

Etat des lieux et étude prospective sur les impacts du changement climatique pour le bâtiment à l'horizon 2050 et 2100

Annexes

Juin
2022



EXPERTISES

SOMMAIRE

1. ANNEXE 1: SOURCE DES DONNEES POUR LA CARTOGRAPHIE DES ALEAS CLIMATIQUES	3
2. ANNEXE 2: METHODOLOGIE POUR DE DETERMINATION DE LA VULNERABILITE DES BATIMENTS.....	6
3. ANNEXE 3 : SYNTHESE DES ENTRETIENS	14
4. ANNEXE 4: IDEOTYPES TRANSMIS AUX PARTICIPANTS DES ATELIERS D'INTELLIGENCE COLLECTIVE	17
5. ANNEXE 5 : COMPTE-RENDU SUCCINCT DES ATELIERS D'INTELLIGENCE COLLECTIVE DES 1ER ET 10 MARS 2022	29

1. Annexe 1: Source des données pour la cartographie des aléas climatiques

L'annexe 1 présente les données qui ont été utilisées par le bureau d'étude Risk Weather Tech afin d'établir les classes d'aléas.

1.1. L'aléa vagues de chaleur (France métropolitaine)

L'aléa vagues de chaleur repose sur le corpus de simulations climatiques Euro-Cordex corrigées et disponibles sur le site DRIAS, pour les températures quotidiennes. La listes des couples de modèles globaux (GCM) et régionaux (RCM) utilisés est présentée dans le tableau ci-après (cf. table 1).

Expérience	Institution	Modèle climatique Global *	Modèle climatique Régional **	Scénario CO2				Périodes disponibles	Nbr de variables
				Hist	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6		
DRIAS – 2020	CNRM	CNRM-CM5-LR r1	ALADIN63	X	X	X	X	1951-2005 ; 2006-2100	7
DRIAS – 2020	CLMcom	MPI-ESM-LR r1	CCLM4-8-17	X	X	X	X	1950-2005 ; 2006-2100	7
DRIAS – 2020	ICTP	HadGEM2-ES r1	RegCM4-6	X	X		X	1970-2005 ; 2006-2099	7
DRIAS – 2020	SMHI	EC-EARTH r12	RCA4	X	X	X	X	1970-2005 ; 2006-2100	7
DRIAS – 2020	IPSL	IPSL-CM5A-MR r1	WRF381P	X	X	X		1951-2005 ; 2006-2100	7
DRIAS – 2020	GERICS	NorESM1-M r1	REMO2015	X	X		X	1950-2005 ; 2006-2100	7
DRIAS – 2020	CSC	MPI-ESM-LR r1	REMO2009	X	X	X	X	1970-2005 ; 2006-2100	7
DRIAS – 2020	CLMcom	HadGEM2-ES r1	CCLM4-8-17	X	X	X		1950-2005 ; 2006-2099	7
DRIAS – 2020	KNMI	EC-EARTH r12	RACMO22E	X	X	X	X	1950-2005 ; 2006-2100	7
DRIAS – 2020	SMHI	IPSL-CM5A-MR r1	RCA4	X	X	X		1970-2005 ; 2006-2100	7
DRIAS – 2020	KNMI	CNRM-CM5-LR r1	RACMO22E	X	X	X	X	1950-2005 ; 2006-2100	7
DRIAS – 2020	DMI	NorESM1-M r1	HIRHAM5 v3	X	X	X		1951-2005 ; 2006-2100	7

Table 1: Liste des couples GCM / RCM utilisés dans le projet DRIAS

1.2. L'aléa Retrait gonflement des argiles (France métropolitaine)

L'estimation de la classe de risque RGA repose sur les sources suivantes :

1. Base de données Argiles du BRGM pour identifier les secteurs argileux susceptibles d'entraîner des phénomènes de subsidence des sols par alternance de retrait / gonflement des argiles.
1. Simulations de sécheresse des sols du Projet Climsec en partenariat avec Météo-France, le CNRS et le CEMAGREF. Ces simulations basées sur une modélisation rétrospective et prédictive de l'humidité des sols avec la chaîne hydrométéorologique Safran-Isba-Modcou offre une valeur mensuelle d'humidité des sols pour la période allant de 1959 à 2100 selon l'indice SSWI (indice standardisé d'humidité des sols). Les projections climatiques sont celles des scénarios du CMIP3 A2 et B1 qui représentent approximativement les scénarios Rcp 8.5 et Rcp 4.5 du CMIP5.

Ces données seront combinées avec la base de données argiles pour évaluer le risque de subsidence à l'échelle de la commune.

1.3. L'aléa inondation (France métropolitaine)

L'aléa inondation repose sur les simulations hydro-climatiques du projet Européen SWICCA portant sur l'utilisation combinée de 4 simulations Euro-Cordex et 3 modèles hydrologiques, pour estimer les variations de débits par période de retour selon différents horizons temporels et différents scénarios climatiques. Ces simulations sont combinées avec la cartographie des zones inondables afin d'évaluer un indice communal d'exposition au risque inondation.

GCM/RCP Cordex	Scénarios	Modèles Hydrologique
ICHEC-EC-EARTH / RCA4	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5	E – HYPEv3.1.2
ICHEC-EC-EARTH / RACMO22E	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5	VIC-4.2.1.g
MOHC-HadGEM2-ES / RCA4	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5	Lisflood
MPI-M-MPI-ESM-LR / REMO2009	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5	

Table 2 : Liste des couples GCM / RCM utilisés dans le projet SWICCA

1.4. L'aléa submersion marine (France métropolitaine)

L'aléa submersion marine repose sur les cartographies des zones exposées à la submersion marine réalisée par le World Resources Institute par périodes de retour, horizons et scénarios Rcp dans le cadre du projet Aqueduct. Ces données renseignent sur les hauteurs de submersion par période de retour en fonction des probabilités d'événement tempétueux responsable de la submersion côtière. L'approche retenue consiste à analyser les niveaux extrêmes de pleine mer combinés aux marées barométriques et à l'élévation du niveau de la mer selon les projections climatiques.

1.5. L'aléa feu de forêt (France métropolitaine)

L'indice de Feux de Forêts (FWI) est calculé à partir des simulations tri-horaires Euro-Cordex de 6 couples GCM-RCM selon la formule canadienne (van Wagner, 1987) et à l'initiative du Système Européen d'Information sur les Feux de Forêts (EFFIS).

GCM/RCP Cordex	Scénarios
ICHEC-EC-EARTH / RCA4	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5
MPI-M-MPI-ESM-LR / RCA4	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5
MOHC-HadGEM2-ES / RCA4	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 / RCA4	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5
IPSL-IPSL-CM5A-MR / RCA4	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5
NCC-NorESM1-M / RCA4	Historique / Rcp 8.5

Table 3 : Liste des couples GCM / RCM utilisés pour le calcul de l'indice Feux de Forêts

1.6. L'aléa risques sanitaires (France métropolitaine)

L'indice entomo-climatique de risque d'installation du moustique tigre repose sur une analyse des températures saisonnières et de l'humidité. Cet indice a été élaboré par le Centre Européen de Prévention et Contrôle des Maladies et adapté aux simulations climatiques dans le cadre d'un projet Européen Copernicus. Au total, 8 simulations Euro-Cordex corrigées ont été utilisées pour calculer l'évolution spatiale et temporelle de cet indice selon deux scénarios climatiques (Rcp 4.5 et Rcp 8.5).

GCM	RCM	Scénarios
IPSL-IPSL-CM5A-MR	WRF331F	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	ARPEGE51	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5
ICHEC-EC-EARTH	RACMO22E	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5
IPSL-IPSL-CM5A-MR	RCA4	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	RCA4	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5
ICHEC-EC-EARTH	RCA4	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5
MPI-M-MPI-ESM-LR	RCA4	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5
ICHEC-EC-EARTH	HIRHAM5	Historique / Rcp 4.5 / Rcp 8.5

Table 4 : Liste des couples GCM / RCM utilisés pour le calcul de l'indice entomo-climatique

1.7. L'aléa chaleur humide (Outre-mer)

Les départements et territoires ultra-marins ne disposent pas, comme la métropole, du même corpus de simulations climatique à haute résolution. Ceci nous oblige donc à sourcer les données les plus exhaustives, précises et homogènes pour construire des indices climatiques comparables d'un territoire à l'autre.

Utilisation des données des GCMs de CMIP6 pour calculer une valeur quotidienne de l'indice humidex (basé sur la température de surface et l'humidité relative) et pour analyser l'évolution des cumuls de précipitation annuels.

Modèle Climatique (GCM)	Scénarios	Variables
CESM2-WACCM	Historique / SSP2-45 / SSP5-85	Précipitations
EC-Earth3	Historique / SSP2-45 / SSP5-85	Précipitations, température, humidité relative
INM-CM5	Historique / SSP2-45 / SSP5-85	Précipitations, température

Table 5 : Liste des couples GCM / RCM utilisés pour le calcul de l'indice chaleur humide

1.8. L'aléa cyclone (Outre-mer)

L'aléa cyclone repose sur une analyse bibliographique combinée à l'étude des simulations Cordex Caraïbes et Africa pour évaluer l'évolution de l'activité cyclonique sous différents horizons et scénarios Rcp.

Domaine	GCM/RCP Cordex	Scénarios
Caraïbes	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 / RCA4	Historique / RCP 8.5
	ICHEC-EC-EARTH / RCA4	Historique / RCP 8.5
	NCC-NorESM1-M / RCA4	Historique / RCP 8.5
	NOASS-GFDL-ESM2M / RCA4	Historique / RCP 8.5
	ECMWF-ERAINT / RCA4	Historique
Afrique	ICHEC-EC-EARTH / RACMO22E	Historique / RCP 8.5
	MIROC-MIROC5 / RCA4	Historique / RCP 8.5
	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 / RCA4	Historique / RCP 8.5
	IPSL-IPSL-CM5A-MR / REMO2009	Historique / RCP 8.5

Table 6 : Liste des couples GCM / RCM utilisés pour le calcul de l'indice cyclone

1.9. L'aléa inondation (Outre-mer)

Cartographie des zones inondables pour les îles de la Martinique, Guadeloupe et Réunion pour estimer la probabilité du risque inondation à l'échelle de la commune.

Les données sont issues des cartographies des TRI (Territoires à risque important d'inondation) disponibles sur les différents sites des DREAL.

1.10. L'aléa submersion (Outre-mer)

Cartographies des zones inondables par submersion marine pour les îles de la Martinique, Guadeloupe et Réunion combinées aux modèles numériques de terrain de l'IGN à 5 m de résolution.

Les données sont issues des cartographies des TRI (Territoires à risque important d'inondation) disponibles sur les différents sites des DREAL.

2. Annexe 2: Méthodologie de détermination de la vulnérabilité des bâtiments

Les tableaux ci-dessous explicitent la méthodologie qui a été adoptée pour attribuer une note de vulnérabilité des bâtiments par rapport à chaque aléa.

Pour chacune des 7 typologies de bâtiments :



Structures d'accueil pour personnes vulnérables (âgées, personnes handicapées ou jeunes enfants + établissements de soin)



Tertiaire hors bureaux (commerces, équipements publics, hôtels etc.)



Etablissements d'enseignement (collèges, lycées, universités, etc.), de formation, centres de vacances



Tertiaire (administrations, banques, bureaux etc.)



Logements collectifs



Maisons individuelles



Bâtiments à destination agricole et industrielle (type hangars, entrepôts)

Nous avons étudié les critères de :

- Localisation
- Occupants/usages
- Etudes préalables et contrôles techniques
- Infrastructures
- Equipements

Pour chacun de ces critères, nous avons attribué une note de 1 à 5 (1 étant la note qui correspond à la vulnérabilité la plus faible et 5 à la vulnérabilité la plus forte) puis fait une moyenne pour aboutir à une note de 1 à 5 de vulnérabilité.

Cette méthodologie admet son caractère simplificateur puisqu'il y a une forte disparité pour chacun de ces critères au sein de chaque typologie, mais il s'agit des caractéristiques qui sont le plus souvent observées pour chaque typologie de bâtiment.



1. Structures d'accueil pour personnes vulnérables (âgées, personnes handicapées ou jeunes enfants+ établissements de soin)

	Critères	Localisation	Occupants/usages	Etudes préalables et contrôles techniques	Infrastructures	Equipements	Moyenne
Vagues de chaleur	Justification	Pas de lieu d'implantation type	Personnes fortement vulnérables	Etudes préalables et contrôles techniques généralement très poussés (BETs mobilisés sur le projet etc.)	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Equipements performants depuis la canicule de 2003 (climatisation ou ventilation double flux)	
	Note		5	1		1	2
Sécheresse/ retrait-gonflement des argiles	Justification	Prise en compte du risque lors de la conception	Personnes vulnérables à mobilité réduite : difficultés en cas d'évacuation ou de travaux nécessaires	Prise en compte du risque lors de la conception	Forte assise foncière : fondations solides et profondes, présence fréquente de parking	Pas d'équipement pertinent pour les RGA	
	Note	2	5	2	2		3
Inondations	Justification	Rarement localisées dans des zones exposées au risque, mais les inondations peuvent être fluviales ou via les précipitations.	Population vulnérable à mobilité réduite: difficultés en cas d'évacuation	Etudes préalables et contrôles techniques poussés en cas de construction dans ou à proximité de zones à risque	locaux en infra pouvant servir d'espace tampon en cas d'inondation	Equipements type pompes, batardeaux, clapets anti-retours etc.	
	Note	2	5	1	2	2	2
Submersions marines	Justification	Pas d'implantation dans des zones à risque	Personnes vulnérables : difficultés en cas d'évacuation	Etudes préalables et contrôles techniques poussées	Infrastructures fréquentes qui peuvent absorber l'eau	Equipements type pompes, batardeaux, clapets anti-retours etc.	
	Note	1	5	1	2	2	2
Risques sanitaires	Justification	Risques sanitaires répartis sur tout le territoire	Personnes vulnérables : augmentation du niveau de gravité	Peu de prise en compte des risques sanitaires lors de la conception	Pas d'impact des infrastructures sur les risques sanitaires	Equipements performants (notamment ventilation de l'air)	
	Note		5	3		1	3
Feux de forêt	Justification	Risque réparti sur une grande partie du territoire (surtout Sud et Est de la France)	Personnes vulnérables : difficultés en cas d'évacuation	Réglementations ERP pour l'incendie	Pas d'impact des infrastructures sur le risque incendie	Equipements bien maintenus (ERP)	
	Note		5	2		1	3
Chaleur humide (Outremer)	Justification	Pas de lieu d'implantation type	Personnes fortement vulnérables	Etudes préalables et contrôles techniques généralement très poussés (STD, BET mobilisé sur le projet etc.)	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Equipements très performants (climatisation ou ventilation double flux)	
	Note	3	5	2		1	3
Cyclones (Outremer)	Justification	Cyclones peuvent toucher tout le territoire en zone concernée	Personnes vulnérables : difficultés en cas d'évacuation	Absence de règle technique à jour pour la construction paracyclonique neuve, quelle que soit la région océanique.	Forte assise foncière et fondations solides : protection contre les cyclones	Pas d'équipements possibles contre les cyclones	
	Note		5	3	2	5	4



2. Tertiaire hors bureaux (commerces, équipements publics, hôtels etc.)

	Critères	Localisation	Occupants/usages	Etudes préalables et contrôles techniques	Infrastructures	Equipements	Moyenne
Vagues de chaleur	Justification	Bâtiments généralement implantés dans des zones urbaines imperméabilisées	Population d'âge mixte (population active considérée comme non vulnérable) / Usage temporaire	Etudes préalables et contrôles techniques réalisés (notamment liés à la réglementation ERP)	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Equipements performants (ex: ventilation double flux)	
	Note	4	2	2		2	3
Sécheresse/ retrait-gonflement des argiles	Justification	Forte imperméabilisation, peu de risques de RGA	Population mixte (personnes jeunes et âgées) / Usage temporaire	Prise en compte du risque lors de la conception	Hétérogénéité des infrastructures	Pas d'équipement pertinent pour les RGA	
	Note	2	2	2	3		2
Inondations	Justification	Pas d'implantation type vis-à-vis du risque inondation	Occupation temporaire, évacuation facilitée par la réglementation ERP	Etudes préalables et contrôles techniques en cas de construction dans zone à risque	Hétérogénéité des infrastructures	Equipements hétérogènes (absence de référentiel de construction neuve en zone inondable hors PPR, il existe un référentiel de travaux sur l'existant mais sans statut professionnel)	
	Note		1	3	3	3	3
Submersions marines	Justification	Forte attractivité du bord de mer pour les hôtels, certains commerces etc.	Occupation temporaire, évacuation facile liée à la réglementation ERP	Etudes préalables et contrôles techniques en cas de construction dans zone à risque	Hétérogénéité des infrastructures	Equipements hétérogènes (absence de référentiel de construction neuve en zone inondable hors PPR, il existe un référentiel de travaux sur l'existant mais sans statut professionnel)	
	Note	4	1	3	3	3	3
Risques sanitaires	Justification	Risques sanitaires répartis sur tout le territoire	Brassage important de population	Pas de prise en compte des risques sanitaires lors de la conception	Pas d'impact des infrastructures sur les risques sanitaires	Equipements performants (notamment ventilation de l'air)	
	Note		4	4		1	3
Feux de forêt	Justification	Zone urbaine (hormis les gîtes ruraux) avec une faible présence de forêts à proximité	Occupation temporaire	Réglementations ERP pour l'incendie	Pas d'impact des infrastructures sur le risque incendie	Equipements bien maintenus (ERP)	
	Note	2	2	2		1	2
Chaleur humide (Outremer)	Justification	Bâtiments généralement implantés dans des zones urbaines imperméabilisées	Population mixte non considérée comme vulnérable/ Usage temporaire	Etudes préalables et contrôles techniques réalisés (notamment liés à la réglementation ERP)	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Equipements performants (climatisation ou ventilation double flux)	
	Note	3	3	2		2	3
Cyclones (Outremer)	Justification	Cyclones peuvent toucher tout le territoire dans les zones concernées	Peu de personnes dans les commerces en centre-ville à l'opposé des grandes surfaces en périphérie	Absence de règle technique à jour pour la construction paracyclonique neuve, quelle que soit la région océanique.	Assise foncière et infrastructures souvent faibles	Pas d'équipements possibles contre les cyclones	
	Note		3	3	4	5	4



3. Etablissements d'enseignement (collèges, lycées, universités, etc.), de formation, centres de vacances

	Localisation	Occupants/usages	Etudes préalables et contrôles techniques	Infrastructures	Equipements	Moyenne
Vagues de chaleur	Pas de lieu d'implantation type	Public jeune /Usage temporaire	Etudes souvent poussées, notamment du fait de compétences de la maîtrise d'ouvrage (département pour les collèges et région pour les lycées)	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Pas de présence d'équipement ou équipement peu performant	
		3	2		4	3
Sécheresse/retrait-gonflement des argiles	Pas d'implantation type	Public jeune / Usage temporaire	Etudes souvent poussées, notamment du fait de compétences de la maîtrise d'ouvrage (département pour les collèges et région pour les lycées)	Forte assise foncière : fondations solides et profondes	Pas d'équipement pertinent pour les RGA	
		2	2	2		2
Inondations	Pas d'implantation type vis-à-vis du risque inondation	Public jeune / Usage temporaire	Etudes préalables et contrôles techniques poussés en cas de construction dans zone à risque	Peu d'espaces en sous-sols	Equipements performants liés notamment à la compétence de la maîtrise d'ouvrage (département pour les collèges et régions pour les lycées)	
		1	2	4	1	2
Submersions marines	Peu de bâtiments de ce type à proximité immédiate de la mer	Public jeune / Usage temporaire	Etudes préalables et contrôles techniques poussés en cas de construction dans zone à risque	Peu d'espaces en sous-sols comme des parkings qui peuvent absorber l'eau	Equipements performants liés notamment à la compétence de la maîtrise d'ouvrage (département pour les collèges et régions pour les lycées)	
	1	1	2	4	1	2
Risques sanitaires	Risques sanitaires répartis sur tout le territoire	Usage temporaire avec un brassage important de population, population jeune potentiellement plus résistante	Pas de prise en compte des risques sanitaires lors de la conception	Pas d'impact des infrastructures sur les risques sanitaires	Peu d'équipements	
		3	4		3	3
Feux de forêt	A proximité des habitations donc en centre-ville ou à proximité du centre-ville (rarement situés à proximité des forêts)	Occupation temporaire mais potentielle difficulté à évacuer beaucoup de jeunes	Réglementations ERP pour l'incendie	Pas d'impact des infrastructures sur le risque incendie	Equipements bien maintenus (ERP)	
	2	3	2		1	2
Chaleur humide (Outremer)	Pas de lieu d'implantation type	Public jeune /Usage temporaire	Etudes souvent poussées, notamment du fait de compétences de la maîtrise d'ouvrage (département pour les collèges et région pour les lycées)	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Equipements souvent peu performants	
	4	3	2			3
Cyclones (Outremer)	Cyclones peuvent toucher tout le territoire dans les zones concernées	Public jeune mais parfois trop jeunes (primaires et collèges) / Usage temporaire	Absence de règle technique à jour pour la construction paracyclonique neuve, quelle que soit la région océanique.	Forte assise foncière et fondations solides	Pas d'équipements possibles contre les cyclones	
		3	3	2	5	3



4. Tertiaire (administrations, banques, bureaux etc.)

	Localisation	Occupants/usages	Etudes préalables et contrôles techniques	Infrastructures	Equipements	Moyenne
Vagues de chaleur	Implantation fréquente dans des zones urbaines fortement imperméabilisées	Personnes jeunes (Moins de 62 ans : âge de la retraite) / Occupation temporaire	Etudes préalables et contrôles techniques poussés (RT 2012/RE 2020) / Simulation thermique dynamique	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Equipements performants (climatisation ou ventilation double flux)	
	5	1	1		1	2
Sécheresse/ retrait-gonflement des argiles	Forte imperméabilisation, peu de risques de RGA	Personnes jeunes (Moins de 62 ans : âge de la retraite) / Occupation temporaire	Prise en compte du risque lors de la conception	Forte assise foncière : fondations solides et profondes, présence fréquente de parkings	Pas d'équipement pertinent pour les RGA	
	1	2	2	2		2
Inondations	Bâtiments généralement situés en zones fortement imperméabilisées: risque de ruissellement amplifié	Personnes moins vulnérables (Moins de 62 ans : âge de la retraite) / Occupation temporaire	Etudes préalables et contrôles techniques poussés en cas de construction dans zone à risque	Présence fréquente de parkings, ce qui permet d'avoir des zones tampons pour l'inondation	Equipements type pompes, batardeaux, clapets anti-retours etc.	
	4	2	2	2	1	2
Submersions marines	Peu de bâtiments de ce type à proximité immédiate de la mer	Personnes moins vulnérables (Moins de 62 ans : âge de la retraite) / Occupation temporaire	Etudes préalables et contrôles techniques poussés en cas de construction dans zone à risque	Présence fréquente de parkings, ce qui permet d'avoir des zones tampons pour l'inondation	Equipements type pompes, batardeaux, clapets anti-retours etc.	
	3	2	2	2	1	2
Risques sanitaires	Risques sanitaires répartis sur tout le territoire	Brassage important de population	Pas de prise en compte des risques sanitaires lors de la conception	Pas d'impact des infrastructures sur les risques sanitaires	Equipements performants (climatisation ou ventilation double flux)	
		4	4		1	3
Feux de forêt	Principalement en zone urbaine (rarement à proximité des forêts)	Occupation temporaire	Occupation temporaire	Pas d'impact des infrastructures sur le risque incendie	Equipements bien maintenus (ERP)	
	2	2	2		1	2
Chaleur humide (Outremer)	Implantation fréquente dans des zones urbaines fortement imperméabilisées	Personnes jeunes (Moins de 62 ans : âge de la retraite) / Occupation temporaire	Etudes préalables et contrôles techniques poussés (RT 2012/RE 2020) / STD (Simulation thermique dynamique)	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Equipements performants (climatisation ou ventilation double flux)	
	2	2	2			2
Cyclones (Outremer)	Cyclones peuvent toucher tout le territoire dans les zones concernées	Personnes jeunes (Moins de 62 ans : âge de la retraite) / Occupation temporaire	Absence de règle technique à jour pour la construction paracyclonique neuve, quelle que soit la région océanique.	Forte assise foncière et fondations solides	Pas d'équipements possibles contre les cyclones	
		2	3	2	5	3



5. Logements collectifs

	Localisation	Occupants/usages	Etudes préalables et contrôles techniques	Infrastructures	Equipements	Moyenne
Vagues de chaleur	Pas de lieu d'implantation type	Tout le spectre de la population, comprenant des personnes vulnérables et des personnes jeunes, mais également des personnes moins vulnérables	Etudes plus poussées que la maison individuelle, mais moins que le tertiaire	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Equipements performants, généralement maintenus et remplacés	
		3	3		3	3
Sécheresse/ retrait-gonflement des argiles	Pas d'implantation type	Tout le spectre de la population	Etudes préalables réalisées dans la plupart des cas, contrairement aux maisons individuelles	Forte assise foncière : fondations solides et profondes, présence fréquente de parkings, locaux techniques etc	Pas d'équipement pertinent pour les RGA	
		3	3	2		3
Inondations	Pas d'implantation type vis-à-vis du risque inondation	Tout le spectre de la population, occupation permanente (logement) donc difficultés fortes en cas de non possibilité d'habitation pendant plusieurs jours/semaines	Absence de référentiel de construction neuve en zone inondable hors PPR, il existe un référentiel de travaux sur l'existant mais sans statut professionnel	Présence fréquente de parkings, ce qui permet d'avoir des zones tampons pour l'inondation	Equipements type pompes, batardeaux, clapets anti-retours etc.	
		5	3	2	1	3
Submersions marines	Attractivité du bord de mer	Tout le spectre de la population, occupation permanente (logement) donc difficultés fortes en cas de non possibilité d'habitation pendant plusieurs jours/semaines	Absence de référentiel de construction neuve en zone inondable hors PPR, il existe un référentiel de travaux sur l'existant mais sans statut professionnel	Présence fréquente de parkings, ce qui permet d'avoir des zones tampons pour l'inondation	Equipements type pompes, batardeaux, clapets anti-retours etc.	
	4	5	3	2	1	3
Risques sanitaires	Risques sanitaires répartis sur tout le territoire	Possibilité d'isolement dans les logements (notamment en cas de confinement)	Pas de prise en compte des risques sanitaires lors de la conception	Pas d'impact des infrastructures sur les risques sanitaires	Equipements de ventilation généralement bien maintenus	
		1	4		2	2
Feux de forêt	Proximité possible de forêts	Occupation permanente, possible traumatisme psychologique. Evacuation difficile si nombreux étages	Intégration des normes anti-incendie dans la construction (Code de la construction et de l'habitation)	Pas d'impact des infrastructures sur le risque incendie	Equipements maintenus	
	3	4	2		3	3
Chaleur humide (Outremer)	Pas de lieu d'implantation type	Tout le spectre de la population, comprenant des personnes vulnérables et des personnes jeunes, mais également des personnes moins vulnérables	Etudes plus poussées que la maison individuelle, mais moins que le tertiaire	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Equipements performants, généralement maintenus et remplacés	
	4	4	4			4
Cyclones (Outremer)	Cyclones peuvent toucher tout le territoire dans les zones concernées	A titre de lieu d'habitation, présence de publics vulnérables	Absence de règle technique à jour pour la construction paracyclonique neuve, quelle que soit la région océanique.	Forte assise foncière et fondations solides	Pas d'équipements possibles contre les cyclones	
		4	3	2	5	4



6. Maisons individuelles

	Localisation	Occupants/usages	Etudes préalables et contrôles techniques	Infrastructures	Equipements	Moyenne
Vagues de chaleur	Présence essentiellement en zone périurbaine ou rurale, proximité avec la végétation	Tout le spectre de la population incluant des personnes vulnérables.	Souvent peu d'études complémentaires en dehors de la réglementation thermique	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Absence d'équipement ou équipements peu performants mal maintenus dans le temps.	
	2	3	4		5	4
Sécheresse/ retrait-gonflement des argiles	Zone rurale et périurbaine: risques importants en zone argileuse (1/5 du territoire en zone de risque de RGA fort ou moyen)	Tout le spectre de la population	Absence de référentiel de construction neuve en zone d'aléa RGA hors PPR + guides ARGIC sans statut professionnel	Faible assise foncière : fondations peu profondes et peu solides	Pas d'équipement pertinent pour les RGA	
	4	3	5	5		4
Inondations	Absorption d'une partie des pluies par la végétation mais risque en cas de trop forte imperméabilisation	Tout le spectre de la population, occupation permanente (logement) donc difficultés fortes en cas de non possibilité d'habitation pendant plusieurs jours/semaines	Absence de référentiel de construction neuve en zone inondable hors PPR, il existe un référentiel de travaux sur l'existant mais sans statut professionnel	Peu d'infrastructures	Pas ou peu d'équipements	
	4	5	3	4	4	4
Submersions marines	Attractivité du bord de mer	Parc immobilier constitué en partie de résidences secondaires, ce qui atténue les difficultés de relogement en cas de submersion	Absence de référentiel de construction neuve en zone inondable hors PPR, il existe un référentiel de travaux sur l'existant mais sans statut professionnel	Peu d'infrastructures	Peu d'équipements	
	5	4	3	4	4	4
Risques sanitaires	Risques sanitaires répartis sur tout le territoire	Possibilité d'isolement dans les logements	Pas de prise en compte des risques sanitaires lors de la conception	Pas d'impact des infrastructures sur les risques sanitaires	Pas ou peu d'équipements de renouvellement de l'air	
		1	4		4	3
Feux de forêt	Proximité possible de forêts	Occupation permanente, possible traumatisme psychologique. Evacuation assez facile (pas ou peu d'étages)	Intégration des normes anti-incendie dans la construction (Code de la construction et de l'habitation)	Pas d'impact des infrastructures sur le risque incendie	Peu d'équipements, souvent pas maintenus	
	4	3	2		4	3
Chaleur humide (Outremer)	Présence essentiellement en zone périurbaine ou rurale, proximité avec la végétation	Tout le spectre de la population, comprenant des personnes vulnérables et des personnes jeunes, mais également des personnes moins vulnérables	Seulement prise en compte de la RT 2012, peu d'études complémentaires	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Equipements souvent peu performants ou mal maintenus	
	4	5	5			5
Cyclones (Outremer)	Cyclones peuvent toucher tout le territoire dans les zones concernées	A titre de lieu d'habitation, personnes vulnérables (surtout en zone rurale)	Absence de règle technique à jour pour la construction paracyclonique neuve, quelle que soit la région océanique.	Faible assise foncière, fondations peu solides et peu profondes	Pas d'équipements possibles contre les cyclones	
		5	3	4	5	4



7. Bâtiments à destination agricole et industrielle (type hangars, entrepôts)

	Localisation	Occupants/usages	Etudes préalables et contrôles techniques	Infrastructures	Equipements	Moyenne
Vagues de chaleur	Présence en zone rurale, peu urbanisée	Risques de grosses pertes économiques (abris d'animaux, stocks de produits agricoles...), mais pas d'humains abrités	Très peu de réglementation et d'études techniques	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Absence d'équipement ou équipements non performants	
	1	4	5		4	4
Sécheresse/ retrait-gonflement des argiles	Zone rurale : risques importants en zone argileuse	Pas d'humains abrités	Généralement pas/peu de fondations donc pas d'étude de ce risque	Pas ou peu de fondations	Pas d'équipement pertinent pour les RGA	
	4	2	4	4		4
Inondations	Zone rurale : peu d'activités d'aménagement (opportunité et contrainte à la fois)	Risques de pertes économiques importantes (abris d'animaux, stocks de produits agricoles...), mais pas d'humains abrités	Absence de référentiel de construction neuve en zone inondable hors PPR, il existe un référentiel de travaux sur l'existant mais sans statut professionnel	Généralement peu d'infrastructures	Absence d'équipement ou équipements non performants	
	3	4	3	3	3	3
Submersions marines	Peu de bâtiments à proximité de la mer, en dehors des hangars dédiés à la pêche	Risques de pertes économiques importantes (abris d'animaux, stocks de produits agricoles...), mais pas d'humains abrités	Absence de référentiel de construction neuve en zone inondable hors PPR, il existe un référentiel de travaux sur l'existant mais sans statut professionnel	Généralement peu d'infrastructures	Absence d'équipement ou équipements non performants	
	2	5	3	3	3	3
Risques sanitaires	Risques sanitaires répartis sur tout le territoire	Proximité des produits agricoles ou animaux pouvant conduire à des risques sanitaires	Pas de prise en compte des risques sanitaires lors de la conception, mais pas d'abri d'humains	Pas d'impact des infrastructures sur les risques sanitaires	Absence d'équipement ou équipements non performants	
		3	2	2	4	3
Feux de forêt	Principalement localisés en milieu rural (à proximité des forêts), surtout les bâtiments à destination agricole	Produits dangereux/ inflammables, risques de grosses pertes économiques (abris d'animaux, stocks de produits agricoles...), mais pas d'humains abrités	Peu d'études	Pas d'impact des infrastructures sur le risque incendie	Absence d'équipement ou équipements non performants	
	5	3	4		4	4
Chaleur humide (Outremer)	Présence en zone rurale, peu urbanisée	Risques de grosses pertes économiques (abris d'animaux, stocks de produits agricoles...), mais pas d'humains abrités	Très peu de réglementation et d'études techniques	Pas de lien fort entre présence ou non d'infrastructure et sensibilité aux vagues de chaleur	Absence d'équipement ou équipements non performants	
	5	5	5		2	4
Cyclones (Outremer)	Cyclones peuvent toucher tout le territoire dans les zones concernées	Risques de grosses pertes économiques (abris d'animaux, stocks de produits agricoles...), mais pas d'abri d'humains	Absence de règle technique à jour pour la construction paracyclonique neuve, quelle que soit la région océanique.	Hétérogénéité des fondations	Pas d'équipements possibles contre les cyclones	
		3	3	3	5	4

3. Annexe 3 : Synthèse des entretiens

Nous avons procédé à 12 entretiens avec des experts de France métropolitaine, d'Outremer et à l'international.

France métropolitaine	Outremer	International
Karim SELOUANE (Resalliance)	Simon CHAUVAT (LEU Réunion)	Jeffrey RAVEN (New York Institute of Technology)- ETATS-UNIS
Alexandra LEBERT/Romain MEGE (CSTB)	Priscillia PRIVAT (H3C Caraïbes)	Stéphanie LOPEZ (Vivre en ville) - CANADA
Kevin DEDIEU (Descartes Underwriting)	Amélie BELFORT/Anne-Laure FRENET (Synergile)	Edward NG (Chinese University of Hong Kong)- CHINE
		Sascha GLASL (Space and Matter) - PAYS-BAS
		Whitney Gray (IWBI) -ETATS-UNIS
		Hicham MASTOURI/ Hicham BAHIMAROC

Les experts que nous avons interrogés ont identifié les risques suivants pour les bâtiments en raison du changement climatique :

- Il existe un risque de reconstruction à l'identique après des ouragans car l'aspect social prime sur la durabilité (nécessité de reconstruire très vite pour limiter les drames humains).
- Confrontation à une forte augmentation des installations de climatisations, notamment en Outremer
- Il y a une distinction entre les risques immédiats (cyclones et pluies diluviennes) qui sont souvent mieux intégrés et les risques progressifs (vagues de chaleur et érosion des côtes) qui sont souvent négligés.
- Il peut y avoir contradiction entre bâtiment résilient (qui peut impliquer de nombreux équipements, renforcement de certains matériaux etc.) et bâtiment bas carbone
- La submersion marine (et la salinité qui corrode les matériaux) est un risque nouveau et en forte augmentation pour de nombreuses régions, y compris très peuplées
- Certains bâtiments (notamment à proximité de la mer ou d'un fleuve) ne seront plus assurables car les primes d'assurance seront trop élevées
- Beaucoup de bâtiments rendent leurs occupants malades (c'est le syndrome du « sick building syndrom » aux Etats-Unis) car ils sont notamment trop isolés. Il faut que les travaux d'adaptation intègrent pleinement la santé de leurs occupants

Les solutions qu'ils préconisent sont les suivantes :

- **Solutions « grises »**
 - o Démocratiser les logiciels pour que des villes et des architectes urbanistes puissent s'en saisir facilement
 - o Développer les préfabriqués où l'on peut intégrer des nouvelles technologies (comme des matériaux à changement de phase par exemple)
 - o Réfléchir à des solutions qui soient réversibles dans le temps (d'où une certaine modestie dans l'acte de construire, on ne peut pas anticiper tous les besoins futurs).
 - o Intégrer les contreparties sociales et environnementales pour limiter les surcoûts dans les modèles financiers liés à certaines solutions.
 - o Construire en anticipant les risques d'inondation et de submersion : par exemple ne pas construire de logements en rez-de-chaussée, mais des parkings ou activités économiques

- o Construire de grands réservoirs pour stocker l'eau en cas de tempêtes ainsi que des grands systèmes de pompage
 - o Créer de systèmes de défense côtière contre les submersions
 - o Adapter le béton utilisé pour les infrastructures pour l'adapter aux fortes chaleurs
 - o Développer les maisons flottantes voire amphibies (pour l'instant rattachées à la terre mais capable de flotter si la marée monte). Il faut améliorer la législation pour que ces maisons soient mieux prises en compte.
 - o Développer les lits de galets qui permettent d'avoir un plancher bas avec une température modulable de manière quasi-passive
- **Solutions « vertes » ou « bleues »**
- o Créer des "land banks", c'est-à-dire des îlots non développés qui restent verts mais qui bénéficient à tout le quartier
 - o Développer le potentiel aéraulique des bâtiments pour favoriser la ventilation naturelle. Créer des villes "poreuses" et donner "droit au vent".
 - o Développer les infrastructures vertes pour gérer les eaux pluviales
 - o Développer des matériaux locaux, notamment en Outremer, comme le bambou qui est un matériau local peu carboné, et qui peut faire partie de la structure porteuse
 - o Végétaliser les villes et protéger les arbres (en leur attribuant un numéro et en infligeant des amendes à ceux qui les abattent)
- **Solutions « douces »**
- o Faire dialoguer les différentes directions entre elles (RSE, technique, risques) chez les promoteurs et les foncières
 - o Ne pas considérer les bâtiments comme des objets isolés. Quand on conçoit des quartiers, il faut prendre en compte les gens qui y vivent. La résilience n'est pas que technique mais aussi comportementale, aussi faut-il favoriser les réseaux d'entraide.
 - o Intégrer pleinement le risque chaleur dans les nouveaux quartiers en plus du risque hydrique
 - o Promouvoir davantage de coopération entre les secteurs privé et public : les collectivités locales ont besoin d'accompagnement et pas seulement d'outils.
 - o Appliquer les normes de façon intelligente pour ne pas surdimensionner les façades (ce qui a un coût carbone). Pratiquer des études en soufflerie plutôt que d'appliquer les Eurocodes de manière mécanique.
 - o En Outremer, valoriser les savoir-faire locaux en évitant de tout construire selon des normes européennes qui ne sont pas adaptées.
 - o Collecter des données à l'échelle locale sur les évolutions climatiques et créer des observatoires locaux. Adopter les constructions et la végétalisation au micro-climat local (indice eau, indice chaleur etc.)
 - o Fiabiliser l'acte de construire : renforcer les contrôles sur les chantiers, éviter la dilution des responsabilités, former les artisans à l'adaptation
 - o Mettre en place des stratégies collectives, notamment à l'échelle des bassins versants
 - o Développer des systèmes de prévention des vagues de chaleur et prévoir les conduites à adopter à destination des personnes âgées: notamment création de zones refuges en cas de fortes chaleurs
 - o Lier les primes d'assurance à la façon dont les bâtiments sont construits (ou reconstruits), ainsi qu'aux aléas auxquels ils sont exposés (catégorie de cyclones par exemple)
 - o Lutter contre la maladaptation: certains travaux vont créer des désordres chez les voisins (comme la création d'un mur qui va créer une inondation ailleurs)
 - o Intégrer dans le prochain CatNat plus de préconisations liées au Build Back Better
 - o Concevoir des bâtiments qui prennent en compte différents usages et différentes populations (les normes sont souvent faites pour ne convenir qu'à des hommes d'âge moyen, alors qu'il faut également prendre en compte les besoins des femmes, des enfants, des personnes âgées etc.) "Les stratégies pour les extrêmes bénéficient aux moyennes."
 - o Utiliser les leviers de l'investissement ESG pour améliorer le Social dans les bâtiments et pas seulement l'Environnemental
 - o Travailler avec les citoyens : l'investissement des citoyens dans leurs logements/quartiers prend bien mieux en compte les risques que les investisseurs traditionnels

- o S'assurer que les quartiers construits soient accessibles au plus grand nombre et ne soient pas des ghettos de riches. Cela nécessite de ne pas surinvestir dans la technique, mais de travailler la gouvernance des projets.
- o Intégrer la façon dont les personnes sont habillées (cf CoolBiz au Japon), permettre l'adaptation des horaires dans les bureaux etc.

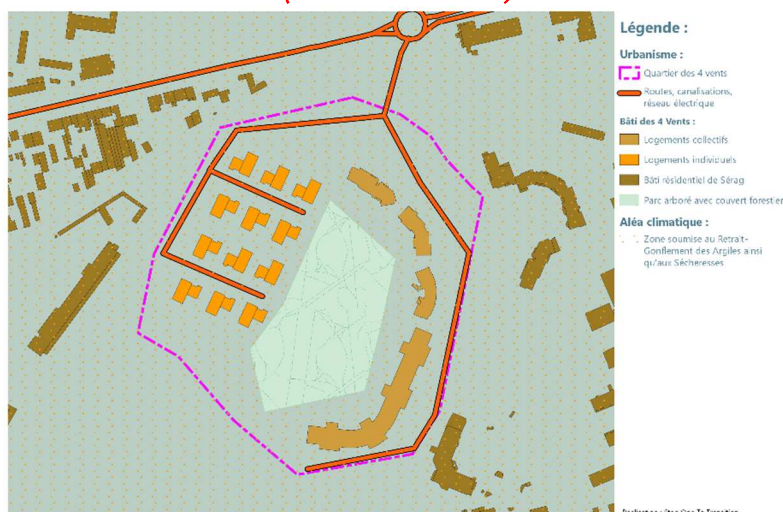
Leurs attentes vis-à-vis de l'Ademe :

- Aider à rapprocher les chercheurs et les professionnels du bâtiment
- Davantage communiquer sur ses outils en faveur de l'adaptation. Proposer une rubrique spéciale Adaptation dans ses aides.
- Généraliser l'outil que finance l'Ademe sur l'évaluation carbone des bâtiments tertiaires à la Réunion à d'autres territoires. Ces outils doivent être développés et rendus plus connus.
- Diffuser les réflexions sur la ventilation naturelle
- Aider à lever les freins assurantiels, culturels etc. sur la mise en œuvre des biosourcés
- Créer des fichiers météo spécifiques à l'Outremer d'ici 2050 pour les STD
- Faire un guide des malfaçons pour capitaliser dessus et éviter qu'elles ne se reproduisent
- Contribuer à mobiliser l'ensemble du secteur public sur la mise en place d'exigences à l'échelle territoriale et à l'échelle d'un bâtiment.
- Traiter le volet sanitaire et notamment les maladies vectorielles dans les politiques d'adaptation
- Mener des appels à projets spécifiques sur l'adaptation
- Avoir des échanges amont CSTB/Ademe avant la publication d'un AMI ou appels à projets.
- Etablir des équivalences de produits de construction entre produits CE (demandés par la réglementation) et produits disponibles en Outremer.

4. Annexe 4: Idéotypes transmis aux participants des ateliers d'intelligence collective

Un dossier de préparation aux ateliers d'intelligence collective a été transmis en février 2022 aux participants inscrits ; il contenait la description des idéotypes sur lesquels les participants ont travaillé les 1^{er} et 10 mars 2022.

Cas numéro 1 : quartier résidentiel soumis aux sécheresses et retrait-gonflement des argiles (atelier du 1^{er} mars)



Le quartier résidentiel des 4 vents est composé de 4 immeubles collectifs et d'une dizaine de pavillons dans la ville de Sérarg, ville de taille moyenne (30 000 habitants selon le dernier recensement) où les amplitudes de température (hiver et été) sont très importantes. Cette ville se situe dans les plaines, entre mer et montagne. Les projections climatiques mettent en évidence, une augmentation de la température moyenne ; se traduisant par une augmentation marquée de l'amplitude et une baisse accentuée de la pluviométrie moyenne.

Le quartier des 4 vents est parfaitement intégré dans son environnement et relié à tous les réseaux urbains (assainissement, électricité etc.). Au centre du quartier se trouve un espace récréatif disposant d'un couvert forestier composé d'arbres grandes hauteurs, permettant aux habitants de jouir d'un espace vert s'ils n'ont pas de jardins.

Les logements individuels ont des structures assez légères, parfois fondées de façon superficielle, sur des semelles peu profondes et peu armées et avec un dallage sur terre-plein. Par ailleurs, de nombreux habitants possèdent des garages ou vérandas attenantes. Les logements collectifs possèdent une structure en maçonnerie peu rigide, sans chaînage des différents étages entre eux. Ces logements disposent d'une faible isolation, provoquant un certain inconfort des habitants. Comme des études de sol l'ont montré, ce quartier est situé sur une zone argileuse soumise aux variations de teneur en eau dans le sol. Depuis quelques années, des sinistres liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles ont été observés sur le territoire (fissuration des structures enterrées ou de surface, dislocation des cloisons, affaissement du bâtiment, rupture de tuyauteries, décollement des bâtiments annexes ou terrasses).

Enfin, ce territoire est également sensible aux vagues de chaleur, l'agencement des bâtiments provoquant un « effet canyon » augmentant fortement l'inconfort thermique des habitants en été. Certains habitants, et notamment les personnes sensibles ; ont déjà commencé à s'équiper en climatisation mobile. A la fin du siècle, il est estimé que la majorité du territoire français sera concerné par des sécheresses et que des étés aux températures semblables à 2003 auront lieu tous les 2 à 3 ans. Les modèles scientifiques du GIEC s'accordent également sur le fait que le changement climatique s'accompagnera d'une hausse vraisemblable du nombre et de l'intensité des épisodes de fortes chaleurs.



Mesures d'adaptation



Sensibilisation des occupants

- Informations sur les risques encourus dans le bâtiment
- Organisation de formations et actions de sensibilisation
- Sensibilisation des occupants aux systèmes de rafraîchissement passif des immeubles (ventilation naturelle, double-flux, sur-ventilation nocturne - freecooling)
- Prise en compte des problématiques Retrait-gonflement des argiles et vagues de chaleur dès la conception et la rénovation des bâtiments (études des sols, hydrométries, topographiques, aéraulique etc.)

Protection des réseaux

- Mise en place d'un maillage des réseaux pour assurer la continuité des services
- Installation de joints souples au niveau des raccords et canalisations et matériaux flexibles
- Etanchéisation des canalisations

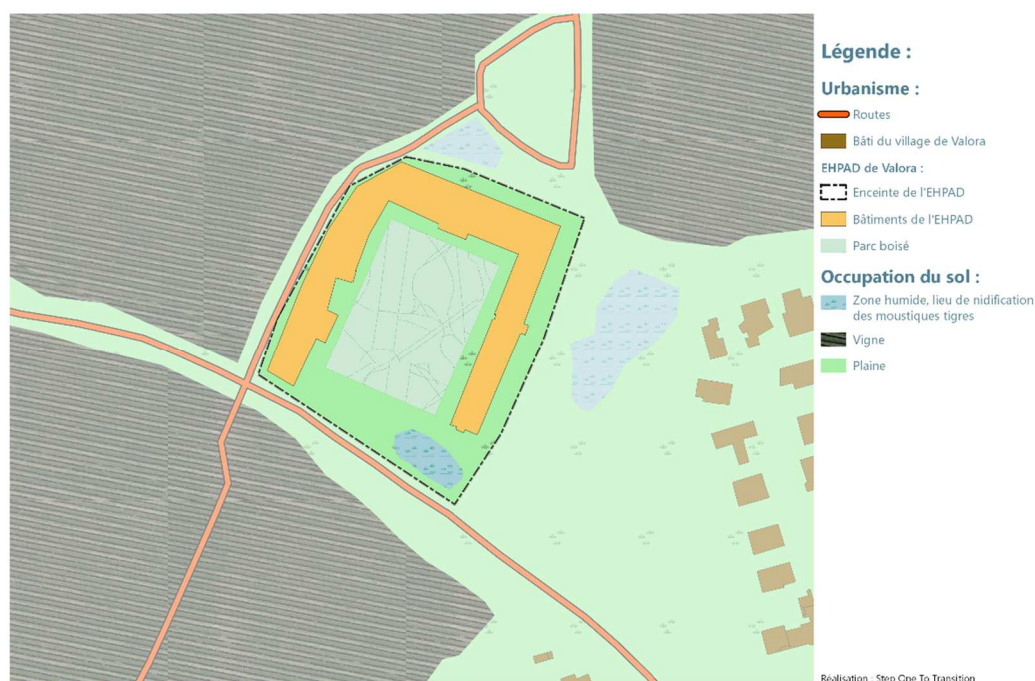
Augmentation de la résistance de la structure

- Report des charges sous le plan de glissement (pieux, voiles)
- Radier généralisé renforcé
- Désolidarisation des éléments de structure qui ne possèdent pas les mêmes fondations ou qui exercent des charges variables (bâti principal, véranda, garage) et pose d'un joint de rupture
- Pose de joints de dilatation
- Appui sur des semelles isolées
- Rehaussement par injection de résine synthétique
- Augmentation de la profondeur d'appui des fondations via un sous-sol total ou des semelles filantes approfondies
- Humidification des fondations
- Mise en place de chaînages au niveau des planchers et sur les rampants des pignons et les tranches du bâtiment et pose d'une croix de chaînage
- Séparation statique entre le sous-sol et les étages supérieurs
- Ancrage en sol meuble ou en rocher
- Mise en place de dispositifs de soutènement
- Mise en place d'un filet de retenue
- Mise en place de linteaux au-dessus des ouvertures
- Raccordement des eaux de toiture au réseau collectif ou à un réservoir hors sol

Aménagements des espaces extérieurs

- Trottoirs étanches et supérieurs à 1,5m autour du bâtiment
- Dispositifs de drainages à plus de 2m du bâtiment
- Géomembrane d'une largeur supérieure à 1,5m tout autour du bâtiment
- Plantation d'arbres adaptés au climat à une distance supérieure à leur hauteur à l'âge adulte
- Présence d'une isolation thermique en cas de chaudière en sous-sol
- Mise en place d'un écran anti-racines si la végétation ne peut être éloignée
- Végétation adaptée aux phénomènes de vague de chaleur pour le refuge des populations
- Schémas de quartiers en quinconce

Cas numéro 2 : résidence pour personnes âgées soumise au risque de vagues de chaleur (atelier du 1^{er} mars)



La commune de Valora, petite commune des régions viticoles, possède sur son territoire une résidence pour personnes âgées. Cette résidence, de type EHPAD, loge près de 200 personnes, dont certaines très dépendantes (difficultés motrices, mentales etc.). Cet établissement, fortement médicalisé, possède de nombreux équipements nécessitant une alimentation électrique.

Cette résidence, construite en maçonnerie traditionnelle, dispose de larges baies-vitrées dans les parties communes (réfectoires, entrée etc.). Au cœur de la résidence, un petit jardinet, permet aux résidents mobiles et accompagnés de se promener et de profiter de l'ombre des arbres. Les ouvertures sont sécurisées et ne peuvent être que très peu ouvertes. La température de consigne est fixée à 22°C, mobilisant du fioul pour chauffer en hiver et la climatisation pour rafraîchir en été.

Les projections climatiques mettent en évidence une augmentation de la température moyenne et une augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur à cet endroit.

Or, cette résidence abrite des personnes vulnérables à la chaleur. Les équipements de ce bâtiment, nécessaires à la survie de ces personnes doivent continuer à fonctionner quelle que soit la situation. La population de cet établissement s'est trouvée durement touchée par la vague de chaleur de 2020. Outre les taux de mortalité plus élevés, une étude (Santé Publique France) a estimé que l'impact sanitaire lié aux vagues de chaleur se situait, entre 2015 et 2020, entre 22 et 37 milliards d'euros (hospitalisations, passages aux urgences, perte de production, perte de bien-être...). Certains de ces coûts peuvent être réduits avec une bonne prévention et des bâtiments adaptés. Outre ces risques, les résidents sont également soumis à certains risques sanitaires avec l'augmentation des températures, et notamment la présence de moustiques tigres, vecteur de maladies.

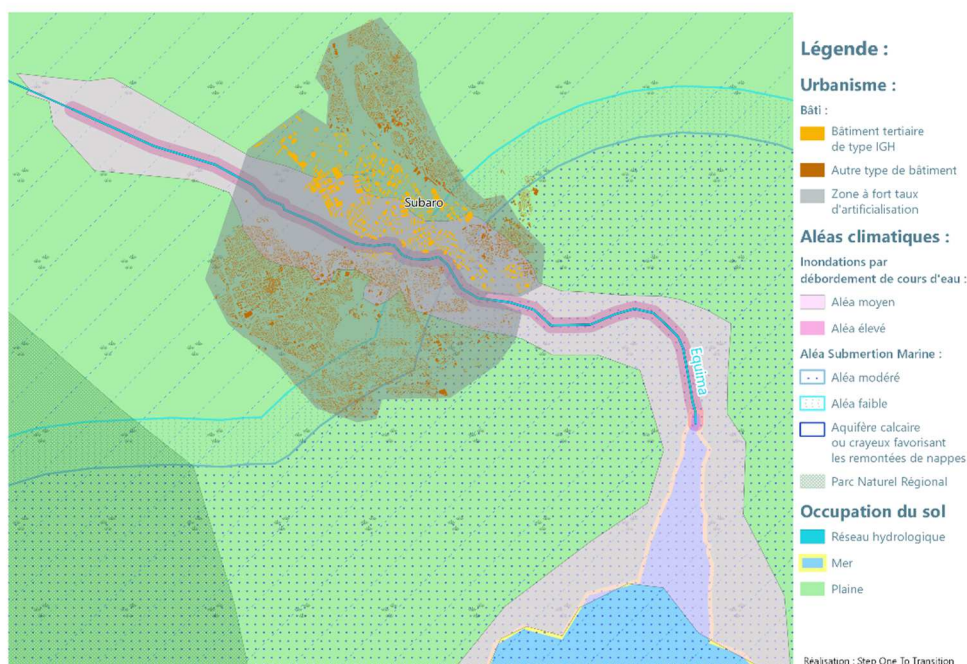


Mesures d'adaptation



Sensibilisation et changement des comportements	- Communication sur les risques à l'intérieur du bâtiment - Formation de personnes-relais (sécurité des personnes, protection du bâtiment etc.) - Développement du lien social - Adaptation des activités proposées en fonction de la chaleur (privilégier le matin)
Concevoir et rénover des bâtiments intégrant l'adaptation	- Intégration d'un mode dégradé dans les bâtiments pour le maintien des fonctions vitales via les réseaux, les voies d'accès, de l'autoconsommation électrique etc. - Utilisation d'outils numériques de simulation (diagnostics thermiques etc.)
Intégrer des systèmes de rafraîchissement	- Compression mécanique avec refroidissement aérothermique ou système à absorption EnR - Intégration de systèmes de ventilation (naturelle et mécanique contrôlée, double-flux) - Installation de systèmes GTB
Exposition des bâtiments	- Orientation principale fonction des caractéristiques climatiques et topographiques - Exposition des baies vitrées et locaux traversants (minimisation été/maximisation hiver) - Utilisation des ressources disponibles pour apports en froid et chaud
Gestion de l'inertie thermique	- Choix de matériaux et de revêtements de murs et de toits (notamment nouveaux matériaux comme terre, bambou, chanvre) à forte inertie thermique (dont MCP), des isolants à faible diffusivité et à fort déphasage pour l'extérieur et à forte effusivité pour les espaces intérieurs - Isolation thermique par l'extérieur et étanchéité à l'air des parois
Toitures, parois et vitrages protecteurs	- Peinture et traitement de surface du bâti réfléchissants - Végétalisation des toits et murs - Intégration de masques solaires fixes ou amovibles (auvents, brise-soleil, persiennes, débords de toits et balcons à l'étage, pare-soleil) ou de toits "parasols" ou "surtoitures" - Installation de vitrages à faible gain solaire ou bien de vitrage intelligent s'assombrissant
Aménagements intérieurs	- Jeu sur la perception visuelle, la couleur des parois - Création d'espaces tampons (îlots de fraîcheur) - Installations d'équipements contre les moustiques (moustiquaires, etc.)
Aménagements extérieurs	- Présence de végétation adaptée au climat (plantations caduques) - Désimperméabilisation des espaces (bétons poreux, dalles engazonnées, jardins de pluie) - Revêtements à fort albédo des voiries - Raccordement au réseau de froid urbain - Création de points d'eau et aménagement des espaces alentours

Cas numéro 3 : bâtiment de bureaux soumis aux inondations et submersion marine (atelier du 1^{er} mars)



Subano, ville de 70 000 habitants, est traversée par le fleuve Equima et se situe à moins de 5km l'estuaire du fleuve. Elle est située à proximité d'un parc naturel régional. Subano compte de nombreux bâtiments tertiaires de type IGH, qui à chaque crue d'Equima se retrouvent menacés d'inondations. La ville est également soumise au risque de submersion marine, ce qui implique une nécessaire résistance des éléments à la salinité des eaux. Les inondations par remontées de nappes sont également fréquentes sur ce territoire, où le sol est constitué d'aquifères calcaires ou crayeux, dont le faible volume d'interstices favorise une montée du niveau d'eau plus rapide et plus importante.

Les projections climatiques mettent en évidence une augmentation du niveau marin et de phénomènes extrêmes pluvieux sur le bassin versant.

Les bâtiments tertiaires sont mixtes, ils abritent des activités de commerce et de bureaux. Ils sont entièrement dépendants des réseaux et notamment électriques et de communication. Le fonctionnement de ces réseaux permet de maintenir l'activité des entreprises qui siègent à l'intérieur de ces bâtiments, mais ils ne sont pas spécialement protégés pour autant. Ils se trouvent dans un territoire complètement artificialisé sans végétation visible. Lors de grandes crues ou épisodes de fortes pluies ou grêle, l'eau peut s'infiltrer sous la porte d'entrée de ces bâtiments. Certaines enseignes ont accroché sur la façade des éléments sortant du gabarit (enseignes, supports de présentation etc.). Sur les étages supérieurs, s'agissant pour la plupart d'IGH, les fenêtres ne peuvent être ouvertes. Il y a des bureaux à tous les étages, y compris au rez-de-chaussée. Les constructions sont anciennes et les matériaux peu adaptés à un contact répété et/ou long à l'eau ce qui pourrait entraîner de nombreux frais d'assurances à la moindre inondation. L'impréparation des collectivités locales et la non-adaptation des bâtiments et des activités se sont fait ressentir lors des inondations de 2018 qui ont duré plusieurs semaines. Un certain nombre de mesures techniques et organisationnelles peuvent pourtant être mises en place.



Mesures d'adaptation



Sensibilisation et changement des comportements	- Communication sur les risques encourus via l'affichage de signalétiques - Formation des personnes-relais (sécurité des personnes, protection du bâtiment) - Mise en place des dispositifs d'alerte et de secours (plan de gestion de crise) - Flexibilisation des pratiques d'organisation du travail (lieu, orga interne, horaires, codes etc.) - Concentration des équipements et des activités aux étages supérieurs
Concevoir ou rénover des bâtiments en prenant en compte l'adaptation	- Utilisation de matériaux résistants à l'eau et à la salinité - Intégration d'un mode dégradé dans les bâtiments pour le maintien des fonctions principales via maillage des réseaux, surélévation des voies d'accès, autoconsommation électrique etc. - Analyse de la topographie du territoire - Adoption d'une stratégie "éviter", "résister" ou "céder" à l'eau
Aménagements intérieurs	- Modularité des systèmes : cloisons démontables facilement et multifonctionnalité - Isolants résistants à l'eau pour les cloisons et plafonds et revêtements imperméabilisants - Menuiseries résistantes à l'eau - en PVC, alu ou acier - Planchers résistants (béton armé et pas bois par exemple)
Résistance et liaisons entre les composants	- Fixation des éléments dépassant du gabarit de façade (enseignes etc.) et du mobilier externe - Renforcement des fondations contre le déchaussement partiel ou complet
Evacuation, élévation et mise hors d'eau	- Création de zones hors d'eau (zones refuges) avec équipements et trousse de survie - Relèvement des seuils de portes - Création d'un vide sanitaire, sous-sol ou garage - Installation de sorties du bâtiment aux étages
Protection des réseaux	- Etanchéité à l'eau de l'extrémité des fourreaux - Individualisation des circuits électriques zones inondées/parties hors d'eau - Protection des équipements contre la corrosion et la salinité (ventilation, chaleur, ECS etc.)
Dispositifs de protection d'entrée d'eau	- Clapets anti-retour sur les réseaux d'assainissement - Batardeaux devant les portes et portes-fenêtres et occultation des petites ouvertures
Aménagements extérieurs	- Désimperméabilisation des sols, création de puisards et de bassins de rétention - Imperméabilisation des murs (plâtre ou mortier hydrofuge etc.) - Végétalisation des façades et de la toiture - Lestage du mobilier urbain - Gestion des eaux pluviales (chemin d'écoulement eau, cuve de récupération)

Cas numéro 4 : Bâtiment tertiaire et entrepôt agricole soumis aux feux de forêt (atelier du 1^{er} mars)



L'éco-hameau des rêveurs se situe sur la commune de Mitila, en pleine campagne, au cœur des forêts et proche de la mer. Ces forêts sont principalement constituées de pins maritimes. L'éco-hameau des rêveurs est un domaine géré par 2 familles, qui comprend 4 hectares dédiés au maraîchage biologique (arbres fruitiers, légumes, légumineuses etc.) et 1 hectare dédié à l'élevage bovin. Sur la parcelle se situe une grange, un entrepôt, ainsi qu'un bâtiment tertiaire de commerce pour vendre les produits de la ferme et organiser des animations.

La grange est en bois avec un toit de tôle, l'entrepôt est en tôle et le bâtiment tertiaire en pierres. La végétation se trouve proche des bâtiments. L'éco-hameau se situe sur une zone soumise aux risques de feux de forêts, risque dont la probabilité va augmenter avec le changement climatique, en raison de l'évolution du climat et de la non-adaptation des essences d'arbres, les projections climatiques mettant en évidence une augmentation des périodes de sécheresses et donc une augmentation de la fréquence et de l'intensité des risques de feux de forêts.

Il y a quelques années, non loin de cette parcelle, un bâtiment de bureaux a brûlé en raison des brandons incandescents déposés par le vent sur le toit du bâtiment. Ils se sont coincés au niveau des acrotères et le bâtiment a entièrement pris feu, alors que celui-ci était invisible au premier passage des pompiers. Certaines techniques permettraient aux gérants de cet éco-hameau ou d'autres hameaux similaires de se prémunir d'une telle catastrophe. En effet, pour des familles ayant investi toutes leurs économies dans ce projet, perdre leur exploitation et leur troupeau en raison d'un feu signifierait perdre toute leur activité et leur gagne-pain.



Mesures d'adaptation



Sensibilisation et changement des comportements	- Adaptation des usages via la limitation des ouvertures sur les façades exposées aux feux - Nettoyage régulier des gouttières et toitures sur lesquelles se déposent déchets végétaux secs et inflammables - Formation de personnes-relais (pour mettre les personnes en sécurité, aider à la protection du bâtiment, mise en place de bonnes pratiques) - Mise en place des dispositifs d'alerte et de secours
Concevoir et rénover des bâtiments en prenant en compte l'adaptation	- Choix de matériaux non-inflammables - Prise en compte de la situation des constructions (fond de vallon ou crête par exemple) par rapport aux zones boisées
Toitures, parois et de vitrages protecteurs	- Suppression de l'usage des acrotères sur les toitures-terrasses, et tous les supports horizontaux (rebords de fenêtres etc.) notamment pour éviter la dépose de brandons incandescents - Bouchage de toutes sortes d'orifices, trous ou interstices qui pourraient conduire les brandons à l'intérieur - Réparation des menuiseries déformées permettant l'entrée des gaz chauds à l'intérieur - Vitrages résistants à la chaleur - Possibilité d'occultation des ouvertures (accessibilité, taille des ouvertures) - Si toiture végétale, végétation adaptée
Protection des réseaux	- Mise en place d'un maillage des réseaux pour assurer la continuité des services (compartimentages, connexions etc.) - Ajout de gaines anti-feux autour des câbles et tuyaux et de colliers intumescents autour des canalisations - Eloignement des arbres des réseaux non-enterrés - Installation d'un clapet sur les cheminées
Aménagements intérieurs	- Aménagement de zones refuges face aux feux à l'intérieur - Mise à disposition d'équipements adéquats : extincteurs, sorties de secours etc.
Aménagements extérieurs	- Débroussaillage réglementaire (jusqu'à 50m) et élagage des arbres - Présence de végétaux adaptés au climat peu combustibles et éloignés des fenêtres - Motopompe adaptable aux lances des pompiers et accès facilité pour les secours - Interdiction des dépôts et réserves de combustible ou de carburant - Création de bassins de rétention en eau - Décollement des éléments extérieurs susceptibles de propager le feu au bâtiment - Installation d'une bande minérale de pierres ou pavés autour du bâtiment

Cas numéro 5 : Logement individuel soumis aux submersions marines et cyclones – Outre-mer (atelier du 10 mars)



Le petit village de Simitoa est situé sur la côte d'une des îles des Antilles françaises. Il s'agit d'un village de pêcheurs dont les habitants ont toujours été habitués à vivre avec l'eau. La famille Mara (5 personnes, dont une vulnérable), avec de modestes moyens, habite sur cette commune depuis 10 ans. La famille est très intégrée et investie dans la vie locale du village. Ses membres sont habitués aux risques cycloniques et inondations plusieurs fois par an et se réfugient à l'école du village, zone refuge, lorsque l'intensité du cyclone est très élevée.

Cependant, leur logement (maison individuelle de plain-pied) a fortement été endommagée lors du passage du dernier cyclone il y a un an et il y a de fortes chances pour que les accroches installées il y a deux ans ne résistent pas au passage d'un prochain cyclone et qu'elle soit entièrement détruite. La maison est en tôle et comporte deux étages, mais tous les équipements se situent au rez-de-chaussée.

Les projections climatiques (cinquième rapport du GIEC - 2013) soulignent une augmentation de l'intensité des cyclones tropicaux, avec des vents maximums plus élevés. Les précipitations liées aux systèmes cycloniques devraient être plus intenses, d'où la nécessité d'adapter les habitations aux risques cycloniques et inondations.



Mesures d'adaptation



Sensibilisation et
changement des
comportements

- Mise en place des dispositifs d'alerte et de secours (plan de gestion de crise)
- Développement des interactions sociales
- Formation des populations (mesures de prévention, exercices réguliers etc.)
- Disponibilité d'un « kit d'urgence » au sein de chaque famille

Concevoir et
rénover des
bâtiments en
prenant en compte
l'adaptation

- Utilisation de matériaux résistants à l'eau
- Favorisation de formes aérodynamiques
- Exposition du bâtiment en fonction des caractéristiques climatiques et topographiques

Résistance et
liaisons entre les
composants

- Mise en place d'un toit solide et bien lié/connecté
- **Fixation des éléments dépassant du gabarit (enseignes etc.) et du mobilier externe**
- Liaison des bords du toit au bâtiment avec des fixations supplémentaires
- Sous les couvertures, interconnexion des supports métalliques, des sangles ou blocs de bois la structure du toit aux éléments porteurs, aux contreventements, au toit et aux murs
- Liaison de tous les murs entre eux par une poutre ou plaque supérieure continue

Evacuation,
élévation et
mise hors d'eau

- Création de zones refuges (hors d'eau et de vent) avec équipements et trousse de survie
- Construction sur pilotis
- Bâtiments flottants (flotteurs en béton, plastique, aluminium etc)
- Relèvement des seuils de portes

Protection des
réseaux

- Ancrage des installations des réseaux
- Enterrement des réseaux et étanchéisation des réseaux
- Eloignement des arbres des réseaux non-enterrés

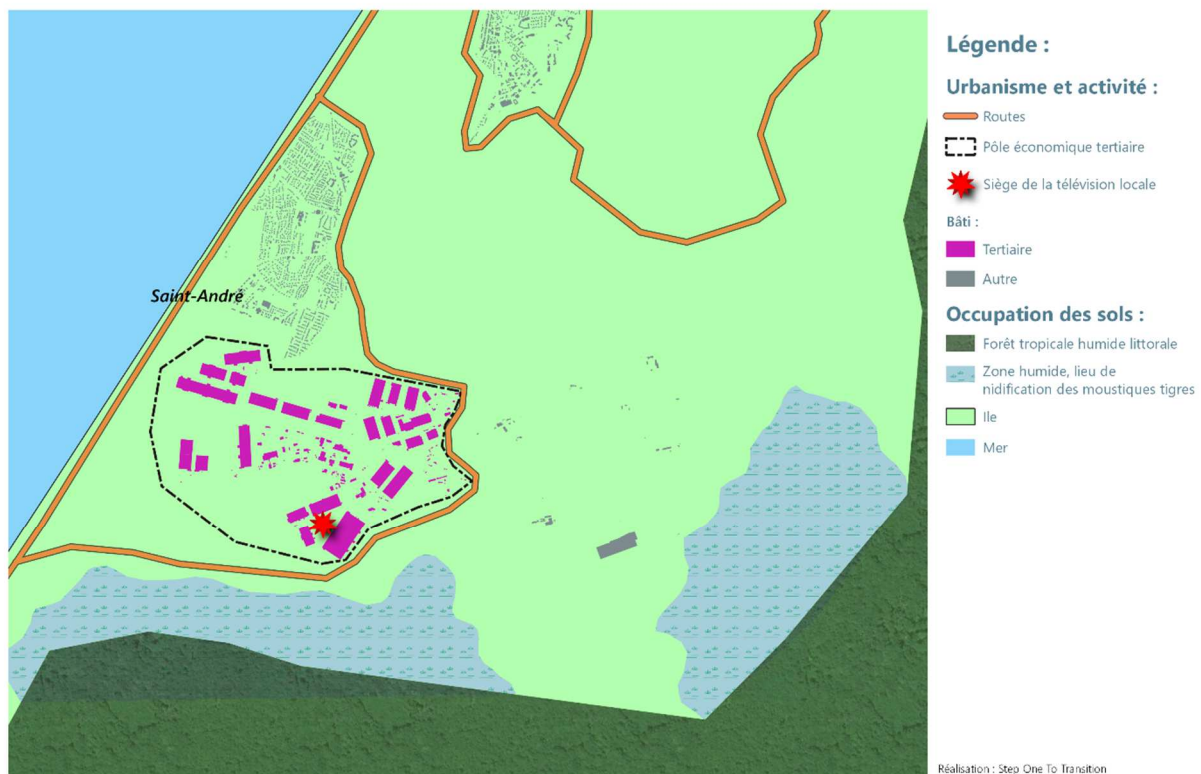
Augmentation
de la résistance
de la structure

- Choix d'une structure métallique pour le bâti
- Renforcement des fondations et du lien entre les fondations et le bâtiment
- Redressement du bâti
- Mise en place de chainages horizontaux au niveau des planchers et verticaux sur les rampants des pignons et les tranches du bâtiment
- Construction de murs de contreventement suffisants pour renforcer les murs extérieurs et résister au soulèvement (bois, sangles métalliques, feuilles de contreplaqué)
- Liaison des murs de contreventement et de toute la structure aux fondations
- Respect des normes anticycloniques

Aménagements
extérieurs

- Végétalisation des espaces autour du bâtiment
- Séparation des toits extérieurs (porche, abri etc.) du toit principal pour ne pas qu'il l'emmène
- Installation de vitrages résistants aux chocs ou de volets anti-ouragan

Cas numéros 6 : Bâtiment tertiaire soumis à la chaleur humide – Outre-mer
(atelier du 10 mars)



La commune de Saint-André se situe dans l'agglomération d'une grande ville d'outre-mer, à climat tropical. C'est une commune du littoral qui abrite un certain nombre de bâtiments tertiaires comme des sièges sociaux. Mais cette commune est soumise à un aléa climatique : l'augmentation de l'humidité dans l'air (température ressentie, qui tient compte à la fois de la température de l'air mais aussi de l'humidité relative). La température et le taux d'humidité sont amenés à augmenter fortement en raison du changement climatique, rendant certaines zones difficilement viables. Les vagues de chaleur et l'humidité ont également pour conséquence la prolifération des moustiques et autres vecteurs de maladie, étant donné que le bâtiment se situe proche de zones humides ; lieux de nidification de ces insectes.

Le siège social de la télévision locale a été construit il y a plusieurs dizaines d'années et n'a jamais fait l'objet de rénovations. Il a une structure en béton, de nombreuses fenêtres. Il possède également nombre d'équipements nécessaires au bon fonctionnement électronique de ses activités. Enfin, le système de climatisation installé récemment permet d'assurer un certain confort aux usagers ; notamment lors de la période humide.

Le bâtiment ne respecte pas les principes du label RESET (frugalité pour les bâtiments dans les zones tropicales), ni lors de sa construction ni pour son exploitation. Ce label qualifie le bâtiment pour son adaptation au climat tropical autour de 7 points : Aspects socioéconomiques, Environnement et transports, Qualité de l'espace et bien-être, Sols et aménagement paysager, Matériaux, Optimisation de la consommation d'eau, Optimisation énergétique.



Mesures d'adaptation



Sensibilisation et
changement des
comportements

- Formation de personnes-relais (pour aider à la protection du bâtiment, mise en place de bonnes pratiques)
- Développement des interactions sociales
- Flexibilisation des pratiques d'organisation du travail (lieu, orga interne, horaires, codes etc.)
- Prise en compte de l'état de santé des occupants du bâtiment pour aménagement du travail
- Mise en place de dispositifs de vigilance pour protéger les salariés

Concevoir et
rénover des
bâtiments en
prenant en compte
l'adaptation

- Prise en compte de la situation des constructions par rapport aux zones de prolifération des moustiques
- Prise en compte des exigences du label RESET
- Construction avec des matériaux appropriés et à forte inertie thermique (notamment nouveaux matériaux comme terre, bambou, chanvre) à forte inertie thermique (dont MCP), des isolants à faible diffusivité et à fort déphasage pour l'extérieur et à forte effusivité pour les espaces intérieurs
- Intégrer le projet d'adaptation comme un projet d'inclusion sociale

Conception de
toitures, parois et
de vitrages
protecteurs

- Vitrages isolants et résistants à la chaleur
- Si toiture végétale, végétation adaptée
- Etanchéité à l'air des parois et isolation thermique

Aménagements
intérieurs

- Intégration de la modularité et de la réversibilité dans les bâtiments
- Création d'espaces tampons (îlots de fraîcheur)
- Installations d'équipements contre les moustiques (moustiquaires, etc.)
- Mise à disposition d'un espace de santé à l'intérieur des bâtiments
- Mise à disposition de points d'eau potable fraîche

Systèmes de
rafraîchissement

- Intégration de systèmes de ventilation (Ventilation naturelle et mécanique contrôlée, double-flux)
- Installation de systèmes de rafraîchissement (par méthode adiabatique, géocooling)
- Installation de systèmes GTB

Aménagements
extérieurs

- Désimperméabilisation des espaces (béton poreux, dalles et pavés engazonnés, jardins de pluie, noues paysagères etc.)
- Construction d'espaces sur pilotis, permettant aux populations de se réfugier dessous

Réduction de
chaleur
anthropique

- Eclairages efficaces, appareils et bureautiques efficaces et générant peu de chaleur
- Isolation du réseau ECS
- Délocalisation des équipements informatiques vers des locaux spécialisés (usage d'un cloud)

5. Annexe 5 : Compte-rendu succinct des ateliers d'intelligence collective des 1er et 10 mars 2022

Les experts présents lors de ces deux journées ont identifié les pistes d'actions transverses suivantes pour l'adaptation des bâtiments au changement climatique :

- Réviser la méthodologie d'élaboration et de rédaction des documents de planification urbaine et territoriale (SCOT, PLU, PLH etc.) afin d'intégrer l'analyse de la vulnérabilité au changement climatique et stratégies d'adaptation (et notion de retrait stratégique) dans la planification territoriale à moyen/long terme
- Intégrer dans les PPRn une dimension prospective en prenant en compte a minima les scénarios 4.5 et 8.5 à l'horizon 2050 voire 2100
- Former et outiller les Agences locales de l'énergie (et CAUE) pour la prise en compte de l'analyse de vulnérabilité climatique et la promotion de solutions d'adaptation (approche de trajectoires) dans l'accompagnement personnalisé de projets/opérations de rénovation énergétique
- Au moment du dépôt du Permis de Construire/ Déclaration préalable, intégrer une question sur l'existence d'un diagnostic de risques et la mise en place d'un plan d'action (notamment pour les bâtiments tertiaires)
- Développer des outils d'aide à la décision qui permettent aux professionnels (i) d'intégrer dès la phase conception de projet de construction et réhabilitation, les enjeux liés à l'adaptation au changement climatique en France et Outre-Mer, (ii) de caractériser et identifier les risques/sensibilité des actifs au changement climatique (application basée sur l'AI s'appuyant sur une base de données photo) (iii) de croiser les risques afin de réduire les contradictions entre les solutions d'adaptation aux différents risques
- Créer un label sur la résilience des bâtiments et des villes intégrant tous les aléas climatiques et une dimension de prospective et développer un référentiel de résilience (se rapprocher du travail de la MRN sur le Diagnostic Performance Résilience)
- Intégrer l'adaptation de manière systématique dans les obligations et les programmes de rénovations énergétiques (Exemple : Dispositif Eco-énergie tertiaire, s'inspirer des réglementations sur les travaux embarqués etc.) et conditionner les subventions publiques à l'intégration de l'adaptation
- Intégrer une section sur l'analyse de risques climatique (et recommandations) dans les diagnostics de performance énergétique et carbone (DPE)
- Développer et déployer des outils d'aide à la décision d'investissement dans des solutions d'adaptation basées sur des trajectoires d'adaptation (incluant une analyse économique /approche coût global et méthodologie d'estimation de la valeur actualisée et projetée de l'actif considéré)
- Travailler sur la gouvernance au niveau national : partager les tâches entre les acteurs publics et privés. Aider les bureaux d'étude, les centres de recherche privés etc., ne pas tout étatiser. En revanche, s'assurer que les solutions et méthodologies sont bien partagées et ne pas redévelopper en parallèle les mêmes choses. (Permettre l'expérimentation face aux normes communes)
- Organiser régulièrement des journées thématiques avec des fédérations/organisations professionnelles et des particuliers sur les territoires pour créer des réseaux et diffuser les connaissances (Réaliser des plaquettes sur l'évolution des risques, mieux mettre en valeur les bonnes pratiques et valoriser les outils existants lors de ces ateliers)
- Renforcer les contrôles des obligations réglementaires pour s'assurer que l'adaptation ait bien été prise en compte
- Obliger les collectivités à disposer de zones refuges (dans les établissements pour personnes vulnérables par exemple) et indiquer ces établissements à l'échelle de la commune
- Favoriser l'approche en coût global pour intégrer les coûts de l'adaptation et la non-adaptation
- Demander aux assureurs d'être les relais des bonnes pratiques et d'envoyer à leurs assurés des supports de communication et sensibilisation sur les risques de leur territoire, les bonnes pratiques (et coûts associés), et le taux de couverture en cas de sinistre si aucune solution/bonne pratique n'a été mise en œuvre.

La feuille de route issue des ateliers d'intelligence collective est disponible dans le rapport global de l'étude « Etat des lieux et étude prospective sur les impacts du changement climatique pour le bâtiment à l'horizon 2050 et 2100 ».