, climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage. La désimperméabilisation consiste à restaurer la perméabilité des sols à l'eau et à l'air mais pas à restituer toutes leurs fonctions écologiques. Lorsque cela est possible, il est recommandé d'aller au-delà de la désimperméabilisation.

IMPACTS

La présence d'une couche imperméable à la surface du sol empêche celui-ci de jouer son rôle dans l'infiltration de l'eau pluviale. A titre d'exemple, en centre-ville, entre 70 et 95 % de l'eau pluviale va ruisseler vers d'autres surfaces alors que sur un sol terreux, le ruissellement ne concerne que 2 % des quantités d'eau. En désimperméabilisant les sols, l'eau sera donc majoritairement infiltrée localement. Cela réduit ainsi l'afflux d'eau évitant la surcharge des réseaux collectifs et **limite les inondations** en cas de forte pluie. Par ailleurs, si un fort taux d'imperméabilisation accroît considérablement l'effet **d'îlot de chaleur en milieu urbain**, une désimperméabilisation totale ou partielle peut significativement réduire ce phénomène grâce à **l'humidité des sols**.

Après une opération de désimperméabilisation, renaturer les espaces permet de redonner aux sols leur fonction de **support de la biodiversité** et d'augmenter les **services écosystémiques** associés à la biodiversité. Pour ce qui est du choix des espaces à désimperméabiliser, prioriser ceux qui permettent de contribuer au réseau des trames brunes (continuités écologiques des sols) permet d'amplifier l'impact positif de ces opérations.

GUIDE DE MISE EN PLACE

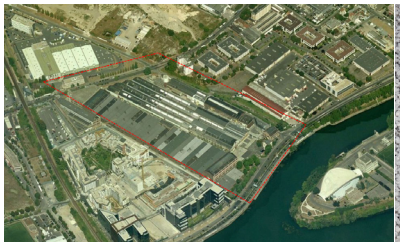
Afin de favoriser la perméabilité des sols, il est conseillé de remplacer les surfaces de bitume soit par de la pleine terre, soit par des revêtements perméables autour du bâtiment et sur la voirie.

Pour limiter les surfaces imperméables, il est nécessaire de limiter l'emprise au sol du bâti, en **favorisant la verticalité**. Il est également nécessaire d'identifier les zones les plus propices à la désimperméabilisation compte tenu du schéma hydraulique qui est défini à l'échelle du bâtiment ou du quartier. Un coefficient d'imperméabilisation inférieur à 40 % doit être visé pour un projet performant.

Désimperméabiliser les sols ne suffit pas à restaurer l'ensemble des fonctionnalités écologiques des sols. Pour cela il est nécessaire de mener une action de **renaturation** qui consiste à un « retour à l'état naturel ou semi-naturel des écosystèmes qui ont été dégradés, endommagés ou détruits par les activités humaines » (Aronson, 2004). Contrairement à la simple désimperméabilisation, renaturer les sols permet notamment d'éviter l'infiltration de polluants dans les couches inférieures des sols. La réalisation d'une étude de sol est nécessaire lorsque le projet est envisagé.

NIVEAUX D'IMPERMÉABILISATION

Vue aérienne du site initial de la ZAC PSA, imperméabilisé à 99 %



Sol scellé (imperméabilisé > 90 %)

Exemples : bâtiment, voirie, parkings, etc.

Utilisation : voirie (revêtements clairs)

Béton poreux et pavés engazonnés



Sol semi-scellé (imperméabilisé entre 50 % et 90 %)

Exemples : béton poreux, dalles et pavés engazonnés, et autres matériaux modulaires.

Utilisation : zones piétonnes, parking, terrasses, etc.

Forêt urbaine et Parc de la DS créé sur le site de la ZAC PSA



Sol non scellé (imperméabilisé < 50 %)

Exemples : noues paysagères, jardins de pluie, forêts et prairies urbaines.

Utilisation : parc, espace végétalisé, jardin de pluie, etc.

Selon la perméabilité du sol qui varie selon sa composition, l'infiltration directe des eaux pluviales peut se révéler impossible. Il est alors nécessaire de coupler une opération de désimperméabilisation et renaturation, à un système de rétention et d'évacuation par trop-plein, ou encore à un système de rétention et d'évacuation à débit régulé.

FREINS ET LEVIERS

- ⊖ Selon l'opération, il peut être nécessaire de revoir l'accessibilité des espaces.
- ⊖ La désimperméabilisation nécessite une étude plus fine de l'environnement alentour afin d'éviter la pollution des sols.
- ⊖ Il peut être nécessaire de mettre en place un système permettant de gérer les eaux pluviales en surplus par rapport à la capacité d'infiltration des sols.
- ⊕ La législation, notamment la loi Energie Climat (2019), incite certains bâtiments tertiaires à utiliser des revêtements poreux sur les espaces de stationnement adjacents aux bâtiments (art. 47).
- ⊕ Mener une opération de désimperméabilisation, du fait de la réduction des rejets d'eau, peut parfois donner droit à un soutien financier de la part des Agences de l'eau (jusqu'à 50 %).

L'entretien des espaces de pleine terre est similaire à celui des parcs et autres espaces végétalisés. Pour les revêtements poreux type béton poreux, il est annuel pour éviter un phénomène de colmatage. La désimperméabilisation permet de soulager les réseaux collectifs de traitement des eaux pluviales mais **ne dispense pas d'un raccordement et d'un potentiel dispositif de retenue.**

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Vulnérabilité des équipements à proximité

Si aucune étude de faisabilité et de dimensionnement de l'opération (selon les caractéristiques pédologiques, hydrologiques et topographiques du site) n'est entreprise, la proximité à des équipements sensibles peut engendrer un report de vulnérabilité vers ceux-ci. Le changement climatique risque d'amplifier les évènements extrêmes et donc les reports de vulnérabilités sur d'autres systèmes

Fragilité du revêtement

Il est déconseillé de mettre des revêtements type béton poreux sur des sols soumis à des risques de gel pour éviter l'apparition de fissures dans le matériau. Ces revêtements ne sont pas conseillés sur les sols dont la pente est supérieure à 2,5 %, ou qui sont soumis au risque de **retrait-gonflement des argiles**, pour lesquels il est important de contrôler le taux d'humidité du sol.

Pollution des sols

Sur les surfaces où le risque de pollution de l'eau précipitée est important (voirie, place de parking, etc.), désimperméabiliser les sols sans prévoir de système de traitement des eaux peut engendrer une pollution des sols, des eaux de surface et souterraines. Accompagner la désimperméabilisation des sols par des zones de rétention où la phytoépuration est possible (noues, tranchées et bassins plantés) permet alors de réduire ce risque voire de l'endiguer. Une étude de faisabilité complète est alors nécessaire.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- MENER UNE ÉTUDE DE FAISABILITÉ ET DE DIMENSIONNEMENT DE L'OPÉRATION (TOPOGRAPHIE, PÉDOLOGIE, GÉOLOGIE, HYDROLOGIQUE DU SITE, HYDRAULIQUE DE L'INSTALLATION)
- PRÉVOIR UN DÉBIT DE FUITE À L'EXUTOIRE DE LA PARCELLE DE MAXIMUM 1 L/S.HA ET DE 0 L/S.HA DANS LE CAS D'UN SOL INFILTRABLE
- DIMENSIONNER LES DISPOSITIFS DE GESTION DE L'EAU POUR ABSORBER DEUX ÉPISODES PLUVIEUX EN 24 HEURES

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/- : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS		INTERPRÉTATION
+/-	Conductivité hydraulique du sol (mm/h)	Comprise entre 18 et 18 000 mm/h pour infiltrer sans système de rétention et d'évacuation.
+/-	Capacité d'infiltration du sol (mm/h)	-
+/-	Coefficient de ruissellement (sans unité)	A minimiser
+/-	Volume d'eau à gérer (m^3)	-
+/-	Coefficient de pleine terre de la parcelle	A maximiser
+/-	Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS		INTERPRÉTATION
+/-	Surface imperméabilisée équivalente (m^3) (voir repères de suivi)	Recherche d'un équilibre entre la fréquentation et la capacité d'accueil
+/-	Comparaison du débit de fuite à l'exutoire de la parcelle après opération de désimperméabilisation par rapport à une situation témoin* (voir repères de suivi)	Débit de fuite à l'exutoire < Débit de fuite de la situation témoin*
+/-	Comparaison de la température moyenne saisonnière sur la parcelle après opération de désimpérméabilisation par rapport à une situation témoin* (°C)	Température moyenne saisonnière < Température moyenne saisonnière témoin*
+/-	Comparaison du coefficient d'imperméabilisation de la parcelle avant et après opération de désimpérméabilisation	Coefficient d'imperméabilisation après opération < Coefficient d'imperméabilisation avant opération

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

DÉFINITIONS

- **Conductivité hydraulique du sol :** valeur limite de la vitesse d'écoulement de l'eau dans un sol saturé et homogène.
- **Capacité d'infiltration du sol :** vitesse d'infiltration de l'eau à la surface c'est à dire le débit d'infiltration d'un sol par unité de surface. Ce paramètre décroit avec l'augmentation de la teneur en eau du sol jusqu'à tendre vers la valeur de la conductivité hydraulique du sol considérée.
- **Coefficient de ruissellement :** (Volume d'eau ruisselé / Volume d'eau versé) des différents types de surfaces de la parcelle
- **Surface imperméabilisée équivalente :** somme des différentes surfaces aménagées, pondérées par leur coefficient de ruissellement (rapport entre hauteur d'eau ruisselée et hauteur d'eau précipitée)
- **Volume d'eau à gérer :** volume de la pluie qui ruisselle sur les surfaces imperméables et qui devra être interceptée pour être infiltrée, évapo-transpirée ou évacuée à débit régulé vers un exutoire.

EN SAVOIR PLUS

CEREMA, DREAL et Agence de l'eau (2017), Vers la ville perméable – Comment désimperméabiliser les sols ?
Guide bâtiment durable (2013), Identifier les contraintes physiques de la parcelle
Grand Lyon, Revêtements de surface poreux
Institut Paris région (2020), Désartificialiser et renaturer les villes : un potentiel immense
ARB Ile de France (202), Renaturer les villes
OFB (2022), Renaturer les sols
LPO (2022), Sols vivants

ILS L'ONT TESTÉ POUR VOUS

NEXITY

BÂTIMENT : ZAC PSA, ASNIÈRES
SUPERFICIE : 7 HECTARES DONT 120 000M² CONSTRUCTIBLE
USAGE : TERTIAIRE, RÉSIDENTIEL
COÛT : 10 MILLIONS € POUR LA DÉPOLLUTION

En 2010, le site de la ZAC PSA à Asnières fait l'objet d'une étude de requalification par la filiale Ville et projets de Nexity. 7 hectares de terrain, imperméabilisés à 99 %, devaient permettre de nouveaux bureaux et logements pour une surface constructible de 120 000m². Du fait du passif industriel de la zone (ancienne ICPE), la renaturation des sols a nécessité un travail de dépollution important, en favorisant un traitement directement sur site. Après une première étape de dégradation de la pollution par gazage (venting) à l'intérieur des bâtiments existants pour éliminer les contaminants volatils, les pollutions restantes (notamment hydrocarburées) ont été traitées par des méthodes biologiques sur site ou par excavation. Ce travail a permis de restituer 4 des 7 hectares du terrain en pleine terre, permettant au sol de retrouver ses fonctions de régulation, d'espace public et de support de végétalisation. L'intégralité des eaux pluviales collectées sur les bâtiments sont infiltrées sur site, ce qui a permis au projet de bénéficier d'une subvention de 530 000€ du Conseil général.. Si la complexité et la durée du processus (2-3 ans) rendent le projet plus abordable à l'échelle du quartier qu'à l'échelle du bâtiment, des méthodes plus adaptées et accessibles aux projets immobiliers se développent également.

VÉGÉTALISER LES ABORDS DU BÂTIMENT

ALÉA



CHALEURS



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



EXPLOITATION



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



faible

Encore souvent développées pour des raisons esthétiques, les stratégies de végétalisation des abords du bâtiment ont toute leur place dans le déploiement d'une stratégie d'adaptation au changement climatique. Les arbres, haies ou arbustes ainsi plantés vont permettre aux bâtiments à proximité de bénéficier des services écosystémiques rendus par la végétation, notamment en matière de régulation de la température ou de la qualité de l'air, et la perpétuation des cycles naturels de l'eau en maintenant les capacités d'absorption des sols.

IMPACTS

La végétation agit sur le milieu urbain en modifiant ses propriétés radiatives, thermiques, hydriques et aérodynamiques.

C'est une mesure efficace pour limiter l'îlot de chaleur urbain (température plus élevée dans les milieux urbains que dans les zones rurales) et l'inconfort thermique des habitants en été. En effet, les arbres **procurent de l'ombre** aux bâtiments et infrastructures alentours (1), permettent de limiter le réchauffement de l'air en **réfléchissant les rayonnements solaires** (2) et rafraîchissent les espaces extérieurs en rejetant l'humidité du sol dans l'air par **l'évapotranspiration** (3).

Par ailleurs, la végétation permet de lutter contre les inondations en favorisant **l'infiltration de l'eau** (4) dans le sol grâce aux réseaux racinaires tissés et en absorbant une partie des surplus d'eau en cas de fortes pluies.

Enfin, végétaliser les abords du bâtiment limite la puissance du vent en agissant comme des **brise-vents** et le protège en cas de tempêtes (5).

GUIDE DE MISE EN PLACE

- Tenir compte des bénéfices attendus : si l'objectif principal est la régulation thermique, mieux vaut préférer les arbres à feuilles caduques (qui perdent toutes leurs feuilles pendant une partie de l'année), qui permettront de faire entrer un maximum de luminosité en hiver, tout en limitant le rayonnement solaire en été.

- Bien choisir le lieu d'implantation : une implantation d'arbres à l'ouest / sud-ouest permettra de maximiser les apports solaires du bâtiment en hiver et de les minimiser en été, tandis qu'une implantation devant la façade exposée aux vents dominants protègera le bâtiment en cas de tempête (mieux vaut favoriser les haies et arbustes pour limiter le risque d'arrachement).

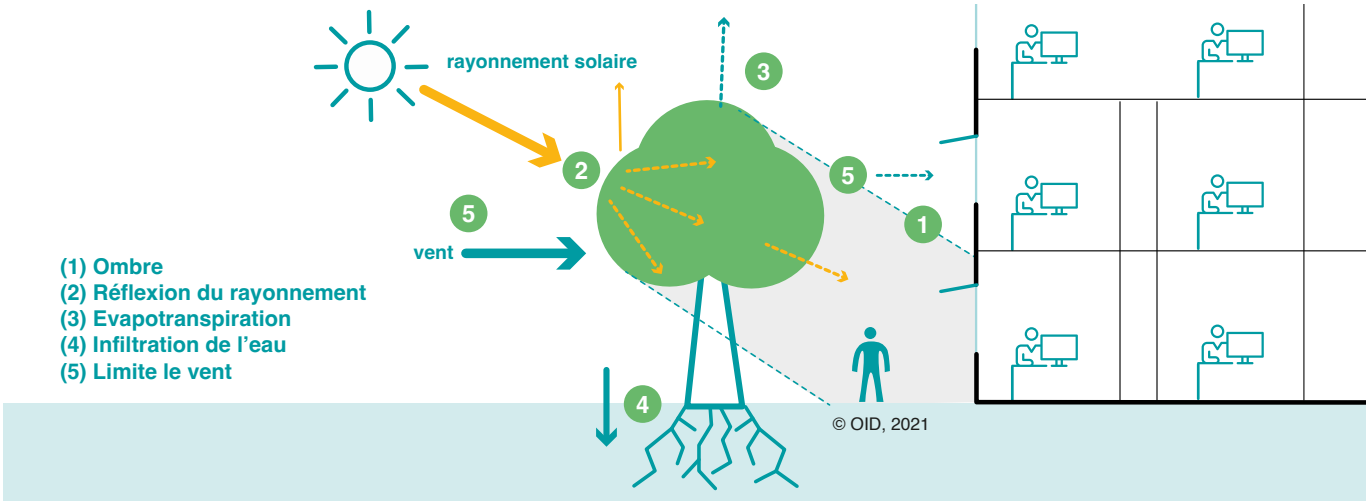
- Adapter l'essence aux caractéristiques locales actuelles et futures : le milieu urbain peut être rude, et un point d'attention doit donc être mis sur le choix de la palette végétale afin de garantir le succès de l'opération, en particulier dans le contexte du changement climatique. La plantation en pleine terre dans une stratégie de désimperméabilisation décuplera les effets positifs et une plus grande capacité de résistance.

- Prévoir une attention post-plantation : la plantation d'arbres nécessite une attention particulière en termes d'arrosage, de surveillance, etc. pour au moins cinq ans. C'est le temps à prendre en compte dans la constitution du budget post opération.

- Mode de gestion : la gestion écologique consiste à mettre en œuvre des pratiques d'entretien respectueuses de l'environnement et de la biodiversité. Elle est moins couteuse et permet de se rapprocher de la qualité environnementale des espaces naturels. Les bénéfices apportés par la végétalisation sont alors amplifiés.

- Activités pratiquées aux abords : l'implantation d'un arbre sur un lieu de passage va nécessiter une surveillance particulière. L'élagage va permettre d'éviter les risques de chute de branches, et un déblayage permettra de limiter les risques de chute par glissade en période automnale.

SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES RENDUS PAR LA VÉGÉTATION À PROXIMITÉ D'UN BÂTIMENT



FREINS ET LEVIERS

- Certaines essences peuvent présenter un **pouvoir allergisant** et nuire à la santé des individus.
- Dans certaines rues bordées de hauts immeubles, une densité d'arbres trop élevée peut empêcher les vents de circuler ce qui limite **le refroidissement des rues la nuit et concentre les particules de pollution** au niveau du sol.
- En zones d'exposition aux risques de retraits-gonflements des argiles, la présence d'arbres trop proches du bâtiment risque de nuire à la stabilité hydrique du sol, ce qui pourrait entraîner des fissures sur le bâti. Dans ce cas-là, les essences peu gourmandes en eau sont plus adaptées.
- Enfin, afin de limiter les risques de collisions avec la faune présente sur le site, il est préférable d'éviter de planter des arbres devant les surfaces vitrées réfléchissantes, et de favoriser l'installation de dispositifs de protection solaires.
- La présence de végétation dans l'environnement quotidien apporte un **sentiment de bien-être aux individus** et améliore la **santé** mentale, physique et sociale des usagers.
- Mener une étude de terrain et de la composition spatiale permet d'éviter les risques de retrait gonflement des argiles, la séquestration des polluants et de l'air chaud.
- C'est une méthode peu coûteuse et sobre pour refroidir l'espace à proximité.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Palette végétale inadaptée

Une bonne connaissance du contexte environnemental local est indispensable afin d'appréhender l'existant et faire les bons choix de conception. Contrairement aux espèces indigènes, les espèces exogènes n'étant pas naturellement présentes dans la région, elles ne sont pas forcément adaptées aux facteurs biotiques (interactions du vivant sur le vivant) et abiotiques (conditions environnementales physico-chimiques). Une végétation en stress hydrique par exemple aura tendance à limiter le rafraichissement de l'atmosphère en piégeant le rayonnement solaire infrarouge. Elles peuvent aussi perturber la biodiversité locale en exerçant des processus de compétition. On parle alors d'espèces exotiques envahissantes pour les espèces dont « l'introduction et/ou la propagation menace la diversité biologique ».

Milieu non résilient face au changement climatique

Face au changement climatique, il est nécessaire d'anticiper l'évolution des conditions environnementales locales pour le choix des essences végétales et ainsi maximiser la résilience de l'espace. Certains scientifiques s'interrogent donc sur la pertinence de planter des essences exogènes qui soient adaptées aux projections climatiques plutôt que des espèces indigènes. Il est en effet nécessaire d'arbitrer le choix de la palette végétale selon la vulnérabilité au stress hydrique afin d'augmenter la résilience de la parcelle face aux évolutions climatiques.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- UTILISER L'OUTIL SÉSAME DU CEREMA POUR CHOISIR LES ARBRES EN FONCTION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES RECHERCHÉS
- AVOIR LE PLUS POSSIBLE RECOURS À DES ESPÈCES LOCALES
- ADAPTER LA PALETTE VÉGÉTALE AUX CLIMATS ACTUEL ET FUTURS
- RENDRE ACCESSIBLE UNE PARTIE DE L'ESPACE VÉGÉTALISÉ AUX USAGERS DU BÂTIMENT
- INSTALLER DES REFUGES POUR LA FAUNE (TAS DE BOIS, TAS DE ROCHES, NICHOIRS À OISEAUX, ETC)
- FAIRE APPEL À UN ÉCOLOGUE

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Nombre de strates végétales	A maximiser
+/− Surface de pleine terre par rapport à la surface de la parcelle (%)	A maximiser
+/− Calcul du coefficient de biotope de la parcelle	A maximiser
+/− Impact sur l'îlot de chaleur urbain selon les essences végétales choisies via l'outil Arboclimat	A maximiser
+/− Part des usagers qui considèrent le projet de végétalisation positif par rapport à la situation avant-projet	A maximiser
+/− Diversité des espèces végétales (nombre exact ou estimation selon la diversité)	A maximiser
+/− Surface du feuillage par rapport à la surface de la parcelle	A maximiser
+/− Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison entre la température dans les espaces végétalisés par rapport à une situation témoin* (par exemple : espace public artificialisé à proximité) (C°)	Température dans les espaces végétalisés < Température témoin
+/− Abattement pluvial de la parcelle (%) (voir repères de suivi)	A maximiser
+/− Débit de fuite sur la voie publique (l/s.ha) (voir repères de suivi)	A maximiser
+/− Part des usagers qui considèrent que la végétalisation des abords du bâtiment augmente leur bien-être	A maximiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

OUTIL

- **L'outil** Sésame développé par le Cerema permet d'identifier les arbres selon les services écosystémiques souhaités et selon les caractéristiques du site. Attention, l'utilisation de l'outil ne remplace pas l'intervention d'un écologue !
- ArboClimat **:** disponible sur la plateforme de l'Ademe, l'outil permet de réaliser des simulations prospectives de plantation d'arbres en ville et d'en évaluer les impacts sur divers indicateurs comme : la capacité à stocker le carbone, l'impact sur les îlots de chaleur urbains, l'intérêt pour la biodiversité, etc.

EN SAVOIR PLUS

Herrera Environmental Consultants (2008), The effects of trees on stormwater runoff

Nature4Cities (2020), Alignements d'arbres de rue

ARB (2016), Guide de gestion écologique des espaces collectifs publics et privés

Cerema (2022), L'arbre, l'essence de la ville - L'outil Sésame pour faire les bons choix

Trees & Design Action Group (2016), Arbres en milieu urbain, Guide de mise en œuvre

AMÉNAGER UNE COUR OASIS

ALÉA



CHALEURS



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES



SÉCHERESSES

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

Initié par la Ville de Paris, le concept de cour oasis consiste à désimperméabiliser et végétaliser les cours de récréations des écoles. L'objectif est d'apporter un véritable îlot de fraicheur dans l'espace urbain et de gérer les eaux pluviales à la parcelle. Ces pratiques peuvent être étendues à tous type de cours d'immeuble. La cour oasis peut également être agrémentée de points d'eau tel qu'un jardin de pluie ou des noues végétalisées.

IMPACTS

Les cours oasis permettent d'améliorer le confort d'été dans les bâtiments et sur le territoire grâce à la création d'espaces frais et ombragés. Désimperméabiliser les sols permet à la **végétation** de se développer et à l'**eau pluviale de s'infiltrer** dans les sols. La sensation de rafraîchissement est liée **au phénomène d'évapotranspiration**, assuré par la végétation qui restitue l'humidité du sol dans l'atmosphère, et aux **zones d'ombres** que créent les arbres et arbustes. Il est préférable de composer avec des essences végétales locales et diversifiées, et de varier les strates végétales.

Par ailleurs, contrairement aux sols végétalisés, les revêtements minéraux peuvent avoir une température de surface plus élevée et stocker de la chaleur pendant la journée et la restituer durant la nuit, limitant ainsi le rafraîchissement de l'atmosphère. En empêchant les températures nocturnes de redescendre, les revêtements minéraux participent à l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU).

Outre l'effet sur la chaleur, **désimperméabiliser les sols permet de réduire voire éviter les inondations par ruissellement** puisque les eaux pluviales sont absorbées dans les sols et ne s'accumulent pas sur les sols imperméables.

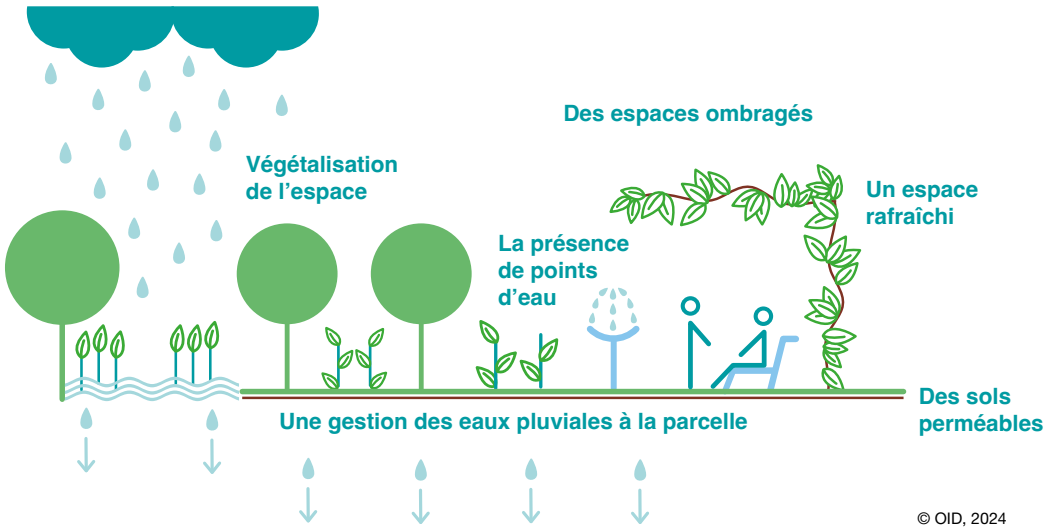
Outre l'amélioration du bien-être et de la santé des usagers induit par le rafraîchissement de la parcelle, la végétation présente dans les cours oasis améliore la qualité de l'air en captant certains polluants. La capacité de filtration dépend des espèces et de la surface foliaire (surface du feuillage).

GUIDE DE MISE EN PLACE

L'aménagement d'une cour oasis requiert tout d'abord une désimperméabilisation des sols. Cela peut s'effectuer à l'aide de l'aménagement d'espaces de pleine terre, mais également de l'installation de revêtements drainants (terre battue, sable, écorces et copeaux de bois, pavés engazonnés, pavés drainants, béton poreux…). La végétalisation de l'espace est également essentielle, en conservant de préférence les végétaux existants, et/ou en plantant de nouveaux individus. Diversifier les strates végétales (herbacée, arbustive et arborée) permet à la fois de rafraichir l'espace, d'augmenter la résilience des individus plantés ainsi que le potentiel d'accueil de biodiversité de la parcelle. Outre la végétalisation de la cour, les toitures et les façades peuvent être végétalisées afin de renforcer l'effet d'îlot de fraicheur. Il est également possible d'ajouter des points d'eau tels que des jardins de pluie ou des bassins.

Pour les surfaces minérales restantes au sol ou sur le bâtiment, il est possible d'utiliser des matériaux à forte inertie, ralentissant les variations de températures, et à fort albedo pour leur pouvoir réfléchissant. Ainsi, une toiture non végétalisable peut être recouverte d'enduit réfléchissant (cool roof), l'enveloppe du bâtiment peut être rénovée avec des matériaux à forte inertie ou blanc, et les zones de jeux et équipements en bois (toboggans, bancs, ...) sont à privilégier.

CARACTÉRISTIQUES D'UNE COUR OASIS



© OID, 2024

FREINS ET LEVIERS

- ⊖ Les cours oasis demandent un entretien régulier.
- ⊖ Cet aménagement nécessite une adaptation des pratiques de la part des usagers en raison des revêtements perméables et parfois salissants.
- ⊖ Le coût de ce type d'aménagement est élevé mais il tend à baisser avec la généralisation de ce type de pratiques.
- ⊕ Les cours végétalisées sont adaptées pour tout type d'activité de bâtiments.
- ⊕ Elles peuvent devenir de véritables espaces refuges pour les riverains lors d'épisodes caniculaires.
- ⊕ Ces espaces favorisent le bien-être en ville et le lien social en créant des espaces conviviaux.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Une végétation inadaptée

Le choix de la palette végétale est un paramètre majeur pour éviter la maladaptation. Le potentiel d'évapotranspiration traduisant la capacité de rafraichissement varie d'une espèce végétale à l'autre (outil de choix de la palette végétale selon le potentiel de rafraichissement Arboclimat). Les outils de coefficient de biotope par surface très répandus dans l'évaluation de la biodiversité, ne prennent pas en compte l'évapotranspiration potentielle d'une espèce. Ce n'est donc pas un indicateur suffisant pour évaluer l'efficacité d'une cour oasis. L'analyse approfondie de la palette végétale est nécessaire.

Notons que l'évapotranspiration est aussi liée à l'irrigation des végétaux. Des arbres en situation de stress hydrique auront même tendance à limiter le rafraichissement de la ville en piégeant le rayonnement solaire infrarouge (Gill, Handley, Ennos, & Pauleit, 2007) ce qui augmentera l'exposition aux fortes chaleurs. Il est alors nécessaire d'arbitrer le choix de la palette végétale selon le potentiel d'évapotranspiration de l'espèce et la vulnérabilité au stress hydrique (argument de résilience face aux projections climatiques).

Vulnérabilité de la ressource en eau

Lorsque la végétation est en stress hydrique, les usagers peuvent avoir tendance à mettre en place une irrigation qui n'est pas toujours raisonnée. Selon la situation de sécheresse, il est important d'y renoncer afin de ne pas reporter la vulnérabilité hydrique sur d'autres usages domestiques ou agricoles par exemple.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- AVOIR LE PLUS POSSIBLE RECOURS À DES ESPÈCES LOCALES
- ADAPTER LA PALETTE VÉGÉTALE AUX CLIMATS ACTUEL ET FUTURS
- UTILISER L'OUTIL SÉSAME DU CEREMA POUR CHOISIR LES ARBRES EN FONCTION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES RECHERCHÉS
- RENDRE ACCESSIBLE UNE PARTIE DE L'ESPACE VÉGÉTALISÉ AUX USAGERS DU BÂTIMENT
- INSTALLER DES REFUGES POUR LA FAUNE (TAS DE BOIS, TAS DE ROCHES, NICHOIRS À OISEAUX, ETC)
- POUR LES ESPACES HUMIDES ET/OU EN EAU, PRIVILÉGIER LES MILIEUX PERMÉABLES ET NATURELS OU SEMI-NATURELS (MARE) PLUTÔT QUE DES STRUCTURES TOTALEMENT ARTIFICIELLES (FONTAINE D'ORNEMENT)

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/- : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS		INTERPRÉTATION
+/-	Surface foliaire (surface de feuillage) par rapport la surface de la cour (%)	A maximiser tout en tenant compte de l'espace minimal nécessaire au développement des arbres
+/-	Surface en eau (marre, fontaine, etc.) par rapport la surface de la cour (%)	A maximiser
+/-	Calcul du Coefficient de biotope par surface de la parcelle	A maximiser
+/-	Part de la surface ombragée potentielle par rapport à la surface de la cour oasis (surface de la canopée et des espaces protégés des rayons directs du soleil) (%)	A maximiser
+/-	Nombre de strates végétales	A maximiser
+/-	Surface au sol perméable par rapport à la surface totale de la parcelle (%)	A maximiser
+/-	Surface ayant un albédo inférieur ou égal à 0,4 par rapport à la surface totale de la parcelle (voir repères de suivi) (%)	A maximiser
+/-	Coefficient de pleine terre sur la parcelle	A maximiser
+/-	Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS		INTERPRÉTATION
+/-	Comparaison de la température dans la cour oasis par rapport à une situation témoin* (par exemple l'espace public à proximité à période estivale ou équivalente) (°C)	Température dans la cour oasis < Température dans la situation témoin
+/-	Impact sur l'îlot de chaleur urbain selon les essences végétales choisies calculé via Arboclimat (voir repères de suivi)	Note de rafraîchissement la meilleure possible
+/-	Flux de chaleur liées à l'activité du bâtiment rejeté en extérieur (climatisation, cuisines, serveurs, etc.) (W/m^2)	A minimiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

EN SAVOIR PLUS

Martin Hendel (2020), Formation OASIS - Comment rafraîchir sa cour ? Rôle des matériaux urbains

Ville de Paris (2023), Les cours oasis

Wallonie environnement SPW (2020), Gestion durable des eaux pluviales a la parcelle en zone urbanisable en région wallonne – Fiche n°15 : Les revêtements de sol perméables

LRA Toulouse (2015), Ilots de Fraicheur Urbains

Ademe (2020), Végétaliser : Agir pour le rafraîchissement urbain

CONCEVOIR UNE PARCELLE ÉPONGE

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES



SÉCHERESSES



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible moyen **élevé**

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

Inspirée du concept de ville éponge, une parcelle éponge est un espace désimperméabilisé dont l'objectif est d'absorber le plus d'eau possible afin de réduire voire d'éviter le ruissèlement des eaux et ainsi les dégâts potentiels liés à une inondation. Une parcelle éponge est également une zone dont les sols sont vivants, c'est-à-dire des sols où la biodiversité souterraine est préservée, ce qui améliore la qualité des sols. La plantation de végétaux limite l'érosion des sols en limitant les déplacements des sols.

IMPACTS

Concevoir une parcelle-éponge présente plusieurs avantages :

- **Lutte contre les inondations** en assurant l'infiltration des eaux de pluie dans le sol, alors que sur une surface imperméabilisée, elles ont tendance à stagner puis monter.
- **Lutte contre l'inconfort thermique** par la présence de végétation et de sols sains qui permettent de conserver l'humidité et de rafraîchir l'environnement par évapotranspiration.
- **Lutte contre les sécheresses** en permettant l'infiltration des eaux pluviales dans le sol, ce qui recharge les nappes phréatiques et limite localement l'intensité des périodes de sécheresses.
- **Participe au bien-être** par la végétalisation d'espaces qui améliorent le confort d'été, réduisent le stress et l'anxiété, améliorent la qualité de l'air et luttent contre la pollution. L'ensemble de ces bienfaits contribuent à la santé physique, mentale et sociale des usagers.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Bien qu'il soit plus aisé de réaliser une parcelle-éponge lorsqu'elle a été pensée en amont du projet, il est possible de mettre en œuvre ce type de solutions lors d'une opération de rénovation sur des parcelles déjà construites. Outre la désimperméabilisation des sols, renaturer les parcelles en restaurant les fonctionnalités écologiques des milieux et créant des habitats favorables pour le vivant, régule le cycle de l'eau et agit comme un tampon lors d'évènement pluviaux intenses. Il est aussi possible de créer ou restaurer des milieux humides tel que des zones humides, des cours d'eau, des noues végétalisées, des lacs urbains ou encore des bassins.

Allier désimpérmabilisation et **accessibilité** est possible. La première solution pour des espaces humides est d'avoir recours à des revêtements perméables à l'eau tels que le sable compacté, des pavés perméables, du gravier, etc. Certaines parcelles éponges impliquent l'inondation partielle d'espaces désimperméabilisés. Dans ce cas, les matériaux perméables n'assurent pas l'accessibilité aux différents équipements de la parcelle. Il est alors possible d'aménager des passerelles.


Parc de la Gloriette, Tours

FREINS ET LEVIERS

- En espace foncier contraint, la **rentabilité économique** sur le court terme n'est pas toujours perceptible par rapport à la construction d'un bâtiment.
- La création d'espaces partiellement inondables peut modifier les habitudes des usagers. L'**accessibilité** et le risque de salissures sont des enjeux à prendre en compte lors de la conception de la parcelle.
- Afin de répondre aux enjeux d'accessibilité de la parcelle, il est possible de concevoir des passerelles afin d'assurer l'accessibilité aux différents équipements
- Intégrer les différentes **parties prenantes** au plus tôt dans le projet permet d'éviter un blocage du projet
- Mener une campagne de communication via des panneaux pédagogiques sur les bienfaits des parcelles éponges

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Pollution des sols à cause d'eaux ruisselées

Si des eaux ruisselées polluées sont captées par la parcelle désimperméabilisée, il existe des risques de pollution des sols, des nappes phréatiques et des cours d'eau. Etudier la topographie du territoire peut permettre d'identifier la provenance des eaux susceptibles d'être infiltrées et ainsi agir en conséquence. Des noues d'infiltration précédées d'un filtre planté (phytoépuration) en amont peuvent permettre de recueillir les eaux ruisselées, de les traiter, puis de les infiltrer dans le sol sans risque de propagation de la pollution.

Mauvais dimensionnements face à des précipitations intenses

En cas de fortes pluies, lorsque les sols de la parcelle éponge sont saturés, ils ne sont plus en mesure d'absorber l'eau. Les eaux captées par la parcelle peuvent ruisseler jusqu'à des surfaces imperméables. Les eaux seront alors acheminées aux réseaux collectifs dont la capacité doit être suffisante afin de traiter ces eaux et d'éviter l'inondation.

Mauvaise prise en compte des risques de sécheresses suivies de précipitations intenses

Avec le changement climatique, les intensités des sécheresses et précipitations extrêmes vont augmenter ce qui risque d'amplifier les phénomènes suivants : en période de sécheresse, les sols sont secs et l'eau précipitée sur ces sols ruissèle sans s'infiltrer. Dans cette situation, les bénéfices des parcelles éponges sont limités. Les réseaux collectifs doivent être dimensionnés en conséquence.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- S'INTÉGRER AU MAXIMUM DANS LES TRAMES EXISTANTES
- AVOIR LE PLUS POSSIBLE RECOURS À DES ESPÈCES LOCALES
- ADAPTER LA PALETTE VÉGÉTALE AUX CLIMATS ACTUEL ET FUTURS

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/- : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/- Coefficient de biotope par surface de la parcelle	A maximiser
+/- Part des usagers qui considèrent le projet de végétalisation positif par rapport à la situation avant projet	A maximiser
★ Structure du sol et capacité d'infiltration de l'eau et la végétation	Grumeleuse ou Polyédrique sub-anguleuse
+/- Porosité du sol	A maximiser
+/- Volume d'eau à gérer (m^3) (voir repères de suivi)	-
+/- Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/- Comparaison entre la température sur la parcelle éponge par rapport à une situation témoin* (C°)	Température parcelle éponge < Température témoin
+/- Abattement pluvial de la parcelle (%)	A maximiser
+/- Débit de fuite sur la voie publique (l/s.ha) (voir repères de suivi)	A minimiser
+/- Concentration du sol en matière organique (%)	A maximiser
+/- Nombre d'individus par espèce épigée et endogée	A maximiser
+/- Surface imperméabilisée équivalente (m^2) (voir repères de suivi)	A maximiser
+/- Comparaison du débit de fuite à l'exutoire de la parcelle après opération par rapport à une situation témoin* (l/s.ha)	Débit de fuite à l'exutoire de la parcelle après opération < Débit de fuite à l'exutoire de la situation témoin*

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

DÉFINITIONS

La pédologie, l'étude des premiers mètres du sol, examine les constituants de la terre, leur agencement et leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques.

Développement des indicateurs proposés :

- **Concentration du sol en matière organique :** La matière organique représente un stock en éléments nutritifs pour la végétation, stimule l'activité biologique, augmente la capacité des sols à retenir l'eau, etc. Il est possible d'envoyer un échantillon du sol à un laboratoire d'analyse pédologique ou bien de réaliser un test soi-même en reportant la couleur de la terre à un nuancier Munsell.
- **Nombre d'individus par espèce épigée et endogée identifiées :** La faune épigée regroupe l'ensemble des espèces vivant en surface du sol sous la strate végétale herbacée. La faune endogée quant à elle, vit sous terre. La biodiversité du sol contribue à la fertilité du sol, à sa perméabilité, limite les risques d'érosion et dégrade la litière en humus stable. Compter le nombre d'individus par espèce identifiée est un moyen de mesurer l'activité biologique des sols. Il est alors possible de mettre en place des pots Barber pour la faune épigée et un entonnoir Berlese ou Tullgren pour la faune endogée.
- **La structure du sol :** Elle décrit la cohésion des agrégats entre eux qui influe sur la porosité permettant ou non la circulation de l'air, de l'eau, et la pénétration des racines. La structure s'observe à l'œil nu dans un échantillon de terre prélevé. Pour interprétation, se référer à la page 24 de la Notice d'utilisation du diagnostic HUMUS, 2018.
- **La porosité :** Elle rend compte des vides du et traduit le niveau de circulation de l'air et de l'eau. On la mesure par la différence entre le poids de l'échantillon saturé d'eau et son poids à sec.

EN SAVOIR PLUS

ARB IDF 2022, Renaturer les villes

CEPRI, Guide SafN - ARTISAN Les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature pour prévenir les risques d'inondation

Terre de Liens 2018, Notice d'utilisation du diagnostic HUMUS

CRÉER UN JARDIN DE PLUIE

ALÉA



CHALEURS



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



SÉCHERESSES

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

Le jardin de pluie est un espace aménagé dont le sol est désimperméabilisé et végétalisé sur une petite zone. Il est situé et conçu de façon à capter l'eau de ruissèlement d'une surface perméable. Alimenter un jardin de pluie par les eaux de récupération (gouttières, voies d'écoulement naturelles ou artificielles, etc.) permet de tamponner l'eau en augmentant le temps de pluie (durée entre l'impact de la goutte au sol et l'afflux au réseau collectif). Il permet aussi une infiltration locale de l'eau dans le sol.

IMPACTS

Concevoir un jardin de pluie présente plusieurs avantages :

- Lutte contre les **inondations :** En augmentant le temps de pluie et en infiltrant l'eau localement, les jardins de pluie réduisent la pression sur les réseaux d'égouts collectifs.

- Lutte contre l'**inconfort thermique :** Véritables îlots de fraicheur grâce à la végétalisation des espaces et l'aménagement de points d'eau.

- Lutte contre les **sécheresses** : En permettant l'infiltration des eaux pluviales dans le sol, ce qui recharge les nappes phréatiques et limite ainsi les périodes de sécheresses.

- Accueil de **biodiversité** : En recréant des caractéristiques écologiques proches de celles des zones humides, les jardins de pluie offrent un refuge à de nombreuses espèces.

- Traitement naturel de l'eau : De la même manière qu'une zone humide naturelle, les jardins de pluie permettent de filtrer l'eau.

- Bien-être : Par l'ensemble des avantages listés ci-dessus, les jardins de pluie permettent d'améliorer le bien-être usagers.

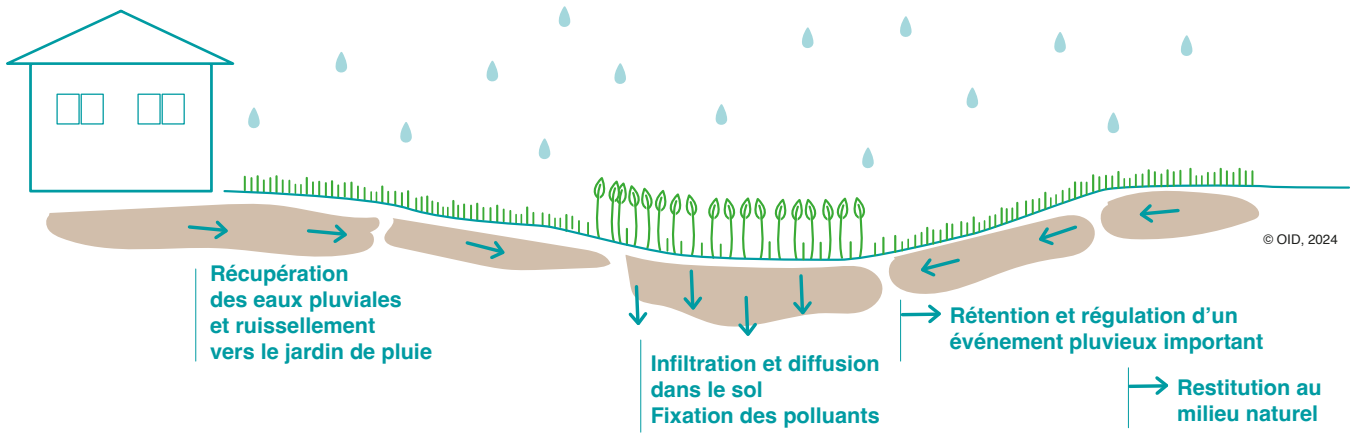
GUIDE DE MISE EN PLACE

La conception d'un jardin de pluie peut autant être pensée à l'échelle de l'aménagement de l'espace public, qu'à celle de la parcelle privée. Un jardin de pluie est installé en aval d'un système naturel ou artificiel d'acheminement de l'eau. Il est alors important de prendre en compte la morphologie du terrain (relief, hydrographie, zones perméables, etc.). Ils peuvent être aménagés sur des surfaces restreintes mais il est recommandé de respecter une distance minimale avec les bâtiments ou d'imperméabiliser la façade souterraine à proximité pour éviter les infiltrations. Il est aussi conseillé d'éviter les réseaux enterrés et de s'éloigner de la végétation présente qui ne serait pas adaptée aux conditions humides.

Le jardin de pluie est composé d'un matériau drainant qui permet que l'eau ne stagne pas et que le jardin puisse accomplir ses fonctions hydrauliques. Il est alors nécessaire de déterminer la capacité d'infiltration du terrain et d'adapter son projet selon les paramètres suivants : capacité du jardin, emplacement, composition du sol, etc. Une attention particulière doit être portée au choix de la palette végétale pour qu'elle soit adaptée aux sols humides. La diversité et l'indigénat des essences choisies sont autant de facteurs qui favoriseront la résilience du jardin.

PRINCIPE D'UN SYSTÈME DE JARDIN DE PLUIE

Source : Aquatiris



Prévoir un système de trop plein lors d'évènements pluviaux extrêmes est fortement recommandé afin de rediriger les eaux vers le réseau collectifs et éviter les inondations. Un moyen efficace est d'intégrer un tuyau d'évacuation au niveau maximal désiré.

FREINS ET LEVIERS

- ⊖ La présence d'équipements sensibles à proximité peut être un frein à la mise en place d'un jardin de pluie.
- ⊖ La gestion de l'eau pluviale est un enjeu qui ne peut pas être géré seulement à l'échelle de la parcelle. Selon l'environnement alentour l'aménagement d'un jardin de pluie ne sera pas toujours suffisant à supprimer entièrement les conséquences d'un évènement pluvial extrême.
- ⊖ Une réticence de la part des usagers peut être rencontrée de peur de l'afflux de moustiques. Cet argument est infondé car les moustiques sont attirés par les eaux stagnantes, or les jardins de pluie sont conçus pour être submergés au maximum 48 heures. Il est donc important de calculer la capacité d'infiltration du terrain afin de dimensionner convenablement le projet.
- ⊕ S'entourer d'experts et mener une étude pour évaluer l'environnement à proximité (relief/pente, nature des sols etc.) permet de dimensionner convenablement le jardin de pluie et de maximiser les co-bénéfices.
- ⊕ Mener une campagne de sensibilisation à l'aide de fiches pédagogiques peut augmenter l'acceptabilité du projet et réduire les idées reçues.
- ⊕ C'est un espace qui peut être valorisé pour ses vertus éducatives auprès d'enfants.
- ⊕ Cela contribue à l'amélioration du bien-être des usagers.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Sous-dimensionnement du projet

La capacité, le matériau drainant, la forme et l'emplacement du jardin de pluie sont autant de paramètres à définir selon la topographie et le type de sol pour dimensionner convenablement un projet de jardin de pluie. C'est une étape nécessaire afin de remplir convenablement ses fonctions hydrauliques. Si aucune analyse pédologique, hydraulique et topographique ne sont menées, le projet risque d'être sous dimensionné et pourrait entrainer un report de vulnérabilité sur des éléments sensibles à proximité. C'est une des raisons pour laquelle le **choix de l'emplacement** est sensible et qu'il est recommandé de mettre en place un système d'évacuation.

Végétation non adaptée

Le choix d'une **palette végétale adaptée** aux conditions humides des jardin de pluie est nécessaire pour la survie des essences plantées et donc le bon fonctionnement du jardin. Avec le nombre croissant d'épisodes de sécheresse, la vulnérabilité de ces essences végétales et des écosystèmes associés peut augmenter. Il est alors nécessaire de choisir des espèces qui répondent aux caractéristiques humides des jardins de pluie, tout en prenant en compte l'exposition du territoire à l'aléa sécheresse. De manière générale la diversité végétale augmente la résilience du système en augmentant leur chance d'adaptation aux évènements extrêmes.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- AVOIR LE PLUS POSSIBLE RECOURS À DES ESPÈCES LOCALES
- ADAPTER LA PALETTE VÉGÉTALE AUX CLIMATS ACTUEL ET FUTURS
- VÉRIFIER LE DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME DE TROP PLEIN POUR ÉVITER UN RUISSÈLEMENT À L'EXTÉRIEUR DU JARDIN DE PLUIE

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Nombre maximal d'heures où le jardin est submergé	A minimiser, doit être inférieur à 48h
★ Etat de santé de la végétation implantée (permet de vérifier que la palette végétale est adaptée aux conditions proposées)	-
+/− Nombre d'essences végétales	A maximiser
+/− Volume d'eau à gérer par le jardin de pluie (ou volume de la pluie acheminée vers le jardin) (m^3)	-
+/− Volume d'eau restant à gérer (ou volume de la pluie qui ruisselle sur les surfaces imperméables et qui n'est pas traité par le jardin de pluie) (m^3)	-
+/− Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Mesure du volume d'eau passant par le tuyau d'évacuation via un compteur d'eau (m^3)	A minimiser tout en évitant le ruissèlement en dehors du jardin de pluie
+/− Abattement pluvial de la parcelle (%)	A maximiser
+/− Pourcentage d'usagers considérant que cet aménagement contribue à améliorer leur bien-être (%)	A maximiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

DÉFINITION

● Une espèce est définie comme indigène à un espace géographique quand elle est présente naturellement dans cet espace sans intervention humaine. A l'extérieur de son aire de répartition naturelle, on parle d'espèces introduites ou d'espèces exotiques.

EN SAVOIR PLUS

Eco habitation (2019), La conception des jardins de pluie

Lyon Métropole (2022), Méthodes de gestion des eaux pluviales

RESTAURER UN COURS D'EAU

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



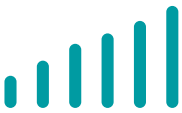
EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible moyen **élevé**

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

Les cours d'eau sont des milieux hétérogènes et dynamiques dans le temps et l'espace. Cependant, une partie importante des cours d'eau ont été canalisés, voire busés (enfouis), réduisant les variations hydromorphologiques (variation de formes et de dynamiques) d'un cours d'eau. La restauration des cours d'eau consiste ainsi à redonner aux berges et au lit de la rivière un aspect proche de leur état naturel d'origine, afin de retrouver les services écosystémiques associés au bon fonctionnement de ces écosystèmes.

IMPACTS

Sous la pression du changement climatique, les cours d'eau peuvent être alimentés par des précipitations soudaines plus intenses. Le risque est alors que ces volumes soient plus importants que la capacité du canal, dont le dimensionnement ne tient pas compte du changement climatique. La restauration du lit mineur et du lit majeur (lit maximum d'occupation, en eau qu'une partie de l'année) permet de retrouver un fonctionnement naturel et permet aux hautes eaux de s'épandre dans la plaine alluviale en période normale de crue sans occasionner d'inondation par débordement sur les zones urbaines.

Décloisonner latéralement et verticalement les cours d'eau réduit l'érosion et participe à la fertilisation des plaines alluviales. Renaturer les berges permet de reconstituer des abris pour la biodiversité locale et décloisonner le cours d'eau permet de diversifier les faciès d'écoulements recréant ainsi des habitats diversifiés pour la faune aquatique.

La renaturation des cours d'eau et des zones humides, en milieu urbain, contribue au rafraichissement des zones urbaines lors des vagues de chaleur. Les berges renaturées offrent d'autres aménités sociales et récréatives aux usagers (espaces d'accueil, de promenade, etc.).

GUIDE DE MISE EN PLACE

Lors d'une opération de restauration, il est nécessaire de réaliser un diagnostic afin de connaître les caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et morphologiques du cours d'eau.

Plusieurs actions peuvent être menées afin de restaurer l'hydromorphologie du cours d'eau :

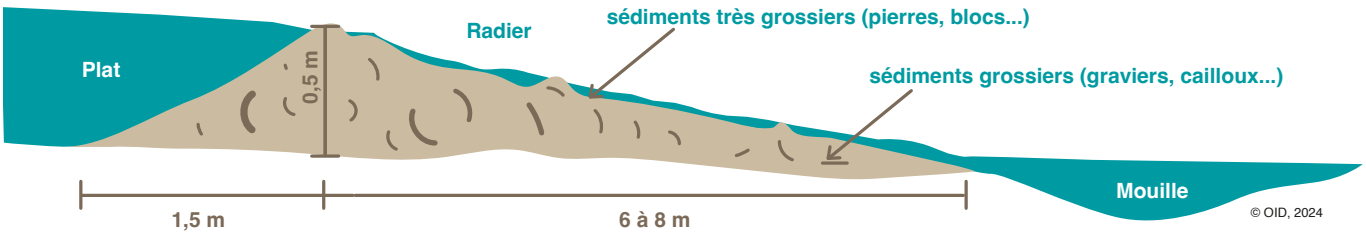
- Le **reméandrage** permet de retrouver un cours d'eau sinueux dont les écoulements et les morphologies du lit (faciès et profils en travers) sont diversifiés.

- **Supprimer les ouvrages en travers** (seuils, digues, etc.) et les **contraintes latérales** (berges artificielles, enrochement, etc.) permet de recréer une dynamique fluviale naturelle et d'augmenter la connectivité latérale avec les zones humides alentour. Des **annexes hydrauliques** (zones submersibles) peuvent ainsi être créées ce qui réduit le risque inondation dans les zones urbaines avales. Il est possible de laisser une zone d'expansion naturelle seulement en **contexte foncier non contraint.**

- En milieu urbain, il est conseillé de s'assurer que la **maîtrise foncière** et les **usages** à proximité n'entrent pas en contradiction avec la restauration du cours d'eau. Il

RESTAURATION MORPHOLOGIQUE DU LIT MINEUR PAR DIVERSIFICATION DES FACIÈS D'ÉCOULEMENT

Source : Sage-Authion, commission locale de l'eau



faut aussi veiller à déconnecter les réseaux d'eaux de pluie ou d'eaux usées du cours d'eau.

- Lorsqu'une opération est menée pour reconnecter le cours d'eau au fond de vallée, il peut être nécessaire de **reconstituer un matelas alluvial** si le processus d'apport sédimentaire n'est pas retrouvé naturellement. Il faut alors apporter sur place des matériaux pour recréer une couche de substrat et ainsi limiter les **processus d'érosion** en aval.

A la suite de ces opérations de restauration, un **suivi hydro-morphologique, biologique et physico-chimique** doit être mis en place afin de suivre l'évolution du cours d'eau.

FREINS ET LEVIERS

⊖ Débuser un cours d'eau ou renaturer les berges dans une optique d'amélioration de la gestion des eaux pluviales nécessite de repenser les **réseaux d'eaux de pluie et d'eaux usées**

⊖ Des **contraintes liées à l'aménagement des espaces** peuvent freiner la mise en place d'opérations de restauration. Cela peut entrainer des conflits fonciers.

⊖ La renaturation des cours d'eau, principalement en zone urbaine, pose des questions d'**acceptabilité sociale**.

⊕ Mettre en place une **campagne de communication** et de **sensibilisation** sur l'intérêt de restaurer les cours d'eau et les aménités offertes peut permettre d'obtenir l'adhésion des différentes parties prenantes

⊕ De plus, inclure les différentes parties prenantes via une méthode de **concertation publique** facilitera l'acceptation du projet

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Végétation inadaptée

La végétation joue une place importante dans les opérations de restauration des cours d'eau. Elle va participer au bon fonctionnement de l'écosystème. La végétation spontanée sera plus adaptée aux conditions locales, s'intègrera mieux dans l'écosystème présent et augmentera les interactions avec la faune du territoire.

Prolifération d'espèces exotiques envahissantes

L'absence de suivi de l'évolution biologique visant à déceler les potentielles proliférations d'espèces exotiques envahissantes. Leur présence modifie la biodiversité en participant au déclin d'espèces natives et vient perturber les écosystèmes locaux. Elles peuvent aussi avoir des impacts sur la santé humaine (CDB). Il est alors nécessaire d'intervenir afin de protéger l'écosystème restauré.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- AVOIR RECOURS EN PRIORITÉ À DES PRATIQUES ISSUES DU GÉNIE ÉCOLOGIQUE
- LAISSER DES ANNEXES HYDRAULIQUES AFIN D'ENDIGUER LES CRUES ET LAISSER DES HABITATS NÉCESSAIRES À CERTAINES ESPÈCES
- LAISSER DES ESPACES DE MOBILITÉ POUR PERMETTRE LE RÉAJUSTEMENT MORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU
- FAVORISER LE DÉVELOPPEMENT D'UNE RIPISYLVE

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/- : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/- Nombre de faciès d'écoulements différents (radiers, mouilles, plats, rapides, cascades, etc)	A maximiser
+/- Nombre d'obstacles à l'écoulement en amont de la zone étudiée	A minimiser
+/- Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
★ Hétérogénéité morphologique (importante ou faible)	Favoriser l'hétérogénéité
+/- Débit d'étillage (m/s)	Assure un débit minimum
+/- Comparaison de l'Indice Biologique Diatomées (IBD) (algues) après opération par rapport à une situation témoin*	IBD après opération > IBD avant opération
+/- Comparaison de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) (invertébrés : insectes, mollusques…) après opération par rapport à une situation témoin*	IBGN après opération > IBGN avant opération
+/- Comparaison de l'Indice Poisson en Rivières (IPR) après opération par rapport à une situation témoin*	IPR après opération > IPR avant opération
+/- Débit des crues de retour de 1 à 3 ans (m^3/s)	Le débit de plein bord doit se rapprocher du débit de crues de retour 1 à 3 ans
+/- Débit solide (m^3/s)	Equilibre dynamique entre érosion et dépôt

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

RÉGLEMENTATION

- La Directive Européenne Cadre sur l'Eau (DCE) fixe l'atteinte du bon état écologique des eaux du territoire à l'horizon 2027. Le « bon état écologique » des cours d'eau est conditionné par la qualité de l'eau et le fonctionnement des milieux aquatiques. Pour évaluer l'état des cours d'eau, la DCE met à disposition des indicateurs de nature biologique, psycho-chimique et hydromorphologique.

DÉFINITIONS

- L'Indice Biologique Diatomées (IBD) se base sur l'étude des algues prélevées sur les radiers (fond d'un cours d'eau peu profond à écoulement rapide et hétérogène grâce à un substrat de graviers). Des laboratoires identifient les espèces ce qui permet d'évaluer l'abondance de chaque taxon et la répartition des différentes espèces.
- Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) : il s'agit d'effectuer huit prélèvements de macro-invertébrés en période d'étiage (période de basses eaux) à l'aide d'un filet de Surber (filet composé d'un cadre de 1/20m^2), sur différents substrats et dans différents habitats.
- Indice Poisson en Rivières (IPR) : il s'agit de réaliser un inventaire de la faune piscicole par pêche électrique sur une station définie. Les poissons sont identifiés, dénombrés et les mesures des paramètres biologiques (taille, poids) sont relevées.

EN SAVOIR PLUS

CEPRI, Guide SafN - ARTISAN Les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature pour prévenir les risques d'inondation

OFB 2018, La remise à ciel ouvert de cours d'eau

Eau & Biodiversité 2019, Guide pour l'élaboration de suivis d'opérations de restauration hygromorphologique enc ours d'eau

OFB, Pourquoi restaurer ?

Grow Green, Brest

ORGANISER UNE STRATÉGIE DE REPLI PERMANENT

ALÉA



DYNAMIQUES LITTORALES

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible moyen **élevé**

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

Les solutions de repli consistent en la mise en place de mesures alternatives visant à transférer les activités, les biens et/ou les usagers vers des emplacements différents, exempts des mêmes risques. On peut distinguer deux approches de repli. L'une, de nature temporaire, en cas de catastrophe liée au changement climatique tels que des périodes de chaleurs intenses, des inondations, des feux de forêt ou tempêtes, prévoit le déplacement momentané des usagers vers un autre lieu. L'autre approche, appelée stratégie de repli permanent, implique la relocalisation des activités et des biens dans le cadre de la planification territoriale pour les protéger des risques liés aux dynamiques littorales.

Parmi les principales stratégies d'adaptation au changement climatique dans les zones côtières, on recense le retrait (délimitation de zones non constructibles ou planification de relocalisations), la protection (mise en place de digues, utilisation de blocs artificiels, etc.) et l'ajustement (surélévation des éléments de structure). Toutefois, les stratégies de protection et d'ajustement, dans le cadre de l'adaptation face aux risques liés à l'élévation du niveau de la mer, sont considérées comme ayant une contribution potentielle moins favorable à une adaptation réussie (GIEC, 2022).

IMPACTS

L'élévation du niveau de la mer représente un enjeu d'adaptation marqué dans les décennies à venir par une augmentation prévue de la fréquence et de l'ampleur des événements extrêmes tels que des submersions marines et des changements progressifs tels que l'érosion côtière. Le facteur de risque principal des bâtiments résidera dans leur emplacement, la réparation devenant complexe, voire impossible et coûteuse. À mesure que le changement climatique compromettra les moyens de subsistance, la sécurité et l'habitabilité générale, en particulier dans les zones côtières et les petites îles, les **déplacements de populations deviendront inévitables, que ce soit de manière autonome ou dans le cadre de relocalisations planifiées**. Il est impératif d'anticiper et de planifier les relocalisations des personnes en danger, notamment celles qui ne pourront pas se déplacer par elles-mêmes en raison de contraintes socio-économiques, de problématiques liées à la santé, et d'autres facteurs.

GUIDE DE MISE EN PLACE

La Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte (SNGITC) présente la notion de **relocalisation des activités et des biens, qui implique le déplacement ou le recul de ces derniers sur le territoire à une distance suffisante, vers l'arrière-pays, afin de les mettre à l'abri des risques qu'ils peuvent encourir face à la mer, à court ou à long terme** (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2012). Le repli permanent vers les hauteurs semble être également une solution adéquate.



Immeuble d'habitation « Signal », exemple de l'érosion côtière en France (Soulac-sur-Mer, France)
© Anthony Baratier

Les actions à entreprendre pour évaluer l'efficacité du repli doivent principalement se concentrer sur :

- **Connaître les caractéristiques du territoire** (géomorphologie des côtes et des avant-côtes, orientation par rapport aux vents et courants dominants, réseaux hydrographiques, etc.),
- **Évaluer le degré de prise de conscience** au sein de la population locale ou des occupants de bâtiments à risques, et **comprendre leurs besoins, leurs préoccupations et leurs aspirations** (enquêtes, entretiens, forums communautaires, campagnes de sensibilisation, séances d'information, consultations/concertation publiques, etc.),
- **Examiner les préoccupations spécifiques, les situations socio-économiques, et les exigences individuelles**,
- **Déterminer les connaissances, les aptitudes et les ressources nécessaires** pour mettre en œuvre des stratégies d'adaptation efficaces (renforcement des compétences locales, collaboration avec des experts, mobilisation de ressources techniques et financières, etc.).

La conception de la stratégie de repli permanent doit intégrer au maximum toutes les informations recueillies en amont pour assurer une cohérence optimale et favoriser l'acceptation par la population locale. Afin de garantir une relocalisation efficace, il est impératif de la planifier avec une anticipation significative, tout en communiquant clairement les risques aux occupants. Cette planification doit être étayée par des processus continus d'engagement communautaire inclusifs et s'inscrire dans le cadre d'une gestion intégrée du trait de côte. Les relocalisations planifiées, qui ont des délais de mise en œuvre prolongés, devront être appliquées au cours de la prochaine décennie pour atténuer les risques à temps.

FREINS ET LEVIERS

⊖ La mise en œuvre d'une stratégie de repli permanent, du fait de sa durée et de son coût élevé, ne peut être envisagée à court terme et doit être temporairement remplacée par d'autres solutions pendant sa période de mise en place.

⊖ La relocalisation au sein d'une collectivité locale peut présenter des défis considérables lorsque les espaces disponibles vacants sont rares.

⊕ Les collectivités locales ont la possibilité d'instaurer ou de revoir le Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL), de réviser les plans d'aménagement urbain, tels que les plans locaux d'urbanisme (PLU) ou les schémas de cohérence territoriale (SCoT), et d'initier une stratégie transitoire de gestion de la bande côtière en attendant des arbitrages.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Non-prise en compte des incertitudes climatiques

Face à l'augmentation fréquente et à l'intensification anticipée des événements climatiques, comme projeté par le GIEC dans les années à venir, il est impératif que la stratégie de relocalisation dans l'arrière-pays et/ou dans les hauteurs intègre pleinement les projections climatiques. De plus, il est crucial que ces relocalisations limitent l'exposition des personnes et des biens à d'autres aléas climatiques.

Étalement urbain

La relocalisation planifiée des populations dans l'arrière-pays conduit à la création de nouvelles infrastructures, amplifiant ainsi l'expansion des zones urbaines. Cette urbanisation croissante met une pression accrue sur les ressources naturelles locales, entraînant des changements dans l'utilisation des terres et favorisant l'étalement urbain. Ces transformations peuvent conduire à la fragmentation des écosystèmes naturels, affectant la connectivité écologique et la biodiversité, potentiellement impactant la santé des écosystèmes et des habitats naturels.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- IDENTIFIER LES ALÉAS CLIMATIQUES AUXQUELS LE BÂTIMENT EST EXPOSÉ

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/- : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS		INTERPRÉTATION
+/-	Evolution annuelle du trait de côte (m/an)	Un déplacement négatif du trait de côte traduit la perte de territoire terrestre
+/-	Distance entre le bâtiment et le trait de côte (m)	Une courte distance entre le bâtiment et le trait de côte indique une proximité accrue avec la mer, augmentant l'exposition aux dynamiques littorales
+/-	Nombre d'habitants situés en dessous du niveau centennal de la mer	A minimiser
+/-	Nombre d'infrastructures critiques (hôpitaux, les écoles et les centres de secours) en dessous du niveau centennal de la mer	A minimiser
+/-	Pourcentage de patrimoine littoral menacé par les dynamiques littorales (%)	A minimiser
+/-	Nombre de personnes habitant/travaillant dans des bâtiments menacés par les dynamiques littorales	A minimiser
+/-	Comparaison du pourcentage de personnes dont l'activité sera maintenue avant et après la mise en place d'une stratégie de repli permanent par rapport à celle d'une situation témoin*	Le site de repli permanent doit permettre de maximiser le pourcentage de personnes pouvant maintenir leur activité

INDICATEURS DE RÉSULTATS		INTERPRÉTATION
+/-	Comparaison entre le nombre annuel d'interruptions d'activité résultant de dynamiques littorales avant et après la mise en place d'une stratégie de repli permanent	Minimiser le nombre d'interruptions d'activité autant que possible
+/-	Comparaison entre les répercussions financières, matérielles et humaines par rapport à celle d'une situation témoin*	Minimiser les répercussions financières, matérielles et humaines
+/-	Comparaison du temps nécessaire pour rétablir complètement les activités normales par rapport à celles d'une situation témoin* (heures)	Minimiser autant que possible le temps nécessaire pour que les activités reprennent normalement
+/-	Pourcentage de satisfaction des usagers du bâtiment par rapport à la mise en œuvre de la stratégie de repli permanent (%)	Ce pourcentage doit être maximisé

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

RÉGLEMENTATION

- La Loi Climat et Résilience vise à renforcer l'adaptation des territoires littoraux. Sur une liste de communes exposées, elle prévoit la déclinaison de cartographies des zones à risque à 30 et 100 ans. Les permis de construire ne pourront plus y être délivrés, ou seulement via des permis de construction temporaires. La loi prévoit une obligation de déconstruction en cas de risque du recul du trait de côte.
- La Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte (SNGITC), adoptée en 2012, a pour objectif principal est de renforcer la résilience des espaces littoraux en régulant à long terme l'occupation du rivage dans les zones exposées, en mettant en avant le rôle essentiel des milieux naturels côtiers pour atténuer les effets des phénomènes naturels (submersion marine, érosion, inondation, etc.).
- Les plans de prévention des risques littoraux (PPRL) permettent d'encadrer l'urbanisation dans les zones côtières soumises à l'aléa submersions rapides et définir une réglementation sur les littoraux français. La particularité de ces plans est l'intégration de risques n'existant pas encore aujourd'hui mais prévus à l'horizon 2100 à la suite de l'élévation du niveau de la mer. Ainsi, les PPRL sont scindés en deux parties principales, l'une se basant sur l'aléa de référence actuel et l'autre sur l'aléa de référence d'ici à 2100 en se basant sur une augmentation d'un minimum de 60 cm du niveau marin.
- Les Schémas de Cohérence Territoriale (SCoT) prennent en compte le risque submersion marine (art L121-1 du Code de l'Urbanisme) et permettent la régulation des permis de construire pour les zones côtières sensibles. Aussi, ils permettent d'encadrer la relocalisation des activités et structures présentes aujourd'hui sur des zones vouées à disparaitre. Ce n'est plus seulement le littoral qui est pris en compte mais aussi les zones retro-littorales (terres situées en arrière ou à l'intérieur des zones côtières).

EN SAVOIR PLUS

Aziz, M. (2013), Défense, repli et engagement : restaurer les fronts de mer dans le monde

OCDE (2019), Hausse du niveau des mers : Les approches des pays de l'OCDE face aux risques côtiers. Chapitre 7 : Stratégie de « repli » dans le North Norfolk, au Royaume-Uni.

OID (2020), Fiche aléa – Submersions marines

OID (2021), Fich'ID – Vulnérabilités littorales

Rocle, N. (2017), L'adaptation des littoraux au changement climatique : une gouvernance performative par expérimentations et stratégies d'action publique

IPCC (2022), Summary for Policymakers - Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change

ORGANISER UNE GESTION INTÉGRÉE DU TRAIT DE CÔTE

ALÉA



DYNAMIQUES LITTORALES

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible moyen **élevé**

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

La gestion intégrée du trait de côte, vise à prendre en compte à la fois les paramètres humains, économiques, urbanistiques et environnementaux afin de s'adapter aux dynamiques littorales. Elle consiste à solliciter les différents modes de gestion souples et plus durs, tout en composant avec le milieu naturel. En renforçant la résilience des espaces littoraux il est alors possible de diminuer les effets des aléas naturels (submersion marine, recul du trait de côte, etc.).

Le littoral est un géosystème dynamique dont le trait de côte (contact terre-mer) est naturellement mobile. Afin de se protéger des aléas maritimes, l'espèce humaine a adopté principalement une stratégie de maîtrise de la nature en fixant le trait de côte via la construction d'ouvrages de défense : digues, perrés, brise-lames, etc. L'ingénierie classique permet de se protéger en partie des submersions marines mais reste limitée. Elle modifie les dynamiques de fonctionnement du milieu, aggrave l'érosion côtière et dégrade fortement les écosystèmes. L'approche environnementale quant à elle s'appuie sur les milieux naturels côtiers pour limiter l'effet des phénomènes et propose de gérer, non plus les effets, mais les causes de l'érosion côtière.

IMPACTS

La gestion intégrée du trait de côte est une approche qui pioche dans l'ensemble des solutions existantes dans l'objectif de concilier la pluralité des enjeux du littoral.

Les **ouvrages « en dur »** sur le littoral perturbent le déplacement naturel des sédiments, favorisent l'érosion, participent à l'artificialisation des côtes et dégradent les milieux naturels. Des **techniques plus « douces »** comme les rechargements de plages, ou la mise en place d'atténuateurs de houle (type boudins géotextiles), existent mais elles restent coûteuses et peu durables. Afin de privilégier des approches durables, les **solutions basées sur la nature sont préconisées en priorité**.

La restauration des milieux naturels tels que les marais, les cordons dunaires et les herbiers marins permettent de limiter l'impact de la **submersion marine** et de l'**érosion**. Ils dissipent l'énergie des vagues, stockent des sédiments dans les cordons dunaires, limitent le transport sédimentaire et protègent les zones arrières de la submersion. Ces écosystèmes offrent également divers **services écosystémiques** tels que la séquestration de carbone et la filtration de polluants.

Toutefois, l'urbanisation croissante détruit une grande partie de ces milieux naturels, ce qui contribue à l'aggravation du changement climatique et de ses impacts. Préserver ces écosystèmes et les restaurer contribue à l'atténuation du changement climatique et à l'adaptation du littoral face aux défis environnementaux. Des enjeux d'usage du foncier entrent donc en ligne de compte pour la réalisation de telles solutions et la limitation de l'urbanisation.



Méthodes de lutte contre l'érosion côtière, le littoral dans le Parc naturel régional de Camargue en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. © Jean-Pierre BOUCHARD

GUIDE DE MISE EN PLACE

Un projet de gestion intégrée du littoral suit plusieurs étapes pour assurer son succès. Tout d'abord, il est essentiel de contrôler voire éliminer les pressions susceptibles de dégrader l'habitat ou les espèces ciblées dans la zone du projet.

Ensuite, une évaluation est réalisée pour identifier les **services rendus par les écosystèmes** et évaluer les impacts liés à leur dégradation. Une **étude de faisabilité** (technique, économique, réglementaire, gestion des usages, etc.) est ensuite menée en synthétisant les connaissances régionales et en identifiant les zones vulnérables.

Ces études permettent d'identifier les opérations qui seront mises en œuvre en privilégiant **les approches fondées sur la natur**e. D'autres options comme le rechargement de plage, la gestion souple et la reconstitution des dunes peuvent également être envisagées, à condition de veiller à ce que celles-ci n'entrainent pas un **report de vulnérabilité spatial et temporel**.

Enfin, une phase de suivi est nécessaire pour évaluer l'efficacité de l'opération et vérifier la prise en compte de tous les enjeux par la solution choisie.

FREINS ET LEVIERS

- ⊖ Le rapport entre coût, efficacité technique et enjeux environnementaux est compliqué. Des conflits d'usages peuvent être fréquents.
- ⊖ Après la mise en place d'un projet d'ingénierie classique, la réversibilité est compliquée. Il est possible qu'un milieu aussi fonctionnel que le milieu naturel ne soit jamais retrouvé.
- ⊖ Les solutions d'adaptation fondées sur la nature s'inscrivent sur le temps long, ce qui peut être un frein dans le cas de besoins urgents.
- ⊕ Mener une campagne de communication via des fiches pédagogiques expliquant le choix d'avoir recours à des solutions fondées sur la nature.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Milieux inadaptés à l'environnement à proximité

La restauration des milieux naturels ne sera efficace que si une étude fine des habitats et de leurs fonctionnalités (abri, nourricerie, frayère : zone de reproduction, corridor, etc.) est menée. Cela permet de restaurer voire recréer un milieu qui soit adapté au contexte environnemental alentour. La recherche d'équivalence avec le contexte environnemental permet de restaurer des écosystèmes locaux et réduit les risques qu'une espèce opportuniste ne perturbe l'écosystème. Si le fond de mer est rocheux par exemple, les opérations de restauration doivent suivre ce critère afin de s'intégrer dans l'environnement.

Destruction des écosystèmes fonctionnels

En souhaitant se protéger des aléas maritimes en ayant recours à des solutions d'ingénierie classiques, cela contribue à la destruction des écosystèmes fonctionnels. Les impacts du changement climatique peuvent alors se voir décuplés puisque les milieux naturels contribuent à l'atténuation du changement climatique et à la diminution des impacts locaux.

Report de vulnérabilité sur d'autres systèmes

La plupart des solutions, qu'elles soient issues de l'ingénierie classique ou qu'elles soient plus douces, entrainent un report de vulnérabilité temporelle et/ou spatiale. Lors d'opérations de rechargement de plages par exemple, le prélèvement de sédiments peut s'avérer très délétère pour les zones prélevées et entrainent des émissions de gaz à effet de serre tout au long de l'opération. Mesurer les reports de vulnérabilités permet de choisir la solution qui aura le moins de retombées négatives et donc de préserver au mieux l'environnement.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- VEILLER À LA PRISE EN COMPTE DES OBJECTIFS DE GESTION DU TRAIT DE CÔTE DES SRADDET
- SE RÉFÉRER AUX ÉLÉMENTS DE GESTION DU TRAIT DE CÔTE INTÉGRÉS DANS LES DOCUMENTS D'URBANISMES LOCAUX (SCOT ET PLU)
- AVOIR RECOURS EN PRIORITÉ À LA RESTAURATION D'ESPACES NATURELS PLUTÔT QUE DES SOLUTIONS DE DÉFENSE (DIGUES PAR EXEMPLE)
- RENDRE ACCESSIBLE UNE PARTIE DE CES ESPACES NATURELS VIA DES PASSERELLES AFIN DE SENSIBILISER LES POPULATIONS ET AMÉLIORER LE BIEN-ÊTRE DES USAGERS.

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS		INTERPRÉTATION
+/−	Taux d'imperméabilisation de la zone étudiée (m^2)	A minimiser
+/−	Pourcentage de surface naturelle sur le territoire (%)	A maximiser
+/−	Pourcentage de surface du cordon dunaire sur le territoire (%)	A maximiser
+/−	Surface d'herbiers marins par rapport à la surface étudiée (%)	A maximiser
+/−	Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS		INTERPRÉTATION
+/−	Nombre de submersions marines dans l'année atteignant des espaces urbanisés après opération	A minimiser
+/−	Nombre de submersions marines dans l'année atteignant les zones humides (zones estuariennes naturelles, marais maritimes, etc.) sans atteindre les espaces urbanisés.	Vérification du bon fonctionnement des écosystèmes qui permettent la gestion durable du trait de côte

RÉGLEMENTATION

- En 2012, la France adopte la première Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte (SNGITC), révisée en 2017. En privilégiant une approche proactive et respectueuse de l'environnement, cette stratégie met l'accent sur la préservation des écosystèmes littoraux pour minimiser les impacts négatifs des activités humaines et maximiser les bénéfices sociaux, économiques et environnementaux qu'ils offrent.

EN SAVOIR PLUS

Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, Programme d'actions 2017-2019

Ministère de l'Écologie de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat 2012, À l'interface entre terre et mer : la gestion du trait de côte

France nature environnement 2017, La gestion du trait de côte sur littoral méditerranéen sableux

Observatoire du littoral, Qu'est-ce que le trait de côte ?

CHOISIR DES ÉQUIPEMENTS À FAIBLE ÉMISSION DE CHALEUR

ALÉA



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT



RAFRAÎCHISSEMENT



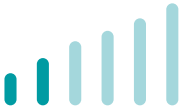
USAGES

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



faible

Face à l'augmentation de la température et à la multiplication et l'intensification des vagues de chaleur, conserver la fraîcheur des bâtiments en période estivale devient une priorité pour les usagers et les acteurs du secteur de l'immobilier. Choisir des équipements informatiques, électroménagers et d'éclairage performants, c'est-à-dire qui génèrent peu de chaleur et qui consomment peu d'électricité constitue une des actions adaptatives à envisager, en combinaison avec d'autres actions telles que la mise en place d'une stratégie de sensibilisation pour adapter les comportements.

IMPACTS

En fonctionnant, les équipements du bâtiment produisent de la chaleur. Cette chaleur participe au réchauffement des espaces intérieurs du bâti. Sélectionner des équipements performants permettent de **limiter l'augmentation de la température** dans le bâti et ainsi de **préserver le confort thermique** des occupants du bâtiment en période estivale. Les économies d'énergie induites par la sélection d'appareils performants devraient également permettre d'alléger la facture énergétique du bâtiment.

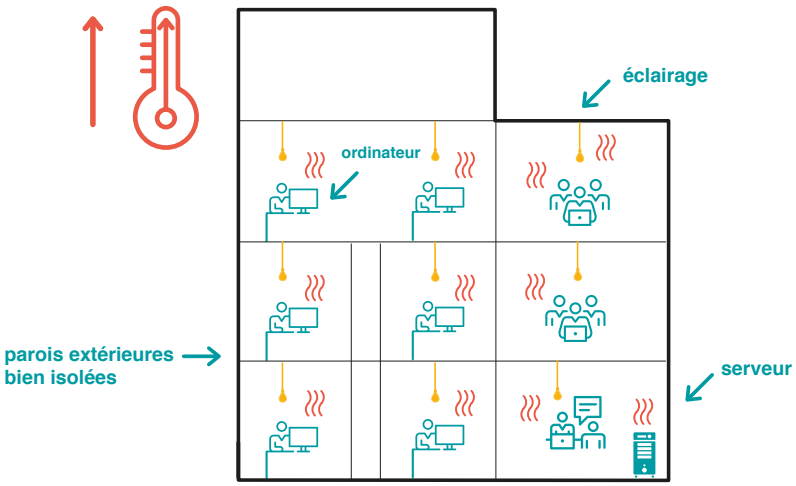
La sélection d'appareils plus performants doit s'accompagner d'un **changement des comportements** afin de ne pas risquer de diminuer, voire d'annuler l'impact de cette action adaptative à travers « un effet rebond ». Cette situation se manifeste lorsque, malgré l'adoption d'équipements plus économes en énergie, la surconsommation persiste en raison de la multiplication des équipements du bâtiment ou de l'utilisation prolongée des équipements. Ainsi, pour éviter cet effet rebond et promouvoir des pratiques durables, une approche « **low tech** » peut s'avérer judicieuse. Elle consiste à privilégier des solutions simples et moins gourmandes en énergie, même lorsque des technologies plus avancées sont disponibles, ce qui peut contribuer à réduire la **surconsommation**.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Afin de réduire les apports en chaleur des équipements, il est conseillé :

- De **quantifier la contribution thermique** des équipements et de mener une réflexion sur les besoins réels des occupants du bâtiment afin d'ajuster le dimensionnement des appareils si cela est nécessaire ;
- De **choisir des équipements qui génèrent peu de chaleur** et à basse consommation en se référant aux étiquettes énergétiques et aux différents labels existants (e.g. Topten) ;
- De **délocaliser** les équipements informatiques vers des locaux spécialisés (en passant au cloud par exemple) ;
- De **réguler et d'optimiser le temps d'utilisation** des équipements pour éviter les consommations inutiles : généraliser la mise en veille des appareils, installer des détecteurs de présence, etc. ;
- De **mettre en place une stratégie de sensibilisation des occupants** du bâtiment (affiches, réunions, livrets d'information, etc.) qui doit permettre de changer les comportements afin d'éviter l'effet rebond et de réduire encore davantage le réchauffement du bâti par l'adoption de gestes simples (e.g. débrancher les appareils

ILLUSTRATION DE L'EFFET THERMOS



© OID, 2021

lorsqu'ils ne sont pas utilisés). Ces actions de sensibilisation peuvent être associées à une stratégie d'information des occupants quant aux risques climatiques encourus par le bâtiment et aux dispositifs de secours existants ;

- D'**ajuster les installations électriques** pour prendre en compte la multiplication des équipements numériques et domotiques, même s'ils sont plus économes en énergie. Cette adaptation vise à gérer efficacement la demande en puissance, tout en minimisant les pertes de charge électrique pour prévenir une éventuelle élévation de la température dans les systèmes électriques.

FREINS ET LEVIERS

- Alors que les **bâtiments sont de mieux en** mieux isolés **et conservent ainsi toute la chaleur** émise par leurs équipements, sélectionner des appareils performants est amené à devenir de plus en plus important.
- A l'échelle de la ville, adapter les comportements et choisir des appareils performants permet d'**éviter d'éventuelles surcharges du réseau électrique urbain**, comme ce fut le cas à New York en juillet 2006 par exemple.
- Lors de la sélection de nouveaux équipements du bâtiment, d'autres critères ESG peuvent rentrer en compte : consommation énergétique, confort des usagers, production locale, etc. Depuis le 1er mars 2021, les **étiquettes énergétiques** ont été remplacées afin de tenir compte des avancées technologiques et dans un effort de clarification et d'incitation à l'achat d'équipements moins consommateurs.

MALADAPTATION

L'évolution des technologies vers des niveaux de performance plus élevés s'accompagne de **conséquences environnementales significatives**. En effet, la fabrication de ces technologies peut entraîner une **augmentation des émissions de gaz à effet de serre** et une **demande accrue en énergie**. Parallèlement, l'extraction et le traitement de ressources naturelles, notamment les métaux rares, exercent une **pression considérable sur les écosystèmes locaux**, contribuant ainsi à des défis environnementaux majeurs tels que la déforestation, la perte de biodiversité et la contamination des sols et des eaux. En ce qui concerne le processus de fabrication, la complexité croissante des équipements avancés peut conduire à une production génératrice de déchets plus volumineux et plus polluants, des rejets de polluants atmosphériques et de substances chimiques nocives, contribuant ainsi à la pollution de l'air, de l'eau et du sol. De plus, la complexité du recyclage des terres rares complique la gestion des déchets et la réutilisation de ces matériaux.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- QUANTIFIER LES BESOINS RÉELS DES OCCUPANTS DU BÂTIMENT
- AJUSTER LE DIMENSIONNEMENT DES ÉQUIPEMENTS AUX BESOINS

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage des équipements optimisant le temps d'utilisation (%)	A maximiser
+/− Pourcentage des équipements à basse consommation et haute efficacité énergétique (%)	A maximiser
+/− Pourcentage des usagers étant sensibilisés à l'optimisation de l'utilisation des équipements (%)	A maximiser
+/− Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison entre la température de la pièce avec des équipements à faible émission de chaleur et celle d'une situation témoin* (°C)	Température pièce avec des équipements à faible émission de chaleur < celle d'une situation témoin

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

NOTION / DÉFINITION

- On considère un **usager sensibilisé** lorsque celui-ci a été formé à la compréhension et l'application concrète d'un contenu pédagogique.
- En favorisant des **équipements économes et efficaces énergétiquement**, on réduit la quantité d'électricité nécessaire pour leur fonctionnement, ce qui entraîne une diminution des pertes d'énergie sous forme de chaleur générées par l'effet Joule.

EN SAVOIR PLUS

ADEME (2013), Bien choisir son éclairage

Centre d'analyse stratégique (2013), Comment limiter l'effet rebond des politiques d'efficacité énergétique dans le logement ?

EnergiePlus, (2007), Charges thermiques internes pour les bureaux

Guide bâtiment durable Brussels (2020), Limiter les gains internes

COMMUNIQUER SUR LES RISQUES AUX OCCUPANTS

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES



SÉCHERESSES



CHALEURS



FEUX DE FORÊT



TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT



RAFRAÎCHISSEMENT



REZ-DE-CHAUSSÉE



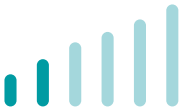
USAGES

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



faible

Bien que les occupants du bâtiment soient les premiers concernés par la résilience du bâti face aux aléas climatiques, ils sont souvent peu informés des risques auxquels le bâtiment est exposé. Même lorsqu'ils ont connaissance des risques, ces derniers sont souvent sous-estimés, et les bons gestes à adopter méconnus. Communiquer sur les risques, les comportements à adopter et les dispositifs de secours existants, auprès des occupants est essentiel afin de limiter les dommages humains et matériels, en cas de crise.

IMPACTS

Sensibiliser les occupants permet de **réduire les risques physiques** encourus par les usagers du bâtiment et les dégâts subis par le bâti, lors d'épisodes climatiques extrêmes. En effet, des occupants informés et/ou formés auront davantage la capacité de **se mettre en sécurité** (par exemple en rejoignant une zone refuge) et/ou **d'aider à la protection du bâtiment** (par exemple en mettant en place des dispositifs d'obstruction des ouvertures, en cas d'inondations).

De plus, les occupants du bâtiment peuvent devenir de vrais **alliés dans la lutte contre les effets de certains aléas climatiques, comme les vagues de chaleur**, en adoptant des gestes quotidiens qui permettent d'améliorer le confort thermique du bâtiment (par exemple en ouvrant les fenêtres la nuit afin de profiter du free-cooling).

GUIDE DE MISE EN PLACE

Informer les occupants du bâtiment des risques climatiques auxquels le bâti est exposé requiert un travail de concert avec les divers acteurs du secteur de l'immobilier, lesquels, chacun à leur manière, peuvent mettre en place des actions de sensibilisation :

- **Réaliser une analyse de risques climatiques** auquel le bâtiment est soumis,
- **Ajouter une clause sur les risques climatiques** dans les annexes vertes,
- **Organiser des sessions de formation régulières** afin de leur expliquer comment réagir en cas d'aléas climatique et s'assurer qu'ils en ont une bonne compréhension,
- **Organiser régulièrement des exercices de simulation** pour permettre aux occupants de mettre en pratique ce qu'ils ont appris.

Quel que soit le moyen de communication choisi, le succès des actions de sensibilisation dépend souvent de plusieurs facteurs déterminants :

1. **Bien cibler les populations** : il s'agit d'identifier quelques caractéristiques saillantes des occupants du bâtiment (catégories d'âge, personnes actives/ inactives, etc.) afin de sélectionner les médias de communication (réunions d'information, brochures, panneaux d'affichage, courriels, etc.) et l'angle pédagogique les plus appropriés ;
2. **Être précis, clair et simple** : il s'agit d'identifier avec précision les risques auxquels le bâtiment est exposé sans tomber dans l'écueil d'une communication trop technique ou dense qui rendrait l'information inaccessible ;
3. **Choisir le moment opportun** : pour augmenter l'impact des actions de sensibilisation, il est conseillé de cibler des moments de disponibilité, physique ou

mentale (lorsqu'un évènement climatique se trouve au cœur de l'actualité, organisation d'ateliers en journée dans les actifs tertiaires, etc.) durant lesquels les occupants du bâti seront plus réceptifs.

Dans le cadre de la communication des risques climatiques aux occupants d'un bâtiment, il est essentiel d'adapter la transmission de ces informations en fonction des **usages spécifiques du bâtiment** :

- Pour un **bâtiment résidentiel**, il faut rendre l'information accessible et pertinente pour les résidents, en utilisant des canaux de communication familiers, tels que les réunions collectives, les bulletins d'information du syndicat de copropriété, etc. Une réunion d'information annuelle peut aborder les risques climatiques locaux, les mesures de préparation recommandées, et les ressources pour un kit d'urgence ;

- Dans un **environnement de bureau**, les risques climatiques peuvent perturber la continuité des activités. Il est essentiel de discuter des interruptions potentielles et de souligner l'importance de la planification d'urgence. L'intégration de l'information sur les risques climatiques dans les plans d'urgence de l'entreprise, avec communication aux employés via courriels, réunions d'équipe ou affichages internes, est adaptée ;

- Dans une **école**, les risques climatiques impactent la sécurité des élèves. Il est donc essentiel d'impliquer enseignants et personnel administratif dans la sensibilisation des enfants aux dangers climatiques, la réalisation régulière d'exercices d'évacuation et de secours, ainsi que dans la communication avec les parents via réunions et affichage ;

- Dans un **centre de soins de santé**, la préparation aux urgences climatiques est cruciale, en particulier pour les patients vulnérables. La sensibilisation aux risques climatiques peut se faire lors des réunions de personnel, par des bulletins internes, des simulations d'urgence et la formation continue du personnel médical.

FREINS ET LEVIERS

⊕ Le dispositif d'information acquéreur-locataire (IAL) rend obligatoire le fait que tous les locataires ou acheteurs d'un bien immobilier, notamment dans une zone réglementée par un plan de prévention des risques (PPR), soient **informés des risques naturels** et de toute indemnisation de sinistre antérieure à la suite d'une catastrophe naturelle. Un état des risques doit figurer dans le dossier de diagnostic technique (DDT) annexé à la promesse et à l'acte de vente ou au bail de location. Pour renforcer cette information, le décret d'application du 1er octobre 2022 a instauré que :

- Toute annonce immobilière, quel que soit son support de diffusion, doit désormais porter cette mention : « Les informations sur les risques auxquels ce bien est exposé sont disponibles sur le site Géorisques : www.georisques.gouv.fr » ;

- L'état des risques doit être remis à la première visite.

⊕ Dans le cadre du Fond Barnier, les collectivités publiques et les entreprises d'assurance peuvent demander une aide financière permettant de **subventionner à hauteur de 100%** les frais engagés pour la réalisation d'une campagne d'information sur la garantie « CatNat » (catastrophe naturelle).

⊕ Afin d'étendre les dispositifs existants, un **diagnostic « CatNat »**, généralisé et obligatoire, sur le modèle du diagnostic de performance énergétique (DPE), pourrait être mis en place, comme conseillé dans un rapport parlementaire publié en juillet 2019.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Renforcement de la ségrégation socio-spatiale et accentuation de l'injustice climatique

Lorsque les résidents saisissent les risques liés à leur lieu de résidence, certains pourraient vouloir déménager vers des zones moins exposées. Cependant, cela soulève des préoccupations liées à la ségrégation socio-spatiale et à l'injustice climatique. Cette tendance pourrait accentuer la division entre les populations aisées, qui peuvent se relocaliser, et les moins favorisées, piégées dans des zones à risques élevés. Cela pourrait se traduire par la dévalorisation des biens immobiliers et par l'incapacité des individus à changer de lieu de résidence, contribuant ainsi à la perpétuation de la pauvreté et à l'accentuation des risques climatiques pour les groupes vulnérables.

Communication contreproductive

Une communication qui ne prend pas en compte les besoins, les habitudes et les usages des publics visés peut être contreproductive si les occupants ne se sentent pas directement touchés par les risques climatiques. De plus, des messages alarmistes peuvent provoquer des réactions de peur et de déni, notamment lorsque les propriétaires craignent la dévaluation de biens immobiliers exposés, comme dans certaines régions soumises au Retrait-Gonflement des Argiles (RGA).

Négligence des contraintes spécifiques liées aux territoires

Une communication inadaptée au contexte spatial et territorial peut entraîner un manque de pertinence et d'engagement chez les habitants. Chaque région présente ses propres particularités en matière de risques climatiques. Ignorer ces spécificités rend la communication générique, peu pertinente et peut échouer à mobiliser les habitants. De plus, le passé de chaque région en matière de catastrophes climatiques influence la perception des risques.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- AJOUTER UNE CLAUSE SUR LES RISQUES CLIMATIQUES DANS LES ANNEXES VERTES
- RECUEILLIR LES COMMENTAIRES ET SUGGESTIONS DES OCCUPANTS SUR LA COMMUNICATION DES RISQUES

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage des occupants sensibilisés aux aléas climatiques auxquels le bâtiment est exposé (%)	A maximiser
+/− Nombre de simulation d'évacuations et/ou de gestion d'aléas climatiques auxquels est exposé le bâtiment	A maximiser
+/− Nombre de signalétiques à l'intérieur du bâtiment sur les aléas climatiques auxquels le bâtiment est exposé par rapport au nombre d'usagers	A maximiser
+/− Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage des occupants respectant les procédures d'évacuation lors de simulation d'évacuations et/ou de gestions d'aléas climatiques (%)	A maximiser
+/− Pourcentage de satisfaction des usagers par rapport à la communication sur les risques auxquels le bâtiment est exposé (%)	Ce pourcentage doit être maximisé
+/− Dégâts financiers, matériels et/ou humains subis lors de catastrophes liées au changement climatique qui pourraient être évités par des changements de comportements	A minimiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

NOTION / DÉFINITION

● On considère un **usager sensibilisé** lorsque celui-ci a été formé à la compréhension et l'application concrète d'un contenu pédagogique.

RÉGLEMENTATION / CRITÈRE

● **La fréquence des simulations d'évacuation et/ou de gestion des risques climatiques** auxquels le bâtiment est exposé varie en fonction de sa nature et des occupants.

EN SAVOIR PLUS

Centre européen de prévention des risques d'inondation (CEPRI) (2013), Sensibiliser les populations exposées au risque d'inondation

Dugast, M. et Gassiat, A. (2014), Prévenir ou s'adapter ? La vision des acteurs locaux du risque inondation dans le contexte du changement climatique

Ministères Écologie Énergie Territoires (2023), Prévention des risques naturels

CONCENTRER LES ÉQUIPEMENTS ET ACTIVITÉS ESSENTIELS AUX ÉTAGES SUPÉRIEURS

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT



REZ-DE-CHAUSSÉE



SOUS-SOL



USAGES

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



faible

Lorsqu'un bâtiment est exposé aux risques d'inondation ou de submersion marine et qu'il ne se situe pas hors d'atteinte de l'eau, il est recommandé de rehausser les équipements sensibles tels que les appareils électriques, informatiques et du génie climatique et de concentrer les activités essentielles aux étages supérieurs afin de se prémunir des dégâts liés à l'eau et au sel. En effet, le rez-de-chaussée, et le sous-sol s'il existe, sont les niveaux les plus directement endommagés en cas d'inondations.

IMPACTS

Surélever les équipements du bâtiment et concentrer les activités qui s'y déroulent aux étages supérieurs est un dispositif essentiel car il permet de **réduire considérablement le délai de retour à la normale**. En effet, après une inondation ou une submersion marine, le degré d'exploitabilité d'un bâtiment dépend en partie du bon **fonctionnement de ses équipements** et de la possibilité de continuer les activités qui y prennent place. Plus le délai de retour à la normale est long, et plus les pertes financières liées à l'arrêt des activités ou à la diminution des revenus locatifs sont importants.

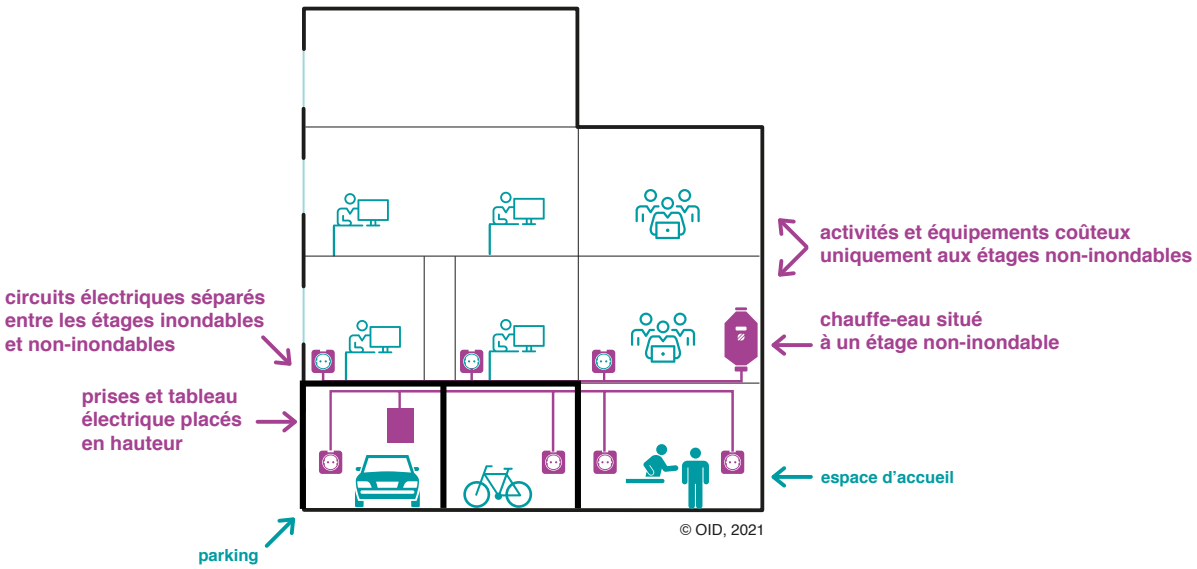
GUIDE DE MISE EN PLACE

Il est important de mettre en place cette action à plusieurs niveaux :

1. **Utiliser le rez-de-chaussée ou le sous-sol comme zone tampon** : si le rez-de-chaussée ou le sous-sol est menacé par les inondations, il peut être judicieux de déplacer les activités et biens essentiels et coûteux (serveurs, bureaux, *etc.*) qui s'y trouvent aux étages supérieurs. Ce niveau inférieur (sous-sol ou rez-de-chaussée) peut alors être envisagé comme un espace de stockage, ou de parking le cas échéant. Afin de limiter les dégâts si l'eau pénètre dans le bâtiment, des matériaux résistants à l'eau peuvent être utilisés pour les revêtements de sols, les isolants, les cloisons et les menuiseries du rez-de-chaussée ou du sous-sol,
2. **Protéger les équipements et les réseaux** : il est conseillé d'installer le tableau électrique, le compteur et les installations de chauffage et d'eau chaude sanitaire dans les niveaux non inondables ou de les rehausser afin de les maintenir hors d'eau. Les circuits électriques devront idéalement être conçus avec un câblage par le plafond et les prises seront disposées en hauteur. Enfin, un système de compartimentage des réseaux électriques peut permettre de séparer les circuits situés en zones inondables de ceux situés aux étages supérieurs.

Cette action adaptative présente l'avantage d'être plutôt flexible car, bien qu'il soit conseillé d'anticiper la mise hors d'eau des équipements et activités, certains équipements qui peuvent être transportés facilement peuvent être remontés dans certains cas juste avant ou pendant une inondation.

DIVERS DISPOSITIFS DE MISE HORS D'EAU DES ACTIVITÉS ET ÉQUIPEMENTS ESSENTIELS DU BÂTIMENT



FREINS ET LEVIERS

⊕ Déplacer les activités et biens essentiels aux étages supérieurs est d'autant plus intéressant que cela **ne nécessite pas nécessairement d'investissement** supplémentaire en termes de rénovation et peut être mise en place dans de nombreux bâtiments.

⊖ Un coût d'opportunité peut cependant exister car cette action adaptative peut impliquer une **perte d'espace** et donc potentiellement de revenu. Concentrer les équipements et activités essentiels aux étages supérieurs peut ainsi être plus difficile à mettre en place dans des actifs situés en zones tendues.

⊕ Afin d'assurer la sécurité des occupants, des sorties doivent permettre une évacuation au niveau des étages supérieurs, et une communication sur les risques climatiques, les bons comportements à adopter et les dispositifs de secours existants doit être mise en place.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Mise en danger des occupants

Inciter les occupants à rester dans le bâtiment lors d'une inondation au lieu de les diriger vers une zone refuge peut présenter des risques considérables pour leur sécurité. En restant dans le bâtiment, les occupants s'exposent à un risque accru de noyade, car l'eau peut rapidement monter et submerger les niveaux inférieurs. Même si les équipements et les activités essentiels ont été déplacés aux étages supérieurs, l'eau peut encore s'infiltrer et constituer une menace sérieuse. Ainsi, si les occupants sont incités à rester dans le bâtiment, ils risquent de se retrouver bloqués sans moyen de quitter le bâtiment en cas de besoin.

Négligence des incertitudes liées au changement climatique

Si la mesure a été mise en œuvre et calibrée en fonction des niveaux actuels de risque d'inondation ou de submersion marine, mais que ces risques augmentent en raison du changement climatique, les équipements et activités aux étages supérieurs pourraient ne pas être suffisamment protégés. Les niveaux d'eau pourraient dépasser les prévisions initiales, mettant ainsi en danger les biens et les opérations. Cela souligne la nécessité de prendre en compte les projections de changement climatique dans la planification initiale pour s'assurer que les mesures d'adaptation demeurent efficaces face à l'évolution des risques environnementaux.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- **UTILISER UN SYSTÈME DE COMPARTIMENTAGE DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES SÉPARANT LES CIRCUITS SITUÉS EN ZONES INONDABLES ET NON-INONDABLES**
- **CRÉER DES SORTIES AUX ÉTAGES SUPÉRIEURS PERMETTANT D'ÉVACUER LES OCCUPANTS**

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de personnes dont l'activité principale se situe hors des niveaux inondables (%)	A maximiser
+/− Pourcentage des équipements (tableau électrique, prise, compteur, installations de chauffage, chauffe-eau, etc.) hors des niveaux inondables ou rehaussés (%)	A maximiser
+/− Pourcentage des réseaux (câblage par plafond, etc.) hors des niveaux inondables ou rehaussés (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison entre le délai de la remise en fonctionnement du bâtiment avec concentration des équipements/activités aux étages supérieurs et celui d'une situation témoin* (heures)	Délai de la remise en fonctionnement du bâtiment avec concentration des équipements/activités aux étages supérieurs < celui de la situation témoin
+/− Comparaison entre les répercussions financières, matérielles et humaines avec mise en place de l'action adaptative et celles d'une situation témoin*	Minimiser les répercussions financières, matérielles et humaines
+/− Dégâts financiers, matériels et/ou humains liés à l'action mécanique de l'eau en cas d'inondation ou de submersion marine	A minimiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

NOTION / DÉFINITION

● Sont considérés comme **équipements sensibles** les équipements nécessaires au **fonctionnement du bâtiment** ou à la bonne réalisation des **activités des usagers**. On peut noter par exemple : les postes de contrôle, de production et de distribution des fluides (équipements CVC), les postes électriques dont le bâtiment est dépendant, les datacenters etc. Cela regroupe tous les **équipements absolument nécessaires à l'occupation du bâtiment**.

EN SAVOIR PLUS

Centre européen de prévention des risques d'inondation (CEPRI) (2010), Le bâtiment face à l'inondation

Centre européen de prévention des risques d'inondation (CEPRI) (2009), Un logement "zéro dommage" face au risque d'inondation est-il possible ?

Guide bâtiment durable Brussels (2017), Concevoir les techniques en cas d'inondation

FAVORISER LE LIEN SOCIAL

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES



SÉCHERESSES



CHALEURS



FEUX DE FORÊT



TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT



USAGES

COÛT

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



faible

Cette action adaptative pourrait bien être l'illustration de l'adage « l'union fait la force », en encourageant le développement du lien social, élément essentiel à l'amélioration de la résilience des populations. L'agencement du bâtiment (ou quartier) peut contribuer à la création d'une vie sociale à l'échelle du quartier ou même au sein du bâtiment. L'intégration d'espaces intermédiaires, supports d'interactions sociales, et le développement d'une mixité fonctionnelle et sociale au sein du bâtiment (accueil de plusieurs activités différentes ou de plusieurs catégories de population) vont permettre aux occupants de développer de nouvelles formes de solidarité.

IMPACTS

En favorisant les interactions sociales qui lient les occupants du bâtiment et des bâtiments voisins entre eux, le bien-être psychologique et l'appropriation du bâtiment par les occupants sont favorisés, tout comme **le contrôle social, facteur de résilience**. Il s'agit de la propension d'une communauté à veiller sur l'intégrité de l'ensemble de ses membres et des infrastructures qui l'environnent. D'une manière générale, l'amélioration du lien social développe l'acceptabilité et la mise en pratique des recommandations pour adapter le bâtiment en favorisant l'implication des usagers vis-à-vis de l'entretien des espaces communs, et donc dans la communication avec les décisionnaires.

En cas de crise, les individus prêtent **une plus grande attention au maintien des bonnes conditions de santé** de leurs voisins. Par exemple, les employés d'un bureau peuvent vérifier que les habitants du même bâtiment, surtout âgés, ne manquent pas d'eau en cas de vague de chaleur. Le lien social va ainsi permettre de lutter contre l'isolement des populations vulnérables. En outre, la multifonctionnalité des espaces permet d'assurer une présence quasi-permanente dans un bâtiment et favorise la surveillance du bâtiment.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Favoriser le lien social passe par le fait de laisser de la **latitude de décision et de marge de manœuvre dans l'action** aux destinataires des mesures mises en place. Cela permet une meilleure appropriation des lieux et une adaptation continue. Pour ce faire, la mise en place d'un comité de gestion intégrant l'ensemble des parties prenantes, l'organisation de temps d'échange entre les occupants, ainsi que la recherche de volontaires pour animer et proposer des activités, favorisent les échanges, la coopération et la création d'une vie communautaire au sein du bâtiment.

Par ailleurs, les occupants peuvent participer à la création de ces espaces, comme c'est le cas dans l'**habitat participatif**. Les volontaires se regroupent autour d'un projet de vie et de relations de voisinage afin de concevoir, créer et gérer collectivement leur habitat, en combinant espaces privatifs et communs pour mieux répondre à leurs besoins. Ils se réapproprient ainsi les décisions et responsabilités de l'acte de construire ou de rénover, d'adapter et d'entretenir leur lieu de vie.

	ESPACES INTÉRIEURS	ESPACES EXTÉRIEURS
TYPE D'ESPACES D'ÉCHANGES	Espace communs du bâtiment aménagés en espaces de détente, salle de conférence ou de réunion, local technique, réfectoire, espace de télétravail, etc.	Jardin partagé, jeux d'eau, agriculture urbaine, toiture végétalisée accessible, parking, local vélo, etc.

De plus, il est important d'anticiper le **potentiel d'intégration de l'activité et du bâtiment dans le tissu local déjà existant**. Une porosité entre espaces privés et publics par exemple à travers l'accueil de public extérieur permet une vitalité locale.

S'il s'agit d'une action d'adaptation généraliste et dont l'efficacité est difficile à anticiper, des leviers permettent de mettre en place des **conditions plus favorables aux interactions sociales** (voir ci-dessus).

La **multifonctionnalité** du bâtiment est un levier considérable pour favoriser la mixité fonctionnelle et la mixité sociale au sein du bâtiment. En associant bureaux, logements, et commerces, et en favorisant les échanges entre les occupants, une vie collective apparaît. Afin de garantir la durabilité du phénomène, il est important de garantir un niveau élevé de **flexibilité** dans les infrastructures et dans les modes de fonctionnement, en permettant au bâtiment d'évoluer avec les pratiques sociales (développement du télétravail, raréfaction des parkings, évolution des réseaux etc.).

FREINS ET LEVIERS

- ⊕ Si le lien social est un réel levier dans la résilience des communautés, il est important pour les **acteurs de l'immobilier d'identifier leur rôle** dans le processus et de ne pas laisser la création de lien social à la charge des individus.
- ⊕ La communication, notamment autour des enjeux climatiques, peut être un réel levier pour favoriser les échanges. Le lien social va permettre d'améliorer la résilience de la population face aux crises environnementales mais aussi sociales ou encore sanitaires.
- ⊖ La promiscuité sociale ne doit toutefois pas se faire au détriment de la **qualité des espaces intérieurs et des conditions de confort des espaces privés.** Ainsi, il est important de veiller à une disposition intelligente des espaces, une isolation acoustique efficace des bâtiments, et une indépendance des accès.
- ⊕ Une **charte de vie commune**, définissant par exemple des notions d'occupation horaire, peut être mise en place. Par ailleurs, la coopération et la mutualisation des infrastructures peuvent permettre de dégager des économies d'échelle pour les occupants et de réduire les coûts ainsi que les frais de gestion du bâtiment.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Inaction face aux vulnérabilités structurelles

Renforcer le lien social offre un soutien et une solidarité, mais ne résout pas les problèmes structurels et systémiques de la vulnérabilité. Il est crucial de combiner la promotion du lien social avec des mesures pour lutter contre les inégalités et renforcer les capacités individuelles, afin de créer des conditions durables et équitables tout en favorisant un lien social inclusif.

Etalement urbain et/ou extension verticale inappropriée

Etant donné que les espaces communs requièrent des surfaces supplémentaires, il y a un risque d'intensification sur le plan vertical des secteurs de centre-ville au marché du logement tendu et foncier rare (E. Deborne, 2016) et/ou d'étalement urbain. L'arbitrage entre l'extension en hauteur et la construction de nouveaux bâtiments dépend de facteurs tels que les objectifs urbains, l'environnement, les besoins de la population et les politiques locales. Il faut prendre en compte la densification urbaine, le contexte environnemental, la capacité d'infrastructure, la mixité fonctionnelle et la participation citoyenne. Chaque situation doit être évaluée en fonction des besoins locaux. Par ailleurs, les maîtres d'ouvrage peuvent autoriser une augmentation de la surface de plancher pour encourager les projets de mixité fonctionnelle, équilibrant ainsi les locaux à forte valeur ajoutée et moins attractifs financièrement pour les opérateurs (Institut d'Aménagement et d'Urbanisme, 2011). Cependant, une extension en hauteur mal planifiée peut avoir des impacts négatifs tels qu'une réduction de l'ensoleillement, des problèmes de ventilation et de microclimat, une surcharge des infrastructures ainsi qu'un déséquilibre de la biodiversité locale.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

MISE EN PLACE D'UN COMITÉ DE GESTION INTÉGRANT L'ENSEMBLE DES PARTIES PRENANTES

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Surface d'espace communautaire ou local commun de service divisée par le nombre d'utilisateurs du bâtiment (m^2)	A maximiser
+/− Nombre de fonctions différentes du bâtiment (bureaux, résidentiel, commerce etc.)	A maximiser
+/− Nombre de réunion annuelle du comité de gestion intégrant l'ensemble des parties prenantes	A maximiser
+/− Nombre d'évènements par an favorisant la cohésion sociale de l'ensemble des usagers du bâtiment	A maximiser
+/− Pourcentage de participants aux évènements de cohésion sociale parmi l'ensemble des usagers du bâtiment (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de satisfaction des usagers concernant les interactions sociales (%)	A maximiser

NOTION / DÉFINITION

● Hormis l'objectif fixé aux programmes de la politique de la ville pour les zones urbaines sensibles de la géographie prioritaire, les autres espaces urbains n'ont pas d'objectifs à l'échelle nationale concernant la **mixité fonctionnelle.** Celle-ci est envisagée comme un équilibre optimal entre la fonction résidentielle, l'activité économique, l'activité commerciale et la présence d'équipements, sans qu'**aucun objectif quantitatif** précis ne soit fixé. Il appartient aux collectivités et à leurs groupements de donner un contenu précis à l'objectif de mixité fonctionnelle et de définir les moyens de sa réalisation (Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de Vie (CREDOC), 2007).

EN SAVOIR PLUS

Habitat Participatif France (2020), L'habitat participatif en quartier prioritaire de la politique de la ville

Guide Bâtiment Durable (2013), Dossier – Favoriser les opportunités d'échange entre les occupants du bâtiment et leur voisinage

Partenariat Français pour la Ville et les Territoires (PFVT) (2020), Recommandations pour des territoires résilients et adaptés au changement climatique

METTRE EN PLACE DES DISPOSITIFS DE SECOURS

ALÉA

PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS

DYNAMIQUES LITTORALES

CHALEURS

FEUX DE FORÊT

TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE

CONSTRUCTION

RÉNOVATION

EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT

USAGES

COÛT

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS

moyen

Face au changement climatique, des solutions d'adaptation peuvent être mises en place afin d'améliorer la résilience du bâti et de ses occupants aux aléas climatiques. Il peut cependant arriver que ces solutions d'adaptation ne suffisent pas à prévenir les dégâts matériels et humains lors d'évènements climatiques. Il est donc essentiel de prévoir des dispositifs de secours permettant de mettre à l'abri les usagers et les équipements essentiels du bâtiment, en facilitant l'évacuation du bâti ou en les accueillant temporairement dans des zones refuge.

IMPACTS

Mettre en place des dispositifs de secours permet de **protéger les occupants** du bâtiment lors d'évènements climatiques, tels que les inondations, submersions marines, vagues de chaleur, feux et tempêtes et ainsi de limiter les conséquences humaines (blessés et morts). Les dispositifs de secours peuvent également permettre de **préserver les biens ou équipements** coûteux ou essentiels situés dans le bâtiment.

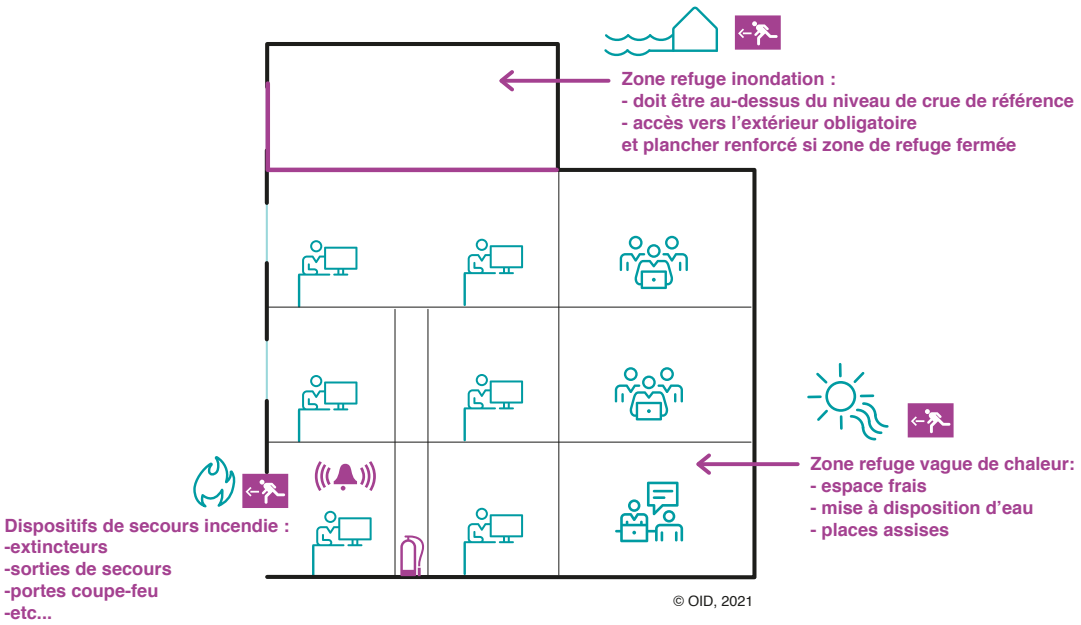
GUIDE DE MISE EN PLACE

Parmi les dispositifs de secours existants, on trouve à la fois : des **solutions techniques**, telles que les zones refuges ou les sorties de secours, et des **solutions organisationnelles**, tels qu'un plan de gestion de crise, des procédures de migration des serveurs, ou la désignation au sein de chaque équipe d'un responsable de l'évacuation. Afin d'assurer la sécurité des occupants et des équipements du bâtiment, il est conseillé de combiner des dispositifs de secours techniques et organisationnels.

Lors de la mise en place de dispositifs de secours techniques et organisationnels, il est essentiel :

1. De bien identifier les risques climatiques auxquels le bâtiment et ses occupants sont exposés ;
2. De prendre en compte les caractéristiques territoriales et topographiques du site qui pourraient constituer des facteurs à risque ou de résilience dans la stratégie de mise en sûreté des usagers et des équipements ;
3. D'**élaborer un plan d'urgence**, accessible à tous les occupants du bâtiment, qui comprend des procédures claires pour l'évacuation en cas de besoin et la gestion des situations de crise ;
4. De **bien identifier les populations** qui occupent le bâtiment (mobilité réduite, personnes âgées, familles, langue parlée etc.) et les biens à protéger afin de proposer des dispositifs de secours adaptés ;
5. De **mettre en place une signalétique claire** permettant d'indiquer la marche à suivre en cas d'évènement climatique majeur ;
6. D'**entretenir régulièrement** les installations et les équipements critiques tels que les générateurs de secours pour garantir leur fonctionnement en cas d'urgence ;
7. De **former et sensibiliser les occupants** sur les procédures d'urgence et les mesures à prendre en cas d'événement climatique extrême ;
8. De **mettre en place des systèmes de communication d'urgence** pour informer rapidement les occupants en cas de danger.

DIVERS DISPOSITIFS DE SECOURS FACE AUX ALÉAS CLIMATIQUES



© OID, 2021

FREINS ET LEVIERS

- La mise en place de dispositifs de secours ne permet pas d'assurer à elle seule leur efficacité. En effet, l'impact des dispositifs **dépend grandement du degré de sensibilisation** et de préparation des occupants et des gestionnaires du bâtiment.
- On veillera donc, en parallèle de la mise en œuvre de dispositifs de secours, à informer les occupants et les gestionnaires du bâtiment des risques naturels encourus et des dispositifs de secours existants et à effectuer les exercices de simulation nécessaires.
- La mise en œuvre de mesures visant à favoriser le lien social peut également contribuer à améliorer l'efficacité des dispositifs de secours grâce au **développement d'une plus forte solidarité** entre les usagers du bâtiment.
- La mise en place de dispositifs de secours spécifiques **peut être rendue obligatoire** par différents dispositifs normatifs nationaux (e.g. Code de la Construction et de l'Habitation) et locaux (e.g. Plans de Prévention des Risques (PRR)).
- En cas de crise prolongée entraînant l'indisponibilité ou l'inaccessibilité du bâtiment ou de la zone, en complément des mesures mentionnées précédemment, une stratégie de repli temporaire pour la partie du bâtiment désignée comme «repliable» ou la zone à considérer comme «à abandonner» peut être mise en place.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Inadéquation des mesures d'adaptation au changement climatique

Lorsque la conception et la planification des dispositifs de secours ne prennent pas en compte les projections du changement climatique et leurs incertitudes associées, cela peut entraîner un sous-dimensionnement de ces dispositifs pour faire face à des événements climatiques plus sévères et fréquents que ce qui avait été initialement anticipé. Cela peut entrainer l'inefficacité des dispositifs de secours et une augmentation de la vulnérabilité aux aléas climatiques.

Complexité excessive

Lorsque les dispositifs de secours techniques et organisationnels deviennent trop complexes, cela peut rendre difficile leur compréhension par le personnel et les occupants, ce qui peut entraver leur capacité à réagir rapidement et diminue l'efficacité de la réponse en cas de crise.

Communication inappropriée

Une communication inadéquate ou une surcommunication concernant les risques climatiques peut déclencher de l'inquiétude voire de la panique plutôt que de contribuer à la préparation et à la sécurité. De plus, une utilisation excessive des systèmes d'alarme ou des simulations peut entraîner ce que l'on appelle une «fatigue de l'alarme» ou « fatigue d'alerte », où les occupants ne réagissent plus de manière adéquate en raison d'une surstimulation d'alertes. Cela peut conduire à une complaisance dangereuse, où les individus ignorent les avertissements légitimes car ils ont été exposés à un grand nombre de fausses alertes.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- IDENTIFIER LES RISQUES CLIMATIQUES AUXQUELS EST EXPOSÉ LE BÂTIMENT
- PRENDRE EN COMPTE DES CARACTÉRISTIQUES TOPOGRAPHIQUES DU TERRAIN
- IDENTIFIER LES POPULATIONS QUI OCCUPENT LE BÂTIMENT (PERSONNES ÂGÉES, FAMILLES, ETC.)
- ÉLABORER UN PLAN DE GESTION DE CRISE
- ÉLABORER LES PROCÉDURES DE MISE EN SÛRETÉ DES USAGERS ET DES ÉQUIPEMENTS

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Nombre de zones refuges par rapport au nombre d'usagers	A maximiser
+/− Nombre de responsables d'évacuation par rapport au nombre d'usagers	A maximiser
+/− Nombre de signalétiques indiquant la conduite à tenir en cas de catastrophes liées au changement climatique par rapport au nombre d'usagers	A maximiser
+/− Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre
+/− Pourcentage des occupants sensibilisés aux aléas climatiques auxquels le bâtiment est exposé (%)	A maximiser
+/− Nombre de simulation d'évacuations et/ou de gestion d'aléas climatiques auxquels est exposé le bâtiment	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Temps écoulé entre la détection d'une urgence et le début de la réponse (heures)	A minimiser
+/− Comparaison de la durée de l'interruption d'activité avant et après la mise en place de dispositifs de secours par rapport à celle d'une situation témoin* (heures)	Minimiser la durée des interruptions d'activité autant que possible
+/− Comparaison du temps nécessaire pour rétablir complètement les activités normales par rapport à celles d'une situation témoin* (heures)	Minimiser autant que possible le temps nécessaire pour que les activités reprennent normalement
+/− Dommages financiers, matériels et/ou humains subis par les usagers du bâtiment lors de catastrophes liées au changement climatique	A minimiser
+/− Dégâts subis par le bâti et/ou les équipements lors de catastrophes liées au changement climatique	A minimiser
+/− Pourcentage des occupants respectant les procédures d'urgences lors de simulation d'évacuations et/ou de gestion d'aléas climatiques (%)	A minimiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

EN SAVOIR PLUS

Ministère de l'égalité des territoires et du Logement et Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Energie (2012), Aménagement d'une zone refuge dans l'habitat individuel existant

Ministère des Solidarités et de la Santé (2021), Guide ORSEC départemental S6 – Disposition spécifique : Gestion sanitaire des vagues de chaleur

Secrétariat Général de la Défense et de la Sécurité Nationale (SGDSN) (2013), Guide pour réaliser un plan de continuité d'activité

FLEXIBILISER LES PRATIQUES D'ORGANISATION DU TRAVAIL

ALÉA

PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS

DYNAMIQUES LITTORALES

SÉCHERESSES

CHALEURS

FEUX DE FORÊT

TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE

EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT

USAGES

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS

faible

Au-delà des solutions d'adaption techniques qui s'appliquent à l'échelle du bâti ou du territoire, la résilience du bâti dépend en partie de la capacité de résilience des occupants. Pour les bâtiments accueillant des activités professionnelles (tertiaires ou industries), la culture d'entreprise peut être un facteur de résilience. Le concept de résilience organisationnelle a été théorisé par les scientifiques et s'appuie principalement sur la flexibilité des modes opératoires au sein de l'organisation, et la responsabilisation des individus.

IMPACTS

Les **conséquences du changement climatique peuvent menacer la poursuite des activités professionnelles** : dégradation de l'intégrité du bâti qui ne peut plus assurer ses fonctions (incendie, inondation, désordres du bâti etc.), température trop élevée dans les locaux qui induisent une baisse de productivité, perturbation des réseaux (accès au bâtiment, coupure d'alimentation en eau ou électricité), etc. Assouplir les normes organisationnelles et favoriser une plus grande liberté au niveau des stratégies de management doit permettre d'assurer une certaine continuité des activités au sein du bâtiment en période de crise, en mode dégradé, et de limiter les pertes économiques.

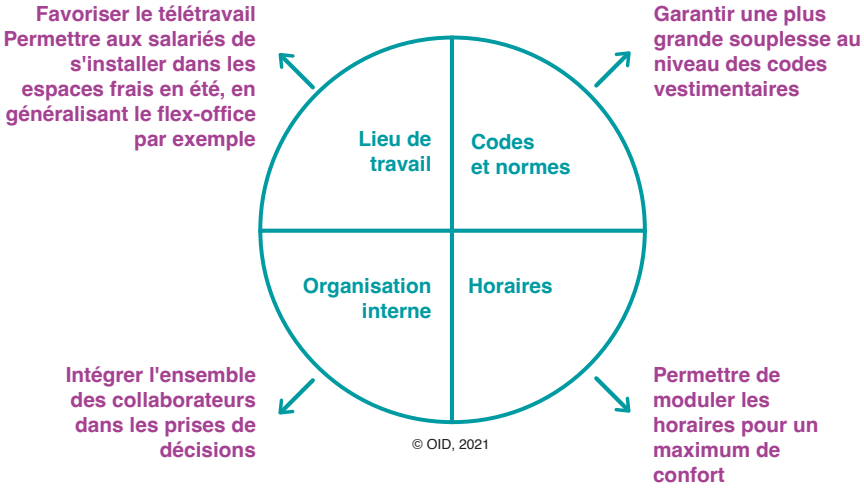
Le **stress thermique** et des **températures plus élevées** réduisent la productivité des travailleurs et augmentent le risque de fatigue, ce qui peut conduire à une possible « perte de vigilance », et accroître les **risques d'accidents de travail** (chute, collision, etc.). Parmi les travailleurs, les plus vulnérables sont ceux qui travaillent à l'extérieur, notamment ceux sur les chantiers, les exploitations agricoles, etc. Il est impératif de prendre en compte ces effets sur leurs **conditions de travail** afin de garantir leur sécurité et leur santé. D'après le *Bulletin de santé publique canicule – bilan été 2022*, sept accidents du travail mortels en lien possible avec la chaleur ont été notifiés par la Direction Générale du Travail. Ces accidents du travail mortels sont survenus principalement dans le cadre d'une activité professionnelle conduite à l'extérieur, dont 3 dans le secteur de la construction (Santé Publique France, 2022).

GUIDE DE MISE EN PLACE

L'adaptation doit être pensée à toutes les échelles d'une organisation, à la fois au niveau du management et des équipes sur le terrain. En effet, les équipes sont un levier de résilience important, garantes de la poursuite des activités en cas de crise. Pour leur permettre d'être un maillon fort de cette résilience, plusieurs pistes permettant à l'organisation de **gagner en flexibilité** peuvent être envisagées (voir schéma).

Cette plus grande flexibilité pour les collaborateurs ne signifie en rien une réduction des échanges ou une perte de visibilité sur les activités ; elle doit pour ce faire être accompagnée du développement de pratiques managériales adaptées.

INDICATIONS DE MESURES DE FLEXIBILISATION DES PRATIQUES DE TRAVAIL



D'une manière générale, l'implication des collaborateurs dans l'élaboration de la stratégie d'adaptation doit être favorisée afin de leur permettre d'identifier directement les meilleurs leviers pour améliorer leurs conditions de travail et d'être force de propositions dans la résolution de problèmes liés aux crises rencontrées, qu'elles soient climatiques, sanitaires ou autre. La résilience collective s'appuie ainsi sur **l'engagement des parties prenantes dans la stratégie d'adaptation** de l'organisation. De plus, en communiquant de manière transparente sur les risques aux occupants, les individus sont responsabilisés et se sentent impliqués dans la préservation du bâti.

FREINS ET LEVIERS

- ⊕ Apporter plus de flexibilité et de résilience dans les processus organisationnels ne signifie pas s'affranchir des modèles en place, mais consiste plutôt en une forme **d'hybridation des modes de travail** (tous les profils et postes ne sont pas adaptés à ce modèle). En effet, le cadre traditionnel de l'organisation (structure, processus de décision, ressources etc.) peut continuer à servir de repère, en laissant la possibilité d'une adaptation temporaire par les acteurs en conditions extrêmes.
- ⊕ Les nouveaux modes de travail **nécessitent la mise à disposition d'outils de connectivité** performants et accessibles par l'ensemble des employés. Pour ce faire, des formations doivent être envisagées pour éviter l'exclusion des non-initiés.
- ⊕ Il est important de s'assurer que tous les **collaborateurs disposent de conditions de travail satisfaisantes**, notamment dans le cadre du télétravail, et de proposer si ce n'est pas les cas des alternatives aux employés qui le désirent.
- ⊖ Enfin, ces évolutions ne dispensent pas de la mise en place de dispositifs de secours ou d'urgence par le gestionnaire du bâtiment ou l'organisation en place.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Surcharge de travail

La flexibilité peut parfois conduire à une surcharge de travail si les employés sont constamment sollicités, que ce soient en dehors de leurs heures de travail habituelles ou en situation de crise. Il est important de maintenir un équilibre entre la flexibilité et la charge de travail des employés pour éviter une pression accrue et l'épuisement professionnel. De plus, il est nécessaire que cela se fasse de façon concertée avec les employés, en tenant compte de leurs besoins et de leur bien-être afin de garantir un environnement de travail sain et productif.

Négligence de la préparation face aux risques climatiques

Lorsque les organisations se concentrent sur la flexibilité immédiate, elles peuvent être tentées de reporter des investissements à long terme, tels que la rénovation des infrastructures ou les actions adaptatives face aux changements climatiques. En mettant l'accent sur la flexibilité opérationnelle, les organisations peuvent négliger les risques climatiques actuels et les incertitudes de ceux à venir, augmentant ainsi leur vulnérabilité.

Report de vulnérabilité notamment en zone résidentielle

Lorsque les organisations adoptent des pratiques de travail flexibles telles que le télétravail, elles permettent à leurs employés de travailler depuis différents endroits, y compris depuis leur domicile. Cependant, travailler à domicile ou dans d'autres lieux ne garantit pas nécessairement que les employés seront moins vulnérables et/ou moins exposés aux aléas climatiques, et dans certains cas, cela peut même aggraver leur vulnérabilité. De plus, en cas de crise ou de catastrophe, les employés travaillant à domicile peuvent se retrouver isolés socialement et avoir moins d'accès à des sources d'aide et de soutien que s'ils étaient au bureau avec leurs collègues.

REPÈRES DE SUIVI

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de salariés pouvant pratiquer le télétravail (%)	A maximiser
+/− Pourcentage de salariés pouvant accéder à des espaces frais au sein du bâtiment en période estivale (%)	A maximiser
+/− Pourcentage de salariés permis de moduler leurs horaires pour un maximum de confort (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de satisfaction des collaborateurs concernant leurs conditions de travail (%)	A maximiser
+/− Pourcentage des activités dont la continuité est assurée (%)	A maximiser

RÉGLEMENTATION

- D'après l'article L4121-1 du Code du travail : « L'employeur prend les mesures nécessaires pour assurer la **sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs.** Ces mesures comprennent : 1° Des actions de prévention des risques professionnels, y compris ceux mentionnés à l'article L. 4161-1 ; 2° Des actions d'information et de formation ; 3° La mise en place d'une organisation et de moyens adaptés. L'employeur veille à l'adaptation de ces mesures pour tenir compte du changement des circonstances et tendre à l'amélioration des situations existantes. »
- D'après l'article R4121-1 du Code du travail : « L'employeur transcrit et met à jour dans **un document unique les résultats de l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs** à laquelle il procède en application de l' article L. 4121-3. Cette évaluation comporte un inventaire des risques identifiés dans chaque unité de travail de l'entreprise ou de l'établissement, y compris ceux liés aux ambiances thermiques. »
- D'après l'article R4213-7 du Code du travail : « Les équipements et caractéristiques des locaux de travail sont conçus de manière à permettre **l'adaptation de la température à l'organisme humain pendant le temps de travail**, compte tenu des méthodes de travail et des contraintes physiques supportées par les travailleurs. »

EN SAVOIR PLUS

Bégin et al. (2010), La résilience des organisations. Le cas d'une entreprise familiale

CEREMA (2020), La boussole de la résilience - repères pour la résilience territoriale

Confédération européenne des syndicats (2020), Adaptation au changement climatique et monde du travail

Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC), Entreprises pour l'Environnement (EpE) (2014), Les entreprises et l'adaptation au changement climatique

ORGANISER UNE STRATÉGIE DE REPLI TEMPORAIRE

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES



CHALEURS



TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS



FEUX DE FORÊT

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



EXPLOITATION



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



USAGES

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Les solutions de repli consistent en la mise en place de mesures alternatives visant à transférer les activités, les biens et/ou les usagers vers des emplacements différents, exempts des mêmes risques. On peut distinguer deux approches de repli. L'une, appelée stratégie de repli permanent, implique la relocalisation des activités et des biens dans le cadre de la planification territoriale pour les protéger des risques liés aux dynamiques littorales. En cas de catastrophe liée au changement climatique tels que des périodes de chaleurs intenses, des inondations, des feux de forêt ou tempêtes, l'autre approche, de nature temporaire, prévoit le déplacement momentané des usagers vers un autre lieu. Prévoir une stratégie de repli temporaire peut s'inscrire dans le cadre d'un plan de continuité d'activité (PCA). Ce plan doit permettre à un groupe (gouvernement, collectivité, institution, entreprise, hôpital etc.) de fonctionner même en cas de désastre, quitte à ce que ce soit en mode dégradé, ou en situation de crise majeure.

IMPACTS

L'organisation d'une stratégie de repli temporaire complète une stratégie d'adaptation. En effet, une telle approche permet non seulement d'**anticiper une crise majeure**, mais également de **minimiser les conséquences financières, matérielles et humaines** de cet événement tout en préservant en grande partie les capacités opérationnelles et les fonctions essentielles de l'organisation. Ce modèle d'action préparatoire permet à l'organisation de réagir de manière coordonnée et efficace en cas de perturbation majeure. Cela englobe la mise en place de structures de commandement, de canaux de communication d'urgence et de procédures de prise de décision rapide. En conséquence, la **reprise rapide des activités critiques** caractérisées par des contraintes opérationnelles complexes, tels que les hôpitaux, les EHPAD, les centres d'appels d'urgence, est facilitée, renforçant ainsi la confiance des parties prenantes. Pour les activités moins critiques, des solutions moins coûteuses, mais nécessitant un **délai de déploiement plus long**, peuvent également être envisagées.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Afin d'organiser la réponse à une crise majeure, sont différenciés :

- Un **épisode bref et brutal** (tempêtes, neiges et verglas, crues dites « éclair » etc.) : il convient de mettre en place des dispositifs de secours pour protéger les occupants (par exemple, en se dirigeant vers les zones de refuge prévues en cas d'inondation ou de vague de chaleur) et les installations, quitte à suspendre les activités en attendant la fin de l'épisode ;
- Un **épisode prolongé** (canicules, sècheresses, etc.) : en plus des mesures précédentes, il est souhaitable de maintenir ou reprendre les activités prioritaires dans un délai rapide notamment en visant à flexibiliser les pratiques d'organisation du travail ;

- Un **épisode prolongé rendant le bâtiment ou la zone inutilisable** (indisponible ou inaccessible) (crue dite « lente », méga feu, etc.) : en addition aux mesures ci-dessus, il s'agit de mettre en œuvre une stratégie de repli temporaire pour la partie du bâtiment « repliable », ou la zone « à abandonner ».

Afin de préparer une stratégie de repli, il est nécessaire de **quantifier les ressources indispensables pour assurer la reprise d'activité**, tels que les stocks à préserver, les locaux de repli nécessaires et la mise à jour des données sauvegardées. Il est également crucial d'**identifier des sites de repli disponibles non soumis ou adaptés au risque climatique** pour éviter de subir les mêmes dommages, en tenant compte de critères tels que la capacité d'accueil, la compatibilité technique et la facilité d'accès. Dupliquer les équipements adaptés aux objectifs de continuité et mettre en place des procédures de maintien d'activités depuis ces sites de repli sont également essentiels. Le transfert sécurisé des données et des applications sur des dispositifs de secours (sauvegardes/cloud), le déplacement des éléments tangibles vers les sites de repli (implantation « sœur », structure amie, prestataire privé, site public d'accueil temporaire) pérennes face aux aléas climatiques, ainsi qu'une assurance adéquate, doivent être pris en compte. Pour faciliter le repli, il est recommandé de privilégier l'utilisation de moyens nomades tels que les micro-portables, les clés USB et les téléphones portables.

Face aux inondations et aux dynamiques littorales, anticiper en situation normale le fait de concentrer les équipements et activités essentiels aux étages supérieurs, de surélever les éléments de structure d'utiliser des matériaux résistants à l'eau et d'installer des dispositifs anti-eau permet de limiter les éléments à protéger demeurant dans le bâtiment et de basculer rapidement l'activité concernée vers ces sites de replis. De la même manière, en prévision de tempêtes et de vents violents, il est essentiel de prendre des mesures pour limiter la prise au vent des équipements et fixer le mobilier d'extérieur.

L'organisation d'une stratégie de repli temporaire doit s'accompagner d'un plan pour communiquer les risques aux occupants.

FREINS ET LEVIERS

⊖ Il faut être vigilant étant donné que des fournisseurs de centres de repli ont tendance à faire du surbooking (position mutualisée) en souscrivant le même contrat avec de nombreux utilisateurs potentiels pour la même ressource. Ainsi, lors de la survenue d'aléas climatiques, ils mettent en place le principe du premier arrivé, premier servi.

⊖ Il n'y a pas de distance réglementaire entre le site inutilisable et celui de repli. Les emplacements alternatifs vers lesquels les usagers doivent se rendre doivent être relativement proches. Cela implique un arbitrage entre les risques à couvrir et la facilité d'accès.

⊖ Le repli des occupants des bâtiments peut s'effectuer vers leur domicile, lorsqu'il satisfait des conditions de confort minimales. Cela nécessite également que le logement ne soit pas exposé aux mêmes aléas climatiques.

⊕ Des camions mobiles avec bureaux ou hébergement permettent un déploiement rapide des solutions temporaires tout en conservant une flexibilité de localisation.

⊕ Les espaces communs, salles de formation, de conférence, de réunion, ou autres types de locaux d'autres bâtiments de la même organisation non touchés par le sinistre offrent des potentiels sites de repli (repli croisé).

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Surexploitation de ressources et d'énergie

La duplication des équipements dans un site de repli augmente la pression sur les ressources en matériau pour fabriquer ces équipements supplémentaires, notamment les métaux rares destinés à l'informatique, les data centers, la téléphonie, etc. Or, l'extraction, la fabrication et l'élimination de ces ressources entraînent une consommation accrue d'énergie, une production accrue de déchets, l'utilisation de produits chimiques toxiques, des émissions supplémentaires, la pollution de l'eau et du sol, une dégradation des écosystèmes et la destruction de la biodiversité. Les organisations peuvent chercher des alternatives telles que le partage d'équipements avec d'autres entités, l'utilisation de technologies virtuelles ou basées sur le cloud (tout en restant vigilantes sur l'impact de la pollution numérique), pour réduire la duplication physique des équipements, et la mise en place de mécanismes de récupération et de réutilisation des ressources pour minimiser l'impact environnemental.

Non-prise en compte des incertitudes climatiques

Il est essentiel de tester régulièrement et de mettre à jour la stratégie de repli pour qu'elle reste efficace, compte tenu de la fréquence croissante et de l'intensification prévue des épisodes d'aléas climatiques dans les années à venir d'après le GIEC. Cela permet de s'assurer que l'organisation est préparée à faire face aux défis actuels et futurs liés aux crises climatiques majeures.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- IDENTIFIER LES ALÉAS CLIMATIQUES AUXQUELS LE BÂTIMENT EST EXPOSÉ
- IDENTIFIER UN OU PLUSIEURS SITES DE REPLI PÉRENNES AUX ALÉAS CLIMATIQUES
- CARTOGRAPHIER LES ESPACES FLEXIBLES ET LEUR CAPACITÉ D'ACCUEIL AU SEIN DES DIFFÉRENTS BÂTIMENTS D'UNE MÊME ORGANISATION

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/– : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/– Délai nécessaire pour passer des installations d'origine aux sites de repli prévus (heures)	Minimiser le délai de repli autant que possible
+/– Pourcentage des ressources essentielles nécessaires à la continuité des activités critiques disponibles dans le site de repli (%)	Le pourcentage se rapproche le plus possible de 100%
+/– Comparaison du pourcentage de personnes travaillant dans le cadre d'une activité critique dont l'activité sera maintenue sans et avec le site de repli	Le site de repli doit permettre de maximiser le pourcentage de personnes pouvant maintenir leur activité essentielle
+/– Pourcentage de personnes aux activités non critiques pouvant se replier chez elle (%)	Ce pourcentage doit être maximisé
+/– Nombre annuel d'exercices de simulation avec test de la stratégie de repli	Le test de la stratégie de repli doit être fréquent
+/– Pourcentage de recommandations suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/– Comparaison entre le nombre d'interruptions d'activité résultant d'aléas climatiques avant et après la mise en place d'une stratégie de repli	Minimiser le nombre d'interruptions d'activité autant que possible
+/– Comparaison de la durée de l'interruption d'activité avant et après la mise en place d'une stratégie de repli par rapport à celle d'une situation témoin* (heures)	Minimiser la durée des interruptions d'activité autant que possible
+/– Comparaison entre les répercussions financières, matérielles et humaines par rapport à celles d'une situation témoin*	Minimiser les répercussions financières, matérielles et humaines
+/– Comparaison du temps nécessaire pour rétablir complètement les activités normales par rapport à celles d'une situation témoin* (heures)	Minimiser autant que possible le temps nécessaire pour que les activités reprennent normalement
+/– Pourcentage de satisfaction des usagers du bâtiment par rapport à la mise en œuvre de la stratégie de repli et à la continuité des activités (%)	Ce pourcentage doit être maximisé

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

EN SAVOIR PLUS

Direction Générale des Entreprises, Confédération des petites et moyennes entreprises (2015), Kit PCA à l'usage du chef d'entreprise en cas de crise majeure

Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale (2013), Guide pour réaliser un Plan de Continuité d'Activité

AMÉNAGER DES BASSINS DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

ALÉA



CHALEURS



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



FEUX DE FORÊT

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



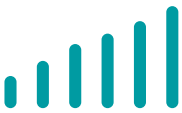
EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

Il existe plusieurs types de bassins : en eau, sec ou souterrain (voir tableau ci-dessous). La gestion des eaux de pluie par l'aménagement de bassins a pour objectif de réduire le risque inondation et désaturer les réseaux collectifs. Qu'il s'agisse de bassins à ciel ouvert ou enterrés, ils remplissent plusieurs fonctions et ont des caractéristiques différentes.

Ils peuvent être conçus afin de stocker temporairement les eaux de pluie et de ruissellement sans laisser l'eau s'infiltrer dans le sol. Les eaux collectées sont évacuées petit à petit par évaporation ou vers des exutoires à débit régulé (bassin de rétention).

Ou bien, infiltrer les eaux de pluie et de ruissellement dans le sol (bassin infiltrant ou drainant lorsque le sol n'est pas suffisamment infiltrant).

Ou encore à la fois infiltrer et stocker les eaux pluviales ruisselées. Le volume d'eau sera à la fois évacué à débit régulé vers un exutoire mais aussi infiltré dans le sol perméable (bassin mixte).

IMPACTS

Les bassins permettent de **retarder l'arrivée de l'eau**, de désengorger les réseaux d'assainissement et d'atténuer l'intensité des inondations. En effet, lors de forts évènements pluviaux, les réseaux collectifs sont saturés. En réseau unitaire, les eaux pluviales sont alors mélangées avec les eaux usées et rejetées dans le milieu naturel sans traitement. En réseau séparé, l'eau pluviale ruissèle, se charge en polluants et est rejetée dans le milieu naturel sans traitement.

Les bassins permettent de **dépolluer les eaux de pluies** ruisselées, par décantation (pour séparer les matières en suspension), ou par phytoépuration (qui fait appel aux bactéries présentes dans les systèmes racinaires des plantes pour épurer).

En cas de réemploi des eaux pluviales, ils constituent un facteur de résilience en **diminuant la dépendance des territoires** aux réseaux d'eau qui sont susceptibles d'être endommagés durant un épisode climatique violent. Ils peuvent également s'avérer très utiles en cas de feux.

Les bassins secs végétalisés participent à **l'amélioration de la qualité l'air** et les bassins en eau permettent de rafraîchir les zones alentours et d'accueillir la biodiversité locale.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Il existe trois types de bassins de gestion des eaux pluviales. Les caractéristiques, avantages et inconvénients de chaque système sont résumés dans le tableau ci-dessous.

	CARACTÉRISTIQUES	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
BASSIN SEC	• Ne contient pas d'eau en temps normal • Est recouvert de végétation ou d'une géomembrane étanche	• Peut être aménagé afin de servir à d'autres usages (terrain de jeux, parking, etc.) en dehors des périodes d'utilisation	• Nettoyage nécessaire des dépôts après utilisation • Occupation d'espace • Risque d'inconfort lié aux odeurs
BASSIN EN EAU	• Plan d'eau permanent • Installation d'une géomembrane étanche surtout pour les bassins de taille limitée	• Rafraîchit les zones environnantes • Présence d'un écosystème aquatique • Atout paysager • Possibilité de réemployer les eaux pluviales collectées	• Occupation d'espace • Risque de prolifération d'insectes et d'amphibiens • Risque d'inconfort lié aux odeurs
BASSIN ENTERRÉ	• Ne contient pas d'eau en temps normal • Ouvrage de stockage souterrain	• Pas d'utilisation d'espace • Ouvrage discret • Possibilité de réemployer les eaux pluviales collectées	• Plus coûteux que les bassins à ciel ouvert • Difficultés d'accessibilité et d'entretien

FREINS ET LEVIERS

⊖ Parce qu'ils nécessitent une **surface foncière importante**, les bassins non-enterrés sont surtout adaptés aux milieux péri-urbains ou ruraux.

⊕ Ce dispositif est le plus **souvent mis en place à l'échelle territoriale**. A l'échelle du bâtiment, d'autres solutions de stockage des eaux pluviales comme une toiture végétalisée ou une citerne de récupération des eaux de pluies permettent de lutter contre les inondations.

⊕ Dans un contexte où les ressources en eau se font de plus en plus rares, la mise en place d'un bassin peut permettre, par le réemploi des eaux pluviales, de **diminuer la consommation en eau potable**. La mise en place de bassins peut également s'inscrire dans une stratégie de rafraîchissement par l'eau.

⊕ Il n'existe à ce stade aucune obligation réglementaire à l'échelle nationale pour assurer la sécurité de ces ouvrages. Selon l'article 1384 du code civil leur sécurité relève en effet de leurs propriétaires. Certains bassins sont soumis à la rubrique 2.1.5.0. « Rejets d'eaux pluviales » du code de l'environnement.

! MALADAPTATION

Les bassins, qu'ils soient en eau, à sec ou souterrains, présentent des caractéristiques variables et répondent à des usages différents selon qu'ils sont de type infiltrant, drainant, de rétention ou mixte. Selon leur usage, tout ou partie de l'eau peut être collectée et réemployée ou infiltrée dans les sols.

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

La pollution des nappes phréatiques

L'infiltration locale est à privilégier puisque c'est la solution qui s'approche le plus du cycle naturel de l'eau. Cependant, si l'eau acheminée a ruisselé sur des zones polluées comme des routes, il y a un risque de pollution les sols et la nappe phréatique lors de l'infiltration. La **conception du moyen d'acheminement** doit donc faire l'objet d'une attention particulière. Dans le cas d'une pollution modérée, les plantes semi-aquatiques (massettes, roseaux, iris, etc.), peuvent être plantées pour leur pouvoir remédiatif. Si l'eau est trop fortement polluée, il faudra privilégier des bassins imperméables, dont l'eau est évacuée vers un système de traitement.

Modification du cycle naturel de l'eau

Dans le cas d'une imperméabilisation des bassins de rétention (à l'aide d'une géo-membrane ou d'un sol naturellement imperméable), une partie de l'eau tamponnée peut alors être collectée et réemployée tandis que le reste sera rejeté vers l'exutoire. Dans cette configuration, il y a un risque qu'en ne restituant pas l'eau au milieu naturel à proximité, **les nappes phréatiques locales n'aient plus la capacité de se recharger** correctement. Dans ce cas, les évènements de sécheresses risquent d'être localement plus intenses et plus longs. C'est pourquoi il est primordial de trouver un équilibre entre prélèvements et la quantité restituée au milieu naturel.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- FAVORISER LES BASSINS PERMÉABLES ET VÉGÉTALISÉS LORSQUE LES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES, PHYSIQUES ET TECHNIQUES SONT RÉUNIES
- DANS LE CAS D'UN BASSIN SEC PRÉVOIR UN USAGE LORSQUE LE BASSIN N'EST PAS EN EAU (ACCUEIL DE BIODIVERSITÉ EN LAISSANT L'ESPACE EN LIBRE ÉVOLUTION, ESPACE DE LOISIR, SPORT, CULUREL, ETC.)
- MENER UNE CAMPAGNE DE SENSIBILISATION POUR EXPLIQUER LES AVANTAGES DES BASSINS DE GESTION DES EAUX PLUVIALES
- RENDRE ACCESSIBLE L'ESPACE AU PUBLIC

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/- : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/- Capacité du bassin (m^3)	A maximiser
+/- Débit de fuite ($l/s.m^2$) (voir repères de suivi)	-
+/- Capacité d'infiltration du sol (mm/h)	A maximiser dans le cas d'un bassin infiltrant
+/- Pourcentage de recommandation essentielle suivies (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/- Nombre d'évènements dans l'année où la capacité du bassin est trop faible pour endiguer l'évènement pluvial	A minimiser
+/- Pour les bassins secs, nombre de jours en eau dans l'année	-
+/- Part des eaux pluviales collectées réemployées (%)	Equilibre entre réemploi et rejet au milieu naturel
+/- Part des eaux pluviales rejetées au milieu naturel (%)	Equilibre entre réemploi et rejet au milieu naturel
+/- Comparaison entre la température de l'espace à proximité du bassin et celle sur un espace témoin* (°C)	Température de l'espace à proximité du bassin < température sur l'espace témoin
+/- Pour un espace ouvert au public, nombre d'usagers moyen par jour suivant la saison	Equilibre entre lieu de bien-être pour les usagers et nuisances pour la biodiversité

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

NOTION / DÉFINITION

Les méga-bassines, de quoi parle-t-on ?

Les méga-bassines sont de gigantesques ouvrages de stockage d'eau (8 hectares en moyenne et plusieurs milliers de mètres cubes), destinées à répondre aux besoins de l'agro-industrie, notamment en période estivale. La création de ces réservoirs nécessite de creuser un cratère dans le sol qui détruit entièrement les sols (support de biodiversité et des cycles naturels : oxygènes, carbone, matière organique, nutriments, etc.) et d'y installer une bâche qui permettra de stocker l'eau sans qu'elle s'infiltre. Le cycle de l'eau nécessaire au bon fonctionnement des écosystèmes et à la disponibilité en eau potable est alors brisé. Les eaux pluviales ne suffisent pas à remplir de tels ouvrages. Durant l'hiver, de l'eau est pompée depuis les nappes phréatiques et les cours d'eau, accentuant la pression sur ces ressources et modifiant d'autant plus le cycle naturel de l'eau.

L'eau courante une fois stockée dans la bassine, devient stagnante. Une partie importante est alors évaporée (entre 20 et 60 % du volume total) et la qualité de l'eau est altérée notamment par eutrophisation (processus par lequel des nutriments s'accumulent, engendrant une croissance excessive des plantes et des algues).

Les méga-bassines peuvent répondre aux besoins en eau de l'agriculture pendant quelques sécheresses, néanmoins, les prélèvements sont nettement supérieurs à la capacité de recharge des nappes phréatiques pompées. C'est une solution qui n'est pas durable et ne fait que retarder les répercussions des prochaines sécheresses qui seront plus longues et plus intenses du fait que les nappes phréatiques ne seront pas rechargées.

Le recours aux méga-bassines pose une problématique sur les conflits d'usages et de la privatisation de la ressource en eau.

Il ne faut pas confondre méga-bassines et bassins de rétention ! Contrairement aux méga-bassines, les bassins de rétention ne pompent pas d'eau pour un usage ultérieur et les quantités d'eau n'étant pas restituées directement au milieu naturel sont très faibles en comparaison au méga-bassines. L'objectif est de tamponner l'eau afin réduire le risque d'inondation.

EN SAVOIR PLUS

Grand Lyon (2008), Fiche n°5 : Bassin de rétention et / ou infiltration

Wallonie environnement SPW (2023), Référentiel - Gestion durable des eaux pluviales

DIMENSIONNER LA GESTION DES EAUX PLUVIALES SUR LA PARCELLE

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT



ENVELOPPE



EXTERIEURS



REZ-DE-CHAUSSÉE

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Veiller à une bonne gestion de l'eau nécessite d'anticiper les chemins d'écoulement de l'eau sur le bâtiment et la parcelle lors de fortes précipitations. La réalisation d'un schéma hydraulique lors de la conception du bâtiment doit permettre de mieux appréhender cet enjeu, en décrivant les processus de ruissellement des eaux depuis les surfaces de collecte, en passant par les dispositifs de gestion des eaux jusqu'à leur évacuation finale.

IMPACTS

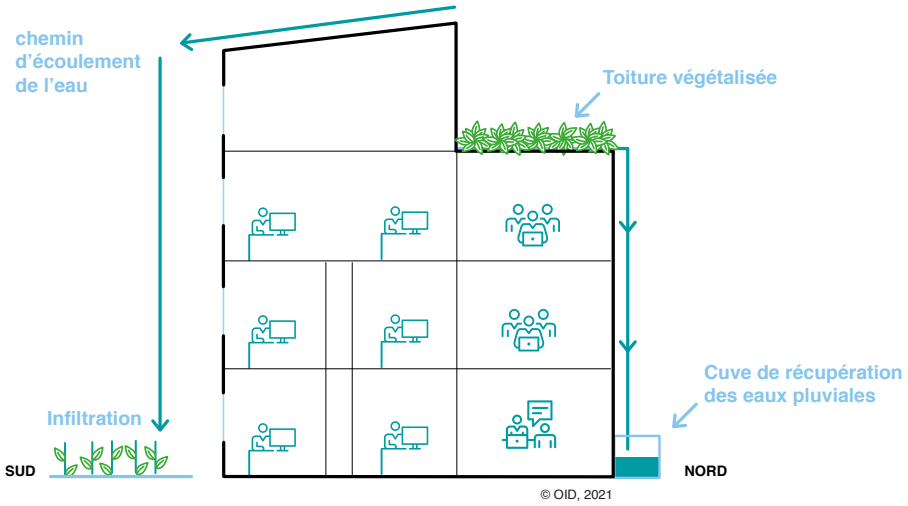
Depuis plusieurs décennies, la gestion des eaux pluviales, parce qu'elle a été prise en charge par les pouvoirs publics, n'est plus vraiment considérée comme un enjeu par les acteurs de l'immobilier. Pourtant, en cas de fortes précipitations, les réseaux d'évacuation d'eau peuvent rapidement se retrouver submergés du fait de l'**afflux des eaux de pluie et de ruissellement**. La conception d'un schéma hydraulique optimal permet d'envisager une gestion des eaux pluviales à l'échelle du bâti et d'éviter l'**engorgement des réseaux** et donc de diminuer le risque d'inondation sur le bâtiment et la parcelle. Cette stratégie permet d'accroître la résilience collective d'un quartier, d'une ville ou d'un territoire.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Les eaux de ruissellement empruntent sur le bâtiment un **chemin hydraulique défini par l'architecture**. Le secteur du bâtiment, confronté à ces problématiques depuis longtemps, a développé un certain savoir-faire quant aux dispositifs de gestion des eaux pluviales sur les couvertures de bâtiments. Ces dispositifs comprennent des éléments tels que les gouttières, les chéneaux et les tuyaux d'évacuation. Ceux-ci sont regroupés dans un Document Technique Unifié (DTU 40.5) qui établit des normes de mise en œuvre spécifiques pour chaque élément, guidant ainsi l'exécution des travaux liés à l'évacuation des eaux pluviales. Toutefois, la stratégie consiste aujourd'hui principalement à rediriger l'eau vers les dispositifs d'évacuation et **ne favorise pas le développement d'une réflexion à l'échelle de la parcelle**.

Les dispositifs tels que la récupération des eaux pluviales et l'installation d'une toiture végétalisée, réduisent la quantité d'eau de ruissellement lors de fortes pluies. **L'évacuation de l'eau doit être pensée à l'échelle du bâtiment** (à l'intérieur du bâtiment par les systèmes de ventilation et de pompage), et **à l'échelle de la parcelle** (végétaliser les abords du bâtiment, désimperméabiliser les sols et aménager des bassins , une parcelle éponge ou encore un jardin de pluie, etc.), afin de tendre vers un **débit de fuite à l'exutoire le plus faible possible.** Cette réflexion globale a pour but de limiter l'afflux d'eau dans les réseaux collectifs d'évacuation. Il est recommandé de se référer aux autorités locales pour obtenir des informations sur les capacités des réseaux d'assainissement locaux.

SCHÉMA HYDRAULIQUE DE L'ÉCOULEMENT DES EAUX PLUVIALES ET DES POINTS D'INFILTRATION SUR LE BÂTIMENT



FREINS ET LEVIERS

- Les collectivités, de plus en plus exposées aux périodes de fortes précipitations, commencent à **fixer des seuils de débit d'écoulement pour les nouveaux raccordements** aux réseaux collectifs. Avec la multiplication des épisodes extrêmes, ces pratiques vont avoir tendance à se généraliser.
- En **milieu urbain**, la densité des bâtiments limite les espaces disponibles pour l'infiltration des eaux de pluie dans les sols. Les **stratégies sur bâti** (toiture végétalisée, cuve de récupération, etc.) peuvent plus facilement s'appliquer.
- Dans les immeubles de grande hauteur, l'eau récupérée peut notamment servir pour **alimenter les dispositifs de sécurité incendie par écoulement gravitaire** situés en hauteur (Tour Evasion 2000, 75015 PARIS).
- Le ruissellement des eaux sur le bâtiment peut **favoriser l'accumulation de particules polluantes** (particules organiques, hydrocarbures, métaux lourds, amiante, etc.), qui se retrouveront ensuite dans les sols. Pour éviter ces rejets, un **entretien régulier** des dispositifs doit être prévu sur le bâtiment, à la charge d'une équipe clairement identifiée.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Pollution liée au lessivage

Le lessivage par les eaux pluviales est un processus par lequel l'eau de pluie érode ou emporte des particules, des sédiments, des polluants et d'autres substances des surfaces exposées vers le sol ou les systèmes de drainage. Par conséquent, lorsque la pluie tombe sur des surfaces (toits, routes, parkings, etc.), il existe un risque de pollution des sols, des cours d'eau locaux, des nappes phréatiques et de l'écosystème local.

Inadéquation du dimensionnement au changement climatique

En raison du changement climatique, il est probable que la fréquence et l'intensité des événements pluvieux extrêmes augmentent. Par conséquent, il est impératif de prendre en compte cette évolution dans le dimensionnement de la gestion des eaux pluviales, telle qu'elle est prédite par les modèles climatiques avec les incertitudes associées, afin de garantir son efficacité et d'éviter un report de vulnérabilité temporel.

Déviation des eaux

Lorsque les systèmes de gestion des eaux pluviales sur une parcelle sont inadéquats ou mal dimensionnés, l'eau de pluie peut être déviée vers d'autres parties du site ou des bâtiments voisins non protégés. Cela peut surcharger les systèmes d'assainissement locaux, affecter les écosystèmes environnants et augmenter le risque d'inondation dans ces zones. Ce report de vulnérabilité peut également entraîner des répercussions sur les bâtiments (structure, matériaux de construction, etc.), les infrastructures, les terres agricoles et les équipements environnants. Une gestion efficace de ces risques nécessite une approche globale et intégrée, incluant la coordination avec les propriétaires voisins et les autorités locales.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

RÉALISER UN SCHÉMA HYDRAULIQUE LORS DE LA CONCEPTION DU BÂTIMENT

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Capacité d'infiltration du sol (mm/h)	-
+/− Surface imperméabilisée équivalente (m^3)	A minimiser
+/− Coefficient d'imperméabilisation de la parcelle	A minimiser
+/− Volume d'eau à gérer (m^3)	-
+/− Pourcentage du volume abattu par infiltration dans le sol de surface de la parcelle (%)	A maximiser, en priorité
+/− Pourcentage du volume abattu par toitures végétalisées du bâtiment (%)	A maximiser, en solution secondaire
+/− Pourcentage du volume abattu par stockage par des bassins de gestion des eaux pluviales de récupération sur la parcelle (%)	A maximiser, en solution tierce

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage d'eaux pluviales s'écoulant à l'exutoire (%)	A minimiser
+/− Comparaison entre le débit de fuite à l'exutoire et celui autorisé par le réseau collectif d'évacuation, lors de fortes pluies (L/s)	Débit de fuite à l'exutoire < Débit autorisé par le réseau collectif d'évacuation
+/− Comparaison du débit de fuite à l'exutoire de la parcelle après opération de désimperméabilisation par rapport à une situation témoin*	Débit de fuite à l'exutoire de la parcelle après opération < Débit de fuite de la situation témoin*
+/− Comparaison du coefficient d'imperméabilisation de la parcelle avant et après opération de désimperméabilisation	Coefficient d'imperméabilisation après opération < Coefficient d'imperméabilisation avant opération

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

NOTION / DÉFINITION

- **Capacité d'infiltration du sol :** vitesse d'infiltration de l'eau à la surface, c'est à dire le débit d'infiltration d'un sol par unité de surface. Ce paramètre décroit avec l'augmentation de la teneur en eau du sol jusqu'à tendre vers la valeur de la conductivité hydraulique du sol considérée.
- **Surface imperméabilisée équivalente :** somme des différentes surfaces aménagées, pondérées par leur coefficient de ruissellement (rapport entre hauteur d'eau ruisselée et hauteur d'eau précipitée)
- **Coefficient d'imperméabilisation de la parcelle :** Rapport entre la surface imperméabilisée équivalente et la surface totale de la parcelle, en tenant compte de l'ensemble des surfaces imperméabilisées (toitures et aménagements des voiries, des parkings, des accès et des abords).
- **Volume d'eau à gérer :** volume de la pluie qui ruisselle sur les surfaces imperméables et qui devra être interceptée pour être infiltrée, évapotranspirée ou évacuée à débit régulé vers un exutoire.
- **Volume abattu :** volume non rejeté au réseau d'assainissement d'une lame d'eau (mesure de la hauteur d'eau cumulée par 24 heures) pluviale appliquée à une surface de référence. Ce volume doit être abattu, c'est-à-dire récupéré en totalité sur les terrains concernés, dans un délai maximal de 24 heures.
- **Débit de fuite à l'exutoire :** quantité d'eau de pluie redirigée rejetée hors de la parcelle pendant et après l'évènement pluvieux vers les réseaux d'assainissement.

EN SAVOIR PLUS

CEREMA, DREAL et Agence de l'eau (2017), Vers la ville perméable – Comment désimperméabiliser les sols ?

Guide bâtiment durable Brussels (2013), Gérer les eaux pluviales sur la parcelle

Mairie de Paris, Direction de la propreté de l'eau, Service technique de l'eau et de l'assainissement (2018), Guide d'accompagnement pour la mise en œuvre du zonage pluvial

Métropole de Lyon, Parapluie - Pour un Aménagement RAisonné Permettant L'Utilisation Intelligente de l'Eau

FAVORISER L'AUTOCONSOMMATION ÉLECTRIQUE

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES



TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



EXPLOITATION

PARTIE DU BÂTIMENT



ENVELOPPE

COÛT

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



élevé

L'autoconsommation électrique est une démarche qui vise à couvrir par une production locale tout ou partie de sa consommation d'électricité ; producteur et consommateur sont donc la même entité. Elle peut s'appréhender à l'échelle individuelle, avec un seul producteur et consommateur, ou à l'échelle collective, en rassemblant plusieurs producteurs et consommateurs dans la limite de 3 MW de puissance et 2 km (20 km sur autorisation). S'il est beaucoup question d'autoconsommation électrique, cette pratique peut aussi s'appliquer à d'autres enjeux par analogie, notamment les réseaux d'eau ou encore l'approvisionnement alimentaire (production locale).

IMPACTS

Le changement climatique, parce qu'il renforce l'intensité et la fréquence des aléas climatiques tels que les inondations, les tempêtes ou les vagues de chaleur, accroît les risques de défaillance ou de coupure sur les réseaux. Mettre en place un dispositif d'autoconsommation électrique permet de **réduire la dépendance du bâtiment** aux réseaux énergétiques, renforçant leur résilience en temps de crise. Il s'agit alors de garantir un niveau d'approvisionnement suffisant pour maintenir les activités essentielles en mode dégradé, y compris l'alimentation des serveurs, l'éclairage et la climatisation. De plus, l'autoconsommation photovoltaïque réduit la dépendance financière des bâtiments, les protégeant contre les fluctuations des coûts de l'électricité, surtout en période de crise énergétique.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Qu'elle soit pensée à l'échelle du bâtiment ou à l'échelle du quartier, l'autoconsommation électrique doit être dimensionnée de telle sorte à **assurer le niveau de consommation de base du bâtiment, à l'aide d'une source d'énergie renouvelable identifiée selon les caractéristiques du territoire** : le photovoltaïque, l'éolien, la géothermie, ou encore la biomasse. Le dimensionnement de l'installation est essentiel : l'objectif n'est pas d'assurer l'autonomie complète du bâtiment, qui nécessiterait un dimensionnement capable de subvenir aux besoins en permanence même lors des pics de consommation occasionnels, mais un **niveau d'électricité suffisant pour assurer une poursuite des activités en mode dégradé** en cas de crise. Il est donc recommandé de faire appel à un bureau d'études techniques spécialiste de la question.

Du fait de l'intermittence de la production (dépendance aux conditions météorologiques), un dispositif de stockage peut être envisagé pour différer la consommation de l'électricité produite. Toutefois, **certains usagers ont un profil de consommation particulièrement adapté à la production photovoltaïque** ; c'est notamment le cas des **bâtiments tertiaires**, qui ont un besoin en électricité important en période de forte chaleur (pour le rafraîchissement) et pendant la journée (pour l'alimentation des serveurs, matériel de bureautique, bornes de recharge de véhicules électriques, etc.).

Pour les centrales photovoltaïques, une **maintenance annuelle** pour vérifier le bon état de fonctionnement de l'installation doit être prévue, ainsi que des interventions supplémentaires de dépoussiérage des panneaux. Si la durée de vie de la centrale est garantie jusqu'à 25 voire 30 ans, les onduleurs, qui convertissent le courant continu

des modules photovoltaïques en courant alternatif identique à celui du réseau, doivent être renouvelés tous les 8-12 ans.

En cas de projet sur un bâtiment existant, il est important de **mener une étude de faisabilité** en amont, notamment pour identifier d'éventuels surcoûts liés à l'installation des nouveaux réseaux (cheminement du câble, espace disponible pour les dispositifs de sécurité etc.).

FREINS ET LEVIERS

- ⊕ La loi du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables apporte un nouvel élan à la transition énergétique et environnementale notamment en simplifiant les procédures d'autorisation des projets d'énergies renouvelables et en mobilisant les espaces déjà artificialisés pour le développement des énergies renouvelables.
- ⊕ Le **tiers financement**, autorisé depuis 2019, peut rendre possible une opération sans toutefois nécessiter l'investissement initial qui peut être dissuasif.
- ⊖ L'installation d'une centrale photovoltaïque intégrée à la toiture limitant l'accès aux **couches d'étanchéité** situées en dessous, son installation doit être programmée selon le calendrier de renouvellement des matériaux d'étanchéité.

EN SAVOIR PLUS

ADEME Île-de-France, EnR'CHOIX - le bon choix thermique pour votre territoire

Collectif Energies Renouvelables pour tous (2019), Pour un développement réel de l'autoconsommation collective

Direction Générale de l'énergie et du climat (DGEC) (2014), Rapport sur l'autoconsommation et l'autoproduction de l'électricité renouvelable

OID (2020), Autoconsommation électrique, Enjeux et pistes de valorisation

OID (2022), Autoconsommation photovoltaïque, accélérer son déploiement en France

Office Franco-Allemand de la Transition Energétique (OFATE), BTCG avocats (2018), Le développement des centrales photovoltaïques au sol en France

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Réduction de la production photovoltaïque lors de températures élevées

Les panneaux solaires photovoltaïques sont sensibles à la température, ce qui peut entraîner une réduction de leur efficacité lorsque les températures augmentent. Cela peut poser des problèmes, notamment lors de vagues de chaleur, car les journées chaudes sont souvent associées à une demande accrue d'électricité pour la climatisation, créant ainsi une demande plus élevée au moment où la production est moins performante.

Effet rebond

Le succès du développement de l'autoconsommation est fortement tributaire de l'évolution des comportements. L'objectif global reste la réduction de la consommation énergétique, tout en évitant l'effet rebond qui pourrait annuler les gains en efficacité énergétique en raison d'une utilisation accrue. De plus, l'adoption d'énergies renouvelables ne doit pas justifier l'utilisation de systèmes énergivores, notamment pour le chauffage et la climatisation.

Incidences négatives sur la biodiversité

L'installation de systèmes de production d'énergie électrique renouvelable peut, selon plusieurs facteurs tels que le type de technologie, l'emplacement, et la gestion des projets, engendrer des répercussions négatives sur la biodiversité. Les différentes technologies d'énergie renouvelable peuvent entraîner des changements dans les écosystèmes et contribuer à la perte de biodiversité (Gasparatos et al., 2017).

Pression accrue sur les métaux rares

La transition vers des énergies électriques renouvelables, comme les panneaux solaires, les éoliennes, engendre une demande croissante de métaux rares, essentiels à leur fabrication. Cela conduit à l'extraction de métaux rares, entraînant la déforestation, la pollution de l'eau et des sols, une consommation d'énergie élevée et des conflits liés à l'accès à ces ressources.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- IDENTIFIER LES SOURCES D'ÉNERGIE RENOUVELABLE SELON LES CARACTÉRISTIQUES DU TERRITOIRE
- FAIRE APPEL À UN BUREAU D'ÉTUDES TECHNIQUES SPÉCIALISTE
- MENER UNE ÉTUDE DE FAISABILITÉ EN AMONT POUR LES BÂTIMENTS EXISTANTS

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/- : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/- Puissance électrique autoproduite (kWc)	A maximiser
+/- Puissance électrique autoconsommée (kWc)	A maximiser
+/- Pourcentage de toitures équipées de panneaux photovoltaïques (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
★ Capacité à poursuivre des activités (éclairage, besoins en rafraîchissement etc.) en mode dégradé en cas de crise	Maintien des activités en mode dégradé
+/- Taux d'autoproduction (%)	A maximiser
+/- Taux d'autoconsommation (%)	A maximiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

NOTION / DÉFINITION

- **Taux d'autoproduction :** part de la consommation couverte par la production locale. Un taux d'autoproduction de 50 % signifie que 50 % des consommations électriques sont couvertes par l'installation.
- **Taux d'autoconsommation :** part d'électricité produite effectivement consommée sur le site de production. Un taux d'autoconsommation de 30 % signifie que 30 % de l'électricité produite est consommée sur site, et que le reste est rebasculé sur le réseau.

RÉGLEMENTATION / CRITÈRE

- D'après l'article 40 de la loi du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables, les parcs de stationnement extérieurs d'une **superficie supérieure à 1 500 mètres carrés** sont équipés, sur au moins la moitié de cette superficie, d'ombrières intégrant un procédé de production d'énergies renouvelables sur la totalité de leur partie supérieure assurant l'ombrage.
- D'après l'article 43 de la loi du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables, certains bâtiments ou parties de bâtiments ayant une **emprise au sol au moins égale à 500 mètres carrés** doivent intégrer soit un procédé de production d'énergies renouvelables, soit un système de végétalisation basé sur un mode cultural ne recourant à l'eau potable qu'en complément des eaux de récupération, garantissant un haut degré d'efficacité thermique et d'isolation et favorisant la préservation et la reconquête de la biodiversité, soit tout autre dispositif aboutissant au même résultat.
- Le Conseil adopte en octobre 2023 la nouvelle directive sur les énergies renouvelables visant à porter la part des énergies renouvelables dans la **consommation énergétique globale de l'UE à 42,5 % d'ici 2030**, avec un objectif indicatif supplémentaire de 2,5 % ayant pour but de permettre d'atteindre l'objectif de 45 %. Les nouvelles règles fixent à titre indicatif **un objectif d'au moins 49 % d'énergies renouvelables dans les bâtiments en 2030.**


Toiture de l'Hôtel des Postes, Nantes

ILS L'ONT TESTÉ POUR VOUS

POST-IMMO

POSTE IMMO

BÂTIMENT : HÔTEL DES POSTES, NANTES
SUPERFICIE : 32 000M², 5 ÉTAGES
USAGE : TERTIAIRE
COÛT : 230 000 – 260 000€

La réalisation d'importants travaux de rénovation sur le bâtiment de l'Hôtel des postes localisé au cœur de Nantes a permis à Poste-immo d'intégrer à la toiture une centrale photovoltaïque de 1 400 m² pour une puissance de 256 kWc. Avec un dimensionnement contraint par l'espace disponible et l'ombre projetée d'un immeuble de grande hauteur voisin, le dispositif permet de satisfaire 13 % des besoins énergétiques du bâtiment, et 95 % de l'électricité produite est consommée directement sur place. Ce taux d'autoconsommation élevé résulte de la synergie entre les pics de production et de consommation pour ce bâtiment tertiaire. Situé sur un bâtiment historique, le projet a eu du mal à être accepté et a d'abord été écarté par l'Association Nationale des Architectes des Bâtiments de France pour des raisons esthétiques. La centrale a finalement pu être installée en optant pour des panneaux « full black » noirs qui ont permis de garantir sa discrétion. La centrale permet de sécuriser entre 24 000 et 25 000€ de charges annuelles, et sera rentabilisée au bout d'une période de 12 à 14 ans, avec une durée de vie de l'installation photovoltaïque garantie pour 25 ans.

FIXER LE MOBILIER D'EXTÉRIEUR

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



DYNAMIQUES LITTORALES



FEUX DE FORÊT

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION



EXPLOITATION



TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT



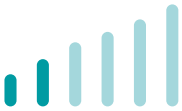
EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible moyen élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



faible

On parle de mobilier d'extérieur pour décrire tous les éléments d'ameublement et d'équipement conçus pour une utilisation en extérieur. Ce terme global englobe à la fois le mobilier urbain et le mobilier destiné aux espaces extérieurs privés. Le mobilier urbain se réfère à tous les éléments d'équipement et d'ameublement dans les espaces publics d'une zone urbaine (bancs, abribus, etc.), tandis que le mobilier extérieur concerne spécifiquement ceux destinés à une utilisation en extérieur (tables de jardin, chaises de terrasse, etc.), qu'elle soit publique ou privée.

IMPACTS

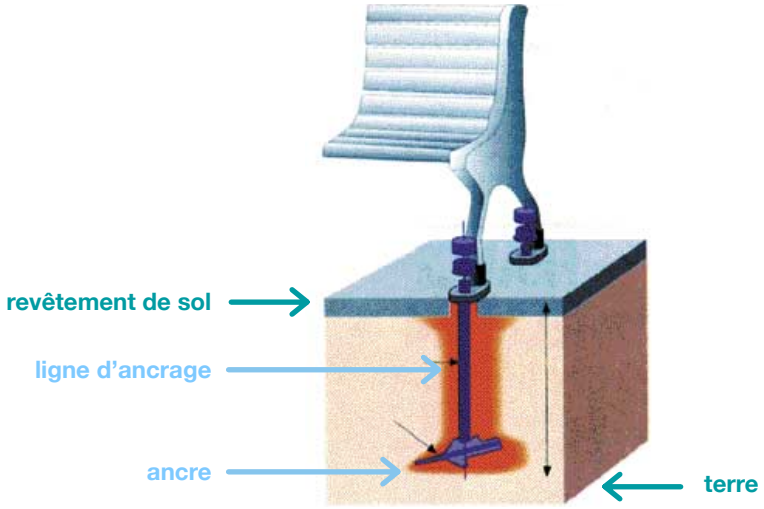
Lorsque les éléments de mobilier d'extérieur ne sont pas solidement ancrés au sol, ils sont vulnérables lors de conditions climatiques extrêmes. La force des courants ou des vents, notamment lors d'inondations, de submersions marines ou de tempêtes, a la puissance de les arracher et de les emporter. De graves **dommages humains** (blessés ou morts) et **matériels** (endommagement de véhicules, de bâtiments, etc.) peuvent être causés par ces éléments mobiliers déplacés de manière violente. L'**endommagement des réseaux et des infrastructures**, susceptible de déclencher une série d'effets en cascade de la catastrophe et une désorganisation générale, engendre également un risque pour la collectivité.

L'ensemble des dégradations peut retarder le retour à la normale et compromet la résilience d'un territoire. Ancrer le mobilier urbain s'inscrit dans une stratégie d'anticipation de gestion de crise plus large car ce dispositif permet également de protéger les réseaux en s'assurant qu'un objet ne viendra pas **perturber leur bon fonctionnement** (câbles arrachés, objet en travers de la route, etc.), voire provoquer leur **arrêt** (télécommunication, réseaux d'alimentation en énergie, etc.). Par ailleurs, la détérioration voire la disparition de signalisation peut causer des difficultés d'orientation tant pour les individus que pour les services de secours.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Fixer le mobilier d'extérieur est un dispositif de prévention qui peut être mis en place à la fois à l'échelle du territoire par les autorités locales, telles que les mairies ou les communautés de communes, mais également à l'échelle du bâtiment, où on veillera également à réduire la prise au vent des équipements du bâti. Cela peut être combinée à des procédures de mise en sûreté du mobilier d'extérieur amovible.

ILLUSTRATION DU SCELLEMENT PAR FORAGE D'UN BANC



Source : Technicontact

Trois principaux types de dispositifs de fixation du mobilier extérieur existent :

- **Scellement par béton ou mortier** : il s'agit de creuser un trou à chaque point d'ancrage du mobilier puis de combler ce trou par du béton ou du mortier. Cette méthode d'ancrage est longue (plusieurs heures).
- **Scellement par forage** : il s'agit d'effectuer un forage du sol afin d'y insérer une tige avec un ancrage fixé au bout. Le mobilier est maintenu solidement grâce à la compression du sol entre l'ancre du fond et le pied de l'équipement. Cette méthode permet de fixer le mobilier urbain en quelques minutes et de ne pas abîmer le revêtement existant.
- **Scellement par vis** : il s'agit de visser un dispositif de fixation directement dans le sol sans avoir recours au béton ou au forage. Cette méthode est également rapide et sans dommage pour le revêtement existant.

FREINS ET LEVIERS

⊖ Fixer le mobilier d'extérieur permet de le rendre inamovible de manière pérenne, ce qui peut être problématique s'il n'a pas été installé après un **diagnostic approfondi des besoins réels et des usages**. Dans ce cas, cela peut se révéler être un investissement coûteux et superflu. La planification et la conception des éléments de mobilier d'extérieur fixes doivent prévenir tout impact négatif sur la mobilité et l'utilisation sociale de l'espace public.

⊕ Ce dispositif permet également de se **prémunir des dégradations** volontaires ou involontaires liées à l'activité humaine.

! MALADAPTATION

Lorsqu'il est nécessaire de creuser des trous pour stabiliser le mobilier extérieur, cela peut entraîner des **répercussions négatives sur l'environnement et la biodiversité locale**. Le creusement endommage la couche superficielle du sol qui abrite des micro-organismes essentiels à la santé du sol. Il perturbe la structure du sol, ce qui peut entraîner des problèmes d'absorption d'eau et induire des inondations. Il altère la composition chimique du sol et perturbe les habitats naturels des espaces animales ou végétales. De plus, l'installation de barrières ou de clôtures pour fixer le mobilier crée des obstacles pour la faune, entravant leurs mouvements naturels et affectant leurs comportements de migration, de reproduction et de recherche de nourriture. Pour minimiser ces conséquences néfastes, des pratiques respectueuses de l'environnement sont essentielles lors de l'installation du mobilier extérieur, en prenant en compte la faune et la flore locales ainsi que le sol et en utilisant des méthodes et des matériaux appropriés pour préserver les écosystèmes environnants.

REPÈRES DE SUIVI

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage de mobilier extérieur fixé sur la parcelle (%)	A maximiser en cohérence avec l'usage de l'espace public
+/− Pourcentage de mobilier extérieur amovible soumis à des protocoles de mise en sécurité (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Nombre d'équipements extérieurs emportés lors d'épisodes climatiques violents	A minimiser
+/− Dégâts financiers, matériels et/ou humains causés par des équipements extérieurs emportés lors d'épisodes climatiques violents	A minimiser

EN SAVOIR PLUS

Bayo's, Solutions de fondation pour la pose de mobilier urbain

Le Moniteur (2000), Des fondations sans béton pour mobilier urbain

Weber, Sceller du mobilier urbain

METTRE EN PLACE UN MAILLAGE EFFICACE DES RÉSEAUX

ALÉA


PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS


DYNAMIQUES LITTORALES


SÉCHERESSES


CHALEURS


FEUX DE FORÊT


TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE


CONSTRUCTION


RÉNOVATION


TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT


EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible moyen **élevé**

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS


élevée

Le maillage des réseaux consiste à mettre en place des interconnexions au sein d'un même réseau ou entre plusieurs réseaux de même type afin d'assurer une meilleure sécurité d'alimentation du secteur desservi. L'idée est d'améliorer la résilience des réseaux en créant une diversité des chemins, des nœuds, des points d'alimentation et éventuellement des sources d'énergie.

Bien que l'utilisation la plus courante du maillage concerne le réseau routier, il peut être mis en place pour l'assainissement, l'eau potable, l'électricité et les réseaux de chauffage ou refroidissement urbain.

IMPACTS

Le maillage d'un réseau permet d'assurer la **continuité du service en cas de défaillance** sur l'une des branches du réseau, en redirigeant le flux vers une autre branche. Celui-ci ne peut être efficace que si les infrastructures du réseau ont la capacité de prendre en charge un flux plus élevé qu'à la normale et d'être inversées (notamment pour les réseaux d'eau qui peuvent être conçus pour un sens d'écoulement prédéfini dans le cas de réseaux gravitaires, par exemple).

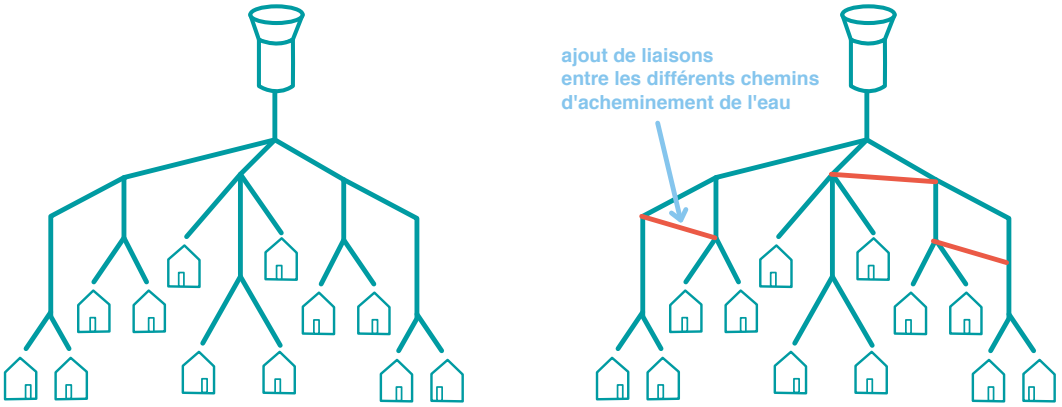
Le maillage des réseaux est particulièrement critique pour les **bâtiments accueillant des activités essentielles**, qui ne peuvent se permettre d'être coupées d'un ou plusieurs réseaux même pour quelques heures. La mise en place d'un maillage efficace est d'autant plus nécessaire qu'une altération d'un réseau peut entraîner des **effets en cascade** sur les autres : ainsi, en cas de coupure d'électricité, l'eau courante potable vient à manquer au bout de quelques heures.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Le maillage des réseaux peut être mis en place soit par les usagers, en se raccordant à différentes parties d'un même réseau ou à différentes sources d'approvisionnement, soit par le gestionnaire du réseau sur demande des autorités locales. Il doit **tenir compte des spécificités de chaque type de réseaux** et des vulnérabilités sociales et territoriales (zones peu desservies, populations vulnérables, infrastructures stratégiques, etc.). Pour certains réseaux, des aménagements supplémentaires peuvent être nécessaires pour assurer la réversibilité des réseaux, notamment des réseaux d'eaux.

Du fait de l'allongement de la longueur des réseaux, les probabilités de défaillances sur une ou des portions du réseau sont plus élevées. Un **système de compartimentage du réseau** (par vannes sur canalisations par exemple) peut permettre d'intervenir sur une partie du réseau sans couper l'alimentation de l'ensemble des bâtiments desservis. En outre, pour les réseaux d'eau particulièrement, le **système de vannes sur canalisations** permet de réduire les risques de prolifération de bactéries sur les branches secondaires et les problématiques liées aux problématiques de circulation dans les réseaux gravitaires.

EXEMPLE DE MAILLAGE D'UN RÉSEAU D'EAU POTABLE



© OID, 2021

Exemples de maillage :

- Maillage d'un réseau d'eau potable : ces réseaux étant relativement arborescents, il est intéressant de mettre en place des connexions (ici marquées en rouge) entre les différentes portions du réseau afin d'augmenter la résilience de celui-ci.

- Maillage d'un réseau routier : mise en place de déviations en concertation avec les communes avoisinantes.

FREINS ET LEVIERS

⊖ La **multiplicité des acteurs** intervenant dans les réseaux, particulièrement en milieux urbains, peut constituer un obstacle à la mise en place d'une stratégie cohérente de maillage des réseaux.

⊕ Dans les milieux urbains, un maillage peut être mis en place à l'échelle du bâtiment en **multipliant les points de raccordement** aux différents réseaux d'approvisionnement.

⊖ Dans les **zones rurales**, où les réseaux sont très étendus, mettre en place un maillage des réseaux peut parfois s'avérer **très couteux et peu rentable**. Des stratégies d'autoconsommation d'électricité, de modification des sources d'approvisionnement des réseaux de chauffage (géothermie, chaufferie bois, méthanisation, etc.) ou de réemploi des eaux pluviales peuvent alors être envisagées afin de garantir une certaine autonomie en cas de crise.

! MALADAPTATION

La construction d'infrastructures supplémentaires peut entraîner des **externalités environnementales négatives**, notamment la destruction d'habitats naturels, la perturbation des écosystèmes locaux, l'émission de gaz à effet de serre, la pollution de l'eau et de l'air. De plus, la construction de nouvelles infrastructures de maillage, en particulier dans le cas de maillages routiers ou de transports en commun, peut entraîner des **déplacements de populations locales**. Ces déplacements peuvent entraîner des conséquences sociales et économiques sur les populations déplacées, les exposant à des vulnérabilités telles que la perte de logement et de moyens de subsistance.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- UTILISER UN SYSTÈME DE COMPARTIMENTAGE DU RÉSEAU
- PRENDRE EN COMPTE LES VULNÉRABILITÉS SOCIALES ET TERRITORIALES
- PRENDRE EN COMPTE DES SPÉCIFICITÉS DE CHAQUE TYPE DE RÉSEAUX

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/- : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/- Nombre de chemins d'alimentation du secteur desservi	A maximiser
+/- Nombre de nœuds d'alimentation du secteur desservi	A maximiser
+/- Nombre de points d'alimentation du secteur desservi	A maximiser
+/- Nombre de sources d'énergie différentes du secteur desservi	A maximiser
+/- Pourcentage de recommandations essentielles suivies (%)	Le maximum de recommandations doit être mis en œuvre

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
★ Capacité à assurer la continuité du service en cas de défaillance sur l'une des branches du réseaux	Maintien du service

ILS L'ONT TESTÉ POUR VOUS

GROUPE ADP

GROUPE ADP

BÂTIMENT : AÉROPORT DE PARIS – CHARLES DE GAULLE, RÉGION PARISIENNE.
SUPERFICIE : MULTISITES TERTIAIRES D'ENVIRON 1,5 MILLIONS DE M²
USAGE : BUREAUX, LOGISTIQUE, HÔTELLERIE, COMMERCES, HANGARS AVIONS.
COÛT : NA

Du fait du caractère stratégique de ses installations, le groupe ADP mène depuis sa constitution une réflexion autour de la résilience de ses réseaux à la fois électriques, frigorifiques, thermiques, routiers ou encore hydrauliques, face à d'éventuelles défaillances et actes de malveillance. Pour le réseau électrique de l'Aéroport Paris – Charles de Gaulle, un maillage en boucles enchevêtrées permet de rediriger instantanément l'électricité en cas de défaillance sur une branche et d'éviter les effets « cul-de-sac », en multipliant les chemins d'approvisionnement. Ce schéma, intégré directement en phase de conception des infrastructures et couplé à des centrales de production directement implantées sur site, garantit une robustesse très importante au réseau. La complexité de mise en œuvre nécessite toutefois des compétences internes particulièrement développées et difficilement externalisables. Un surcoût conséquent est répercuté sur les abonnements électriques. Il s'agit dans ce cas d'une solution envisageable sur des projets s'inscrivant dans une stratégie de long terme et pour des bâtiments abritant des activités, notamment industrielles, particulièrement sensibles qui nécessitent un approvisionnement hautement sécurisé.

EN SAVOIR PLUS

Centre européen de prévention des risques d'inondation (CEPRI) (2016), Le territoire et ses réseaux techniques face au risque d'inondation

Jean-Bernard Bardiaux (2016), L'architecture du réseau de distribution

Ministère de l'écologie et du développement durable (2005), Réduire la vulnérabilité des réseaux urbains aux inondations

PROTÉGER LES RÉSEAUX

ALÉA


PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS


DYNAMIQUES LITTORALES


SÉCHERESSES


CHALEURS


FEUX DE FORÊT


TEMPÊTES ET VENTS VIOLENTS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE


CONSTRUCTION


RÉNOVATION


TERRITOIRE

PARTIE DU BÂTIMENT


REZ-DE-CHAUSSÉE


EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible moyen **élevé**

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS


élevé

Les réseaux sont nécessaires au bon fonctionnement des activités humaines, c'est pourquoi il est essentiel de les protéger afin de se prémunir des dégâts qui peuvent être occasionnés par des évènements climatiques extrêmes. Parmi les réseaux stratégiques qu'il faut sécuriser en priorité on trouvera les réseaux routiers, d'électricité, d'eau et de télécommunications. L'interdépendance des réseaux constitue un facteur de vulnérabilité supplémentaire car par effet en cascade, une défaillance sur un seul des réseaux peut avoir un impact sur le bon fonctionnement de la totalité de ceux-ci, et donc aggraver les effets d'une crise.

IMPACTS

De nombreux aléas climatiques, tels que les inondations, les tempêtes et les vagues de chaleur font peser un **risque de défaillance sur les réseaux** et menacent ainsi la poursuite des activités humaines, économiques et industrielles à l'échelle du bâtiment et du territoire.

Protéger les réseaux permet de **réduire les risques d'arrêt partiel ou total** des réseaux en cas d'évènement climatique majeur et ainsi de limiter les **conséquences humaines** (victimes, etc.), économiques (perte de biens, arrêt des activités, etc.) **et environnementales** (pollution liée aux fuites, arrêt de fonctionnement des infrastructures essentiels comme les stations de traitement, etc.) qui seraient à craindre.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Avant de mettre en place une stratégie de protection des réseaux, il est nécessaire d'identifier les réseaux critiques et d'effectuer une évaluation des risques en fonction de la vulnérabilité du territoire et des installations.

Il existe différents dispositifs permettant de protéger les réseaux en fonction du risque climatique :

Dans le tableau suivant, les dispositifs en rouge sont des solutions qui sont des facteurs de résilience face à l'aléa en question, mais qui sont des facteurs de risques pour d'autres aléas.

ALÉAS	DISPOSITIFS
	• Mise hors d'eau des installations électriques et de télécommunications au niveau du bâtiment et du territoire • Surélévation des voies d'accès aux bâtiments stratégiques • Etanchéisation des réseaux • Amélioration de la résistance mécanique des ouvrages • Eloignement des arbres des réseaux non-enterrés
	• Attention particulière portée aux réseaux enterrés qui sont très sensibles à une augmentation de la température • Surdimensionnement des lignes pour compenser la réduction du débit due à une augmentation de la température

	• Sélection de matériaux offrant aux canalisations une grande flexibilité • Installation de joints souples au niveau des raccords • Etanchéisation des canalisations
	• Ancrage des installations des réseaux • Enterrement des réseaux • Eloignement des arbres des réseaux non-enterrés
	• Ajout de gaines anti-feu autour des câbles et tuyaux • Eloignement des arbres des réseaux non-enterrés

FREINS ET LEVIERS

⊖ Ne pas protéger ses réseaux peut entraîner des conséquences financières importantes. En cas d'inondation, les dommages subis dans les zones inondées peuvent être couverts par des indemnisations, cependant, les dommages indirects résultant de défaillances des réseaux en dehors de ces zones ne bénéficieront pas de cette protection financière.

⊖ L'évaluation de la vulnérabilité des réseaux peut s'avérer complexe en raison de la **dispersion des informations concernant les impacts potentiels des défaillances des réseaux**. Cette dispersion découle de la participation de nombreux acteurs et de la difficulté de collecter de manière exhaustive ces données essentielles.

⊖ **Certaines recommandations peuvent s'avérer contradictoires**. Par exemple, dans le cas de la surélévation des réseaux, cela peut renforcer leur résilience face aux inondations, mais cette mesure peut, en revanche, les rendre plus vulnérables aux vents violents.

⊕ Afin d'assurer une continuité de service des réseaux, il est conseillé d'associer les dispositifs de protection des réseaux à un maillage efficace.

MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Déviation des eaux

La surélévation des voies d'accès pour garantir l'accessibilité en cas de montée des eaux peut dévier l'eau d'un endroit (les bâtiments stratégiques) vers un autre endroit (d'autres zones en amont ou en aval), en y augmentant ainsi le risque d'inondation. Le report de vulnérabilité peut également affecter les communautés locales, les écosystèmes, les infrastructures, les terres agricoles et les équipements environnants etc., nécessitant une gestion intégrée des risques impliquant la coordination avec les autorités locales et les propriétaires voisins.

Perturbation de la biodiversité

L'éloignement des arbres des réseaux non-enterrés peut perturber les écosystèmes locaux, y compris les habitats souterrains, en modifiant la composition du sol et les habitats naturels. Cette perturbation peut réduire la biodiversité, affectant la variété des espèces et des interactions dans ces écosystèmes. De même, d'autres mesures de protection des réseaux, telles que la surélévation des voies d'accès, l'ancrage/l'enterrement des installations des réseaux, ainsi que d'autres actions, peuvent déplacer ou détruire des habitats naturels lors de la construction et de l'entretien des réseaux.

Perturbation des co-bénéfices

Les arbres jouent un rôle crucial en offrant de l'ombre et en favorisant un refroidissement naturel des zones urbaines propices aux ilots de chaleur urbains (ICU). En revanche, leur éloignement peut accroître l'exposition au soleil de ces surfaces à faible albédo (enrobés bitumineux sombres, etc.), entraînant ainsi une élévation significative de la température ambiante et des températures locales. Cette augmentation de la chaleur peut avoir des implications négatives pour le confort et la qualité de vie dans les environnements urbains.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

- **IDENTIFIER LES RÉSEAUX CRITIQUES**
- **METTRE EN PLACE DES MESURES DE PROTECTIONS DES RÉSEAUX, À IDENTIFIER EN FONCTION DE L'EXPOSITION AUX ALÉAS, SANS AMPLIFIER LE FACTEUR DE RISQUE D'AUTRES ALÉAS**

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
Pourcentage de réseaux en mauvais état sur le secteur couvert (%)	A minimiser
Pourcentage des réseaux faisant l'objet de vérification et/ou d'opérations de maintenance régulières (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
Dégâts financiers, matériels et/ou humains résultant de défaillance des réseaux lors de catastrophes liées au changement climatique	A minimiser
Temps d'arrêt total de capacité d'approvisionnement des réseaux lors de catastrophes liées au changement climatique (heures)	A minimiser
Temps d'arrêt partiel de capacité d'approvisionnement des réseaux lors de catastrophes liées au changement climatique (heures)	A minimiser
Délai de la remise en fonctionnement du bâtiment après une catastrophe liée au changement climatique (heures)	A minimiser

RÉGLEMENTATION

- Le décret n° 2022-1077 du 28 juillet 2022 relatif à la résilience des réseaux aux risques naturels ouvre la possibilité, pour le préfet, de demander aux exploitants de services ou réseaux essentiels à la population (eau potable, assainissement, électricité, gaz, réseaux de télécommunication) **d'identifier leurs vulnérabilités** face aux événements naturels de grande ampleur (telles certaines inondations) dans le but que leur gestion en période de crise soit anticipée, qu'un service minimal répondant aux besoins essentiels de la population soit assuré pendant la durée de la crise et qu'un retour rapide à un fonctionnement normal soit favorisé. La demande du préfet porte également sur un **programme d'investissements prioritaires** à réaliser pour améliorer la **résilience des services** en cas de survenance de l'aléa. Le décret précise les territoires et aléas naturels qui peuvent y survenir, les scénarios qui doivent être étudiés par les exploitants des services et réseaux ainsi que les modalités selon lesquelles le préfet formule sa demande et les exploitants y satisfont.

EN SAVOIR PLUS

Centre européen de prévention des risques d'inondation (CEPRI) (2016), Le territoire et ses réseaux techniques face au risque d'inondation

Le monde de l'énergie (2019), Réseaux électriques et changement climatique : une menace inévitable

Ministère de l'écologie et du développement durable (2005), Réduire la vulnérabilité des réseaux urbains aux inondations

Techni.Cités (2018), Pour des réseaux de plus en plus résilients

RÉEMPLOYER LES EAUX PLUVIALES

ALÉA



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



CHALEURS



SÉCHERESSES



FEUX DE FORÊT

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



REZ-DE-CHAUSSÉE



ENVELOPPE



EXTÉRIEURS

COÛT

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

La mise en place d'un dispositif de réutilisation des eaux de pluie s'inscrit dans une stratégie d'amélioration de la résilience du bâtiment, qui passe entre autres par son autonomisation. Dans un contexte où les phénomènes climatiques extrêmes se multiplient et s'intensifient et où, parallèlement, les ressources en eau se font de plus en plus rares, il s'agit de capter les eaux pluviales, en général au niveau de la toiture, puis de les stocker afin d'en faire un usage au niveau du bâtiment à l'exclusion des usages alimentaires et sanitaires (aujourd'hui interdits par la législation française).

IMPACTS

En captant une partie des eaux de pluie, les dispositifs de réutilisation des eaux pluviales, permettent d'**atténuer les inondations** lors de périodes de fortes pluies et de **limiter l'engorgement des réseaux d'assainissement**.

La mise en place d'un tel dispositif permet d'**économiser les ressources en eau**, mais aussi de réaliser des économies financières et de disposer de réserves d'eau dans un contexte d'intensification et de multiplication des vagues de chaleur et des phénomènes de sécheresse. Dans les immeubles de grande hauteur (IGH), l'eau récupérée peut notamment servir à **alimenter les dispositifs anti-incendie** par écoulement gravitaire telles que les piscines de réserve d'eau en hauteur.

En outre, parce qu'il améliore l'autonomie du bâtiment, le réemploi des eaux pluviales peut permettre de préserver les usages du bâtiment et de **réduire le délai de retour à la normale** en cas d'évènement climatique majeur.

GUIDE DE MISE EN PLACE

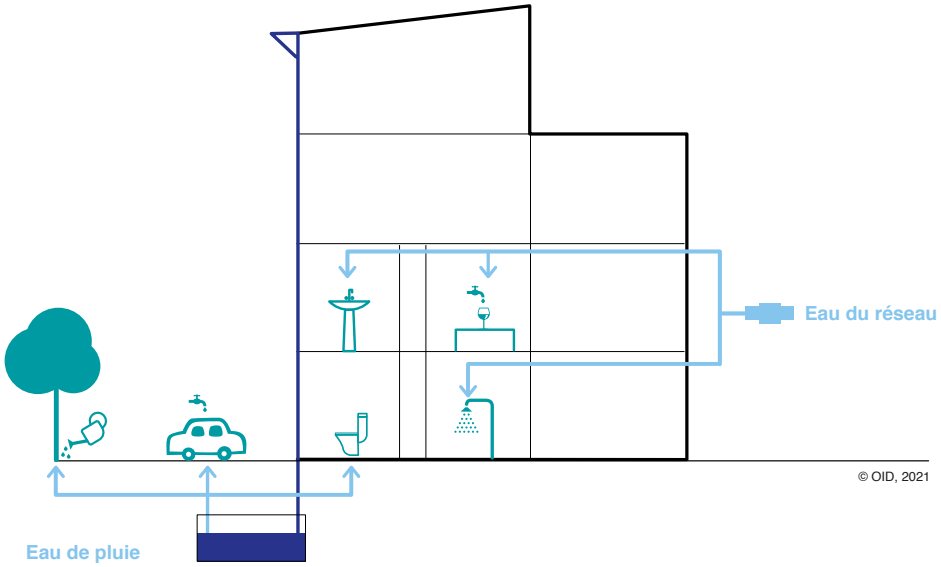
L'installation doit être conçue de manière à préserver voire améliorer la qualité de l'eau de pluie récoltée. Une installation de récupération des eaux de pluie se compose de dispositifs de :

- Collecte des eaux de pluie (toiture végétalisée, gouttières, etc.)
- Epuration de l'eau (grilles, bac de décantation, filtration plus ou moins fine, etc.)
- Stockage des eaux de pluie (cuve enterrée ou hors-sol, bassin extérieur, etc.)
- Redistribution (canalisations, pompe)

Une plaque de signalisation portant la mention « Eau non potable » accompagnée d'un pictogramme explicite doit être installée à proximité de chaque point de distribution d'eau de pluie et de chaque WC alimenté par cette source d'eau.

Lorsque l'eau de pluie est réemployée à l'intérieur d'un logement, une déclaration en mairie est nécessaire, incluant une évaluation des volumes d'eau utilisés. À l'intérieur du logement, l'eau de pluie peut être utilisée lorsque cela ne présente pas de risque d'ingestion de l'eau (chasse d'eau des toilettes, nettoyage des sols). Quant à l'extérieur du bâtiment, l'eau de pluie peut être employée notamment pour l'arrosage et le lavage des véhicules. Dans la grande majorité des cas, les **eaux pluviales ne peuvent satisfaire l'ensemble des besoins en eau** des occupants du bâtiment, car les usages liés à la consommation alimentaire (vaisselle, cuisine) et à l'hygiène corporelle nécessitent l'utilisation d'eau potable provenant des réseaux de distribution traditionnels.

SCHÉMA D'UTILISATION DES EAUX PLUVIALES ET DU RÉSEAU EN FRANCE



FREINS ET LEVIERS

⊖ **L'eau de pluie collectée ne peut pas être considérée comme potable** en raison de sa contamination chimique, notamment la présence de pesticides dans la pluie, ainsi que de métaux ou d'amiante sur le toit. L'utilisation de l'eau de pluie qui a ruisselé sur un toit contenant de l'amiante-ciment ou du plomb à l'intérieur d'un logement est strictement interdite.

⊕ Cette solution adaptative peut **s'inscrire dans une stratégie de** maîtrise des écoulements des eaux pluviales au niveau de la parcelle qui doit permettre de diminuer le débit d'écoulement à l'exutoire (quantité d'eau redirigée vers les réseaux d'assainissement).

⊕ Plusieurs **aides financières locales** (Agences de l'Eau régionales, subvention des collectivités territoriales) **et nationales** (TVA à 10 %, etc.) existent afin de soutenir les acteurs qui souhaitent s'engager dans cette démarche.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Effet rebond des consommations en eau

Lorsque l'eau de pluie est réemployée, une surutilisation de cette ressource alternative peut se produire, parfois avec une impression de disponibilité illimitée d'eau potable. De plus, l'eau de pluie est souvent perçue comme abondante, en particulier dans les régions à fortes précipitations, ce qui peut entrainer une complaisance en matière de conservation de l'eau et sous-estimer le stress hydrique. Il est donc essentiel d'utiliser l'eau de pluie collectée de manière responsable, en évitant le gaspillage et en planifiant son utilisation en fonction des besoins réels, d'autant plus dans le contexte de changement climatique et l'incertitude quant à la disponibilité future de l'eau.

Perturbations écologiques

L'installation de cuves enterrées implique fréquemment des travaux d'excavation (fosses, tranchées) qui peuvent avoir un impact sur les écosystèmes locaux et la biodiversité, en particulier dans les zones où la végétation et les habitats naturels sont sensibles ou fragiles. Les perturbations peuvent inclure la coupe d'arbres, la suppression de la végétation herbacée, voire la transplantation de plantes pour permettre la construction et l'accès aux cuves.

Rupture du réservoir

En cas de rupture dans le système de collecte d'eau de pluie, l'eau déversée peut provoquer d'importants dommages structurels, tels que la détérioration des routes et des fondations de bâtiments. Les mouvements du sol liés au retrait-gonflement des argiles ont tendance à aggraver ces dommages. De plus, cela peut entraîner une interruption potentielle du fonctionnement normal des infrastructures touchées.

REPÈRES DE SUIVI

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Volume d'eau à gérer (m³)	-
+/− Pourcentage du volume abattu par infiltration dans le sol de surface de la parcelle (%)	A maximiser, en priorité
+/− Pourcentage du volume abattu par toitures végétalisées du bâtiment (%)	A maximiser, en solution secondaire
+/− Pourcentage du volume abattu par des cuves de stockage sur la parcelle (%)	A maximiser, en solution tierce
+/− Taux de réutilisation des eaux pluviales récupérées (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage des besoins en eaux du bâtiment couverts par le réemploi d'eaux pluviales (%)	A maximiser, uniquement dans le cadre des conditions et usages autorisés
+/− Volume d'eau économisé (m³)	A maximiser

NOTION / DÉFINITION

- **Volume d'eau à gérer** : volume de la pluie qui ruisselle sur les surfaces imperméables et qui devra être interceptée pour être infiltrée, évapotranspirée ou évacuée à débit régulé vers un exutoire.
- **Volume abattu** : volume non rejeté au réseau d'assainissement d'une lame d'eau (mesure de la hauteur d'eau cumulée par 24 heures) pluviale appliquée à une surface de référence. Ce volume doit être abattu, c'est-à-dire récupéré en totalité sur les terrains concernés, dans un délai maximal de 24 heures.

RÉGLEMENTATION

- Le **réemploi des eaux pluviales dans le cadre d'usages domestiques** à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments est encadré par l'article L1322-14 du Code de la Santé publique et l'arrêté du 21 août 2008.
- Le décret n° 2023-835 du 29 août 2023 créé dans le Code de l'environnement la section 8 : Usages et conditions d'utilisation des eaux de pluie et des eaux usées traitées (Articles R211-123 à R211-137). L'article R211-126 précise que toute utilisation d'eau de pluie, ainsi que des eaux usées traitées, demeure interdite à l'intérieur :
  - des établissements de santé et des établissements, sociaux et médicaux-sociaux, d'hébergement de personnes âgées ;
  - des cabinets médicaux, des cabinets dentaires, des laboratoires d'analyses de biologie médicale et des établissements de transfusion sanguine ;
  - des crèches, des écoles maternelles et élémentaires,
  - et des autres établissements recevant du public pendant les heures d'ouverture au public.

EN SAVOIR PLUS

Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement (Astee) (2015), Guide technique - Récupération et utilisation de l'eau de pluie

Guide bâtiment durable Brussels (2016), Récupérer l'eau de pluie

Gouvernement (2023), Les 53 mesures du Plan eau

Ministère de la Santé et des Sports & Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer (2009), Systèmes d'utilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment - Règles et bonnes pratiques à l'attention des installateurs

SE RACCORDER AU RÉSEAU DE FROID URBAIN

ALÉA



CHALEURS

ÉTAPE DE MISE EN ŒUVRE



CONSTRUCTION



RÉNOVATION

PARTIE DU BÂTIMENT



RAFRAÎCHISSEMENT

COÛT

€ € €

faible **moyen** élevé

NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS



moyen

Bien que peu développés en France, les réseaux de froid urbains constituent une solution qui permet de répondre de manière durable aux besoins en refroidissement grandissant des populations. Fonctionnant comme des systèmes de rafraîchissement à l'échelle d'un quartier, d'une ville ou d'un territoire, les réseaux de froid urbains peuvent alimenter tous types de bâtiments : logements, tertiaires et industriels. Leur fonctionnement est très similaire à celui des réseaux de chaleur collectifs : une centrale frigorifique vient alimenter les bâtiments en froid, grâce à un réseau de canalisations qui transporte un fluide caloporteur glacé (il s'agit souvent d'eau).

IMPACTS

Alors que la température ne cesse d'augmenter et que les vagues de chaleur se multiplient et s'intensifient, les réseaux de froid urbains permettent de **sauvegarder le confort thermique** des occupants du bâtiment tout en réalisant des économies non négligeables. En effet, la production de froid en grande quantité permet de **dégager des économies d'échelles** et d'assurer une certaine **stabilité de prix et d'approvisionnement**. Les coûts de maintenance du réseau sont pris en charge par le gestionnaire ; les bâtiments viennent ensuite se raccorder à celui-ci pour bénéficier de cette source de froid.

L'utilisation d'un réseau de froid collectif permet également de **réduire l'impact du bâtiment sur l'environnement** car les installations industrielles qui produisent du froid ont un rendement bien plus élevé (de l'ordre de 30 à 50 % de plus) que les dispositifs individuels.

GUIDE DE MISE EN PLACE

Pour se raccorder à un réseau de froid collectif, il faut :

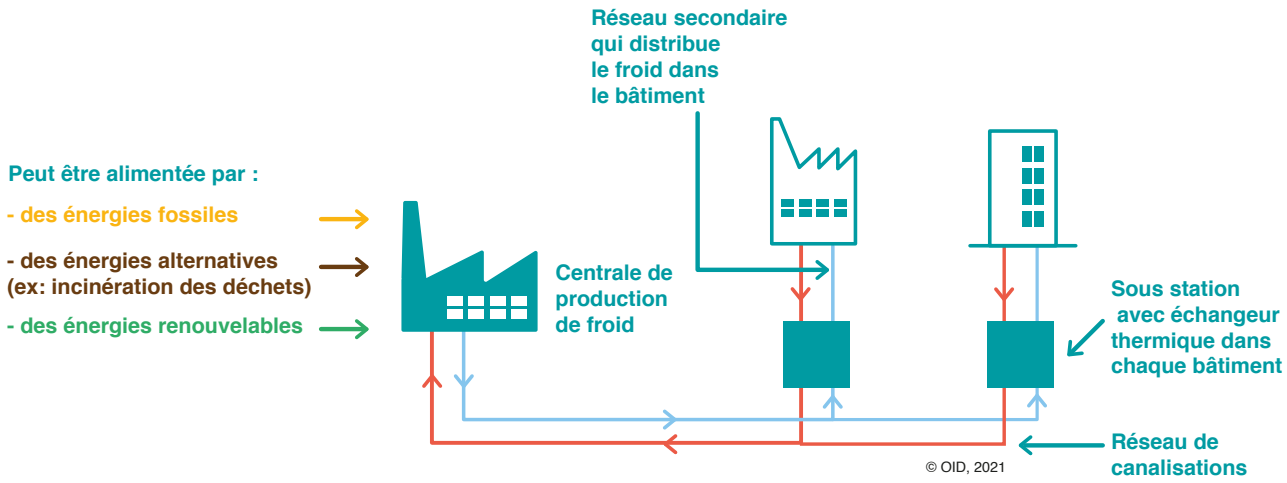
(1) se renseigner pour savoir s'il existe un réseau de froid urbain à proximité (plusieurs outils tels que la carte de France Chaleur Urbaine ou l'annuaire de Via Sèva sont disponibles) ;

(2) faire une **demande de raccordement** auprès de l'organisme gestionnaire du réseau, qui peut être public ou privé ;

(3) prévoir des **travaux d'installation d'une sous-station** et, si nécessaire, d'un réseau secondaire. Le coût et la difficulté du raccordement au réseau de froid collectifs varient selon les communes.

Si un territoire possède des ressources hydrauliques (fleuve, lac, etc.), il est possible d'en tirer parti en mettant en place un système de **free cooling** : la fraîcheur des points d'eau est utilisée pour refroidir le fluide caloporteur transporté par les canalisations (lorsque la température de l'eau est égale ou inférieure à 5°C) permettant de rafraîchir les bâtiments avec une consommation énergétique limitée.

SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT D'UN RÉSEAU DE FROID URBAIN



FREINS ET LEVIERS

⊖ Se raccorder au réseau de froid ou de chaleur urbain peut s'avérer **coûteux pour les bâtiments alimentés à l'électricité** car il est nécessaire d'installer un réseau secondaire (radiateurs, tuyaux d'eau chaude) pour distribuer la chaleur dans le bâtiment.

⊕ Les bâtiments alimentés par une chaudière collective au gaz ou au fioul pourront être raccordés en remplaçant simplement la chaudière par une sous-station.

⊕ Le raccordement au réseau de chaleur et/ou de froid **peut être rendu obligatoire** pour les nouvelles constructions par une collectivité grâce à un processus de classement du réseau.

⊕ Afin de garantir une adaptation raisonnée sur un bâtiment, la **sobriété** doit être avant tout favorisée, en limitant dans un premier temps les besoins de rafraîchissement par l'isolation, l'orientation du bâtiment ou encore la réduction des apports solaires. Les **stratégies de refroidissement passives ou semi-passive**s, telles que la ventilation ou le rafraîchissement adiabatique peuvent également constituer des alternatives intéressantes.

! MALADAPTATION

Les maladaptations peuvent résider dans les risques suivants :

Augmentation des émissions de gaz à effet de serre

Les réseaux de froid urbains exigent une quantité importante d'énergie pour leur fonctionnement. Lorsque cette énergie provient principalement de combustibles fossiles, cela engendre des émissions de gaz à effet de serre préjudiciables. Pour minimiser cet impact, il est recommandé de privilégier le développement de sources d'énergie renouvelable, à proximité des centrales frigorifiques. Les énergies renouvelables produisent de l'électricité et de la chaleur avec une empreinte carbone nettement plus faible que les combustibles fossiles (cf. facteurs d'émissions de la Base Empreinte de l'ADEME).

Risque de délestage en périodes de forte demande

Les réseaux de froid peuvent faire l'objet de délestage, consistant à réduire délibérément la consommation électrique dans un système ou un réseau électrique pour maintenir l'équilibre du réseau et éviter des surcharges lors de périodes de forte demande. Cela peut compromettre le confort thermique des occupants. Pour faire face à de telles périodes, les réseaux de froid peuvent être associés à des systèmes de stockage d'énergie frigorifique.

Incidences négatives sur la biodiversité et le sol

La construction des réseaux souterrains, y compris les réseaux de froid, peut avoir des incidences négatives sur la biodiversité et le sol, notamment la perte d'habitat, les risques de pollution, etc.

Inadéquation de la capacité de refroidissement

Si le dimensionnement du réseau de froid se limite à satisfaire les besoins actuels en matière de refroidissement, sans anticiper les besoins futurs résultant de l'augmentation des températures, il peut devenir insuffisant face à des vagues de chaleur de plus en plus fréquentes et intenses.

REPÈRES DE SUIVI

LES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES Y AVEZ-VOUS PENSÉ ?

METTRE EN PLACE DES MESURES DE RÉDUCTION DE BESOINS DE REFROIDISSEMENT

POUR SUIVRE MES ACTIONS ADAPTATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

+/− : indicateur quantitatif ★ : indicateur qualitatif

INDICATEURS DE MOYENS	INTERPRÉTATION
+/− Pourcentage des besoins en froid couverts par le réseau de froid urbain (%)	A maximiser

INDICATEURS DE RÉSULTATS	INTERPRÉTATION
+/− Comparaison entre la consommation énergétique liée à l'utilisation du réseau de froid urbain et celle d'une situation témoin* (kWh)	A minimiser
+/− Comparaison entre les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation du réseau de froid urbain et celle d'une situation témoin* (tCO_2e)	A minimiser

** La situation témoin est définie par les paramètres fixés permettant d'isoler l'influence de l'action adaptative (conditions similaires : météo, heure de mesure, espace, etc.).*

EN SAVOIR PLUS

ADEME (2023), Énergies renouvelables : les réseaux de chaleur

AdaptaVille (2023), Réseaux de froid urbains : rafraîchir les bâtiments en consommant moins d'énergie. L'exemple de Paris.

Calderoni M, Babu Sreekumar B, Dourlens-Quaranta S, Lennard Z, Rämä M, Klobut K, Wang Z, Duan X, Zhang Y, Nilsson J, and Hargo L (2019), Sustainable District Cooling Guidelines

FEDENE-SNCU (2022), Enquête des réseaux de chaleur et de froid – édition 2022

France Chaleur Urbaine (2023), Le guide pour les collectivités

POUR ALLER PLUS LOIN ...

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES
Liberté
Égalité

CENTRE DE RESSOURCES POUR L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le Centre de Ressources pour l'Adaptation au Changement Climatique (CRACC), lancé en décembre 2020, est un projet public qui a vu le jour dans le cadre du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique 2 (PNACC-2). Il est le fruit d'un travail partenarial entre le Cerema, la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), l'ADEME et Météo France. La plateforme du CRACC aspire à fournir à différents types d'acteurs (collectivités, acteurs du bâtiment, etc.) des informations pertinentes pour l'adaptation des territoires au changement climatique. Le CRACC rassemble diverses ressources pour mieux appréhender les enjeux, connaître les solutions et actions d'adaptation au changement climatique, et met en avant des acteurs et initiatives locales leviers de l'adaptation.

Accessible ici

Bat ADAPT
ANALYSE DES RISQUES CLIMATIQUES

BAT-ADAPT

Bat-ADAPT est un outil d'analyse de risques climatiques qui permet d'obtenir des cartographies, des diagnostics et des recommandations d'actions adaptatives pour les bâtiments, face aux aléas Chaleurs, Sécheresses et Retrait-Gonflement des Argiles, Précipitations intenses et inondations, Dynamiques littorales, etc. L'exposition climatique est définie à partir de l'adresse, intégrant les scénarios climatiques et des caractéristiques du territoires, à court, moyen et long terme. La vulnérabilité du bâtiment, prend en compte les réponses à quelques questions sur le bâtiment. Les recommandations d'actions adaptatives orientent les acteurs vers des actions prioritaires à mettre en place dans le bâtiment, en fonction de l'exposition au risque et de la vulnérabilité du bâtiment.

Accessible sur R4RE

ADAPTAVILLE
Des solutions pour s'adapter au changement climatique

ADAPTAVILLE

AdaptaVille est une plateforme accessible à tous qui répertorie des solutions concrètes et opérationnelles pour adapter les villes denses au changement climatique. Collectivités, entreprises, aménageurs ont ainsi accès à des retours d'expériences, des informations sur les coûts, et les contacts directs des porteurs de solutions. AdaptaVille a également vocation à décrypter les enjeux de l'adaptation grâce à la mutualisation des connaissances, et des événements organisés tout au long de l'année. Le projet est soutenu par l'ADEME, la Métropole du Grand Paris, la Ville de Paris, l'Alec Plaine Commune, Icade, & Altarea. Il bénéficie de l'expertise de Météo France, du CEREMA, de Paris&Co, d'Une autre ville, et de l'OID.

Accessible ici

GUIDE BÂTIMENT DURABLE .brussels

LE GUIDE BÂTIMENT DURABLE

Développé par Bruxelles Environnement en collaboration avec des bureaux d'études spécialisés, le Guide Bâtiment Durable accompagne les professionnels de la construction pour la conception ou la rénovation de bâtiments à haute qualité environnementale tout en garantissant la faisabilité économique du projet. Avec près de 50 dossiers thématiques, assortis à terme de plus de 200 fiches pratiques consacrées à des solutions techniques, et de nombreuses études de cas, le Guide Bâtiment Durable est un outil de référence pour les concepteurs, maîtres d'ouvrages et entrepreneurs. Tous les contenus sont facilement accessibles sur la base d'une recherche croisée par filtre.

Accessible ici

Cerema

LA BOUSSOLE DE LA RÉSILIENCE

La Boussole de la résilience est un outil au service des collectivités et acteurs du territoire, dont les acteurs de l'immobilier, désireux de renforcer leur résilience face aux crises environnementales à venir. Ce « référentiel » de la résilience a été élaboré sur la base de 18 leviers d'actions articulés autour de six principes directeurs : Stratégies et gouvernance, Cohésion et solidarité, Anticipation et veille, Robustesse et continuité, Sobriété et besoins essentiels, et enfin Adaptation, apprentissage et innovation. Cette Boussole invite les acteurs à questionner leurs processus de fonctionnement et alimente leurs réflexions autour de la résilience.

Accessible ici

REMERCIEMENTS

La rédaction de ce guide a été pilotée par **Delphine Mourot**, chargée de projets « Territoires résilients » – *OID* et **Mathilde Philippot**, chargée de projet « Adaptation au changement climatique » – *OID*. La mise à jour en 2023 de ce guide a été pilotée par **Gaëlle Peschoux,** chargée de projet « Bâtiment décarboné et Adaptation au changement climatique » – *OID* et **Philomène Pagès**, chargée de projet « Biodiversité et Adaptation au changement climatique » – *OID*.

Ces travaux ont été menés sous la direction de **Sakina Pen Point**, responsable de programme « Adaptation au changement climatique » – *OID.*

L'OID remercie l'ensemble de ses membres ayant participé au processus d'élaboration de ce guide au cours des groupes de travail, ateliers, etc. L'OID remercie enfin particulièrement les experts ainsi que les professionnels qui ont participés à alimenter les réflexions et les retours d'expérience des actions adaptatives : Justine Bichon – Agence Parisienne du Climat , Ulysse Gaignard – Amundi-Immo, Xavier Moch – Association Française des Professionnels de la Géothermie, Sylvain Deverge – Caf du Loiret, Caroline Girardière – CDC Biodiversité, Agathe Cohen – Eau de Paris, Yann Bobinet – Groupe ADP, Laurence Gourio – IXO architecture, Henri Chapoutier – Icade, Olivier Guillouet – Icade, Eric Landeau – Icade, Patrick Barbier – Mairie de Muttersholz, Bénédicte Crozon – Nexity, Marie Verrot – Nexity, Jérôme Duvernoy - ONERC, Mathieu Bahuaud – Poste-Immo, Stéphane Guillaume – Société de la Tour Eiffel, Hervé Pagnon – Société de la Tour Eiffel, Julie Roussel – Ville de Paris.

ŒUVRER POUR L'IMMOBILIER DURABLE

Association indépendante, l'Observatoire de l'Immobilier Durable (OID) a pour but d'accélérer la transition écologique du secteur de l'immobilier en France et à l'international. Composée de plus d'une centaine d'adhérents et partenaires parmi lesquels les leaders de l'immobilier, l'OID constitue la référence pour toute la chaîne de valeur du secteur, et promeut l'intelligence collective pour résoudre les problématiques environnementales, sociales et sociétales de l'immobilier. L'OID produit des ressources et outils au service de l'intérêt général.

MEMBRES

PARTENAIRES

NOUS CONTACTER

Observatoire de
l'Immobilier Durable
12 rue Vivienne
75 002 Paris
Tél +33 (0)7 69 78 01 10

contact@o-immobilierdurable.fr

o-immobilierdurable.fr

L'ATELIERDELESTUAIRE.COM

OID
ŒUVRER POUR L'IMMOBILIER DURABLE