



HAL
open science

Étude REOM : améliorer la résilience des services d'eau potable et d'assainissement dans les DROM et à Saint-Martin

Louis Bousquet

► **To cite this version:**

Louis Bousquet. Étude REOM : améliorer la résilience des services d'eau potable et d'assainissement dans les DROM et à Saint-Martin. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2021. dumas-03601577

HAL Id: dumas-03601577

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03601577v1>

Submitted on 8 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Étude REOM : améliorer la résilience des services d'eau potable et d'assainissement dans les DROM et à Saint-Martin

Élaboration du Livrable 2 : Parangonnage des mesures de prévention



Digue de protection de la station balnéaire du Grosier en Guadeloupe, @France-voyage.fr

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de l'École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg

Période de stage : du 1^{er} mars 2021 au 27 août 2021

Louis Bousquet – Étudiant en 3^e année à l'ENGEES – Promotion Liège 2018/2021

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Ronan Roué et Christine Feray pour leur bienveillance et leur gentillesse ainsi que :

Gwenaël et son bassin versant canadien ha !ha !

Hélène pour sa passion et ses désaccords qui nous ont parfois fait beaucoup rire
et bien évidemment Jean pour m'avoir supporté jusque-là

Je souhaiterais également remercier :

Toutes les personnes que j'ai pu côtoyer au CEREMA et qui m'ont en partie aidé à la réalisation de mon livrable

L'équipe pédagogique et les enseignants de l'ENGEES en particulier Mme Sarah Fernandez

Tous mes Amis et en particulier Alexandre que j'ai beaucoup fait attendre ces 6 derniers mois et les membres du meilleur groupe de projet tutoré C3-P'Eau que j'aime fort

Et Enfin ma copine pacsée que j'aime et qui le sait
ainsi que toute ma famille qui m'a soutenu et encore une fois accueilli auprès d'eux malgré les petits bobos et la maladie.

Résumé

L'étude « Résilience Eau Outre-Mer », produite par le CEREMA et encadrée par l'Office Français de la Biodiversité ainsi que par les Ministères des Outre-Mer et de la transition écologique et solidaire, cherche à recenser les moyens d'actions possibles pour améliorer la résilience des réseaux d'eau potable et d'assainissement. Pour cela, trois rapports vont être produits sur un thème particulier de la gestion du risque. Le présent rapport porte plus particulièrement sur le parangonnage des mesures de protection face aux six risques naturels étudiés à savoir les pluies intenses, la submersion marine, les cyclones, la sécheresse, les séismes et les mouvements de terrain. Il est d'abord nécessaire d'avoir une connaissance des aléas, du réseau et de son environnement complète. Cette étape passe donc par des mesures, des recensements et une évaluation des systèmes vitaux interconnectés. Il est ensuite nécessaire de s'appuyer sur les directives fournies par l'État en respectant les normes, les différents plans et schémas directeurs. Ces indications doivent être utilisées comme des outils pour faciliter les démarches de sécurisation des installations. Il convient enfin de déterminer le type de solution préventive adéquate pour chaque système. Quatre stratégies ont ainsi été identifiées dans ce rapport : l'évitement, la robustesse, l'interconnexion et la diversification. Chacune de ces stratégies répond à des besoins et des risques différents. La conclusion de cette étude est donc qu'il n'y a pas de solution universelle mais un groupement de possibilités pour se prémunir des impacts d'une crise. Les solutions les plus englobantes sont d'ailleurs généralement plus efficaces sur le long terme. Il s'agirait donc de diversifier les stratégies plutôt que de multiplier les mesures d'une unique stratégie pour ainsi avoir une résilience optimum. Une fois cette phase de prévention améliorée, les phases de gestion crise et de reconstruction n'en seront que facilitées.

Mots clefs :

Résilience, Risques naturels, Outre-Mers, Prévention, Gestion du Risque

Abstract

The study « Résilience Eau Outre-Mer », produced by the CEREMA and lead by the French Office of Biodiversity and the ministry of overseas territories and the ministry of ecological transition and solidarity, try to identify some solution to improve the water supply and the sanitation network resiliency. To achieve this, three reports will be wrote for each theme of the risk management. This report focus on the prevention part of the risk management and more precisely on the identification of the prevention measures which will face the six naturals hazards which are: heavy rains, marine submersion, hurricanes, drought, earthquakes and landslides. The first thing is to have a good knowledge of hazards, networks systems and all around environment. This step must be done with measures, identification and evaluation of crucial interconnected systems. Following this, it is necessary to respect the different indications and directives of State. This directives must be used as tools to easily proceed preventive measures. Finally, the best solution type for each system must be determined. Four strategies have been identified which are: avoidance, robustness, interconnection and diversification. Each of these strategies respond to a specific needs and risk situation. The conclusion of this study is that there is no universal solution but a packaging of efficient solution to prevent hazard's impacts. The large solution are generally more efficient on long term. The best ways to prevent naturals hazards is to diversify the measures of different strategies instead of focusing a only one strategy with lot of measures. When this time of prevention is succeed, the time of crisis management and rebuild time will be more easily done.

Keywords :

Resilience, Natural hazards, Overseas territories, Prevention, Risk management

Table des matières

Remerciements.....	3
Résumé.....	4
Abstract.....	4
Index des sigles.....	7
Introduction.....	9
I. Contexte général de l'étude.....	10
A. L'étude REOM.....	10
1. Le CEREMA.....	10
2. La commande de l'étude et ses objectifs.....	10
3. Terminologie de l'étude.....	11
B. Les aléas.....	12
1. Pluies Intenses.....	12
2. Vagues submersives.....	13
3. Séismes.....	14
4. Cyclone.....	15
5. Mouvement de terrain.....	16
6. sécheresse.....	17
C. Les sites d'étude.....	18
1. La Guadeloupe.....	19
2. Martinique.....	22
3. Guyane.....	25
4. Réunion.....	27
5. Mayotte.....	30
6. Saint-Martin.....	33
II. Conception du Livrable 2 : Parangonnage des mesures de prévention.....	36
A. Les difficultés de prévention.....	36
1. La combinaison des aléas.....	36
2. Des situations géographiques variées.....	37
3. La dépendance aux autres réseaux.....	38
4. Des coûts d'investissement et d'entretien lourds dans un contexte économique et politique dégradé.....	40
B. La planification.....	42
1. La connaissance des réseaux.....	42
2. Évaluation de la vulnérabilité.....	44
3. Les différents plans.....	45
4. La planification à travers les schémas d'aménagement.....	52
C. Les différentes stratégies.....	55
1. Évitement.....	55
2. Robustesse.....	59
3. Interconnexion et sectorisation.....	65
4. Diversification.....	66
III. Conclusion.....	68
Bibliographie.....	69
Annexes.....	75
Annexe 1 :Memento sur les solutions fondées sur la nature.....	75
Annexe 2 : Questionnaire technique envoyé aux territoires.....	81

Index des figures

Figure 1: Schéma d’articulation de l’étude REOM.....	10
Figure 2: Endommagement de l’église de Terre-de-bas (Saintes, Guadeloupe) suite au séisme du 21 novembre 2004, Source : BRGM/GéoRisque.....	14
Figure 3: Carte de localisation des 6 territoires de l’étude, Source : [126].....	18
Figure 4: La place de la victoire à Pointe-à-Pitre après le passage de l’ouragan HUGO, Source: DDRM Guadeloupe.....	20
Figure 5: Éboulement sur la route du volcan de la soufrière suite au séisme de novembre 2004, Photos : Sophie Lignier...	21
Figure 6: Glissement de terrain sur la falaise du Piton Marcel le 11/05/2005.....	24
Figure 7: Exemple de houle australe sur le territoire de la réunion, Source : cartedelareunion.fr.....	28
Figure 8: Inondations du 15 et 16 décembre 2008 causées par des pluies intenses et amplifiées par le ruissellement urbain, Source : BRGM.....	31
Figure 9: Carte des reliefs de Saint-Martin, Source PPRN Saint-Martin.....	33
Figure 10: Photographie satellite de l’ouragan IRMA au moment de son passage sur Saint-Martin, Source : Météo-France	35
Figure 11: Dommage sur une canalisation de 2400mm causé par le séisme du 11 mars 2011, Source : Préfecture de Miyagi.....	36
Figure 12: Soulèvement d’un réservoir enterré causé par le séisme du 11 mars 2011, Source : Préfecture de Chiba.....	36
Figure 13: Impact et trajectoire de l’ouragan Betsy sur les habitations Guadeloupéenne, Source : [52].....	38
Figure 14: Carte des taux d’impayés sur les factures d’eau en Guadeloupe, 2018 Source : Observatoire de l’eau en Guadeloupe.....	41
Figure 15: Carte de l’indice de connaissance et de gestion patrimoniale des réseaux d’eaux potables en 2016, Source : DEAL Guadeloupe [66].....	42
Figure 16: Les TRI en Outre-Mer Source Source : Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES) [127].....	47
Figure 17: Description de l’enchaînement des procédures pour la prévention du risque inondation, Source Préfecture de l’Ain [128]).....	48
Figure 18: Description des 12 bassins hydrographiques de France, Source: ONEMA [86].....	52
Figure 19: Temporalité des différents cycles des SDAGE, Source Gest'Eau [86].....	53
Figure 20: Solution de détection de remonté du biseau salé proposé par la SAUR [98].....	56
Figure 21: Schématisation d’un réseau en séparatif eaux usées/eaux pluviales [106].....	57
Figure 22: Schématisation des possibilités d’endiguement, Source: [108].....	60
Figure 23: Poste de relevage détruit à Saint-Martin, Source : [129].....	61
Figure 24: Schématisation du fonctionnement de la station anti-crue dans le Val de Marnes en temps de paix et en temps de crise, Source: [68].....	62
Figure 25: Fonctionnement du dispositif Aqua-Barrier retenant une inondation.....	64

Index des tableaux

Tableau 1: Indice de connaissance et de gestion patrimoniale du réseau AEP et EU respectivement des indices P103,2B et P202,5 (sur 120 points) Source : données Eau France.....	43
Tableau 2 : Tableau récapitulatif des aléas potentiels sur les territoires de l’étude.....	68

Index des sigles

AEP : Alimentation en Eau Potable
AMPRI : Association Monastérienne de Protection face au Risque d'Inondation
APIC : Avertissement Pluies Intenses à l'échelle de la commune
BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières
BTP : Bâtiment et travaux publics
CACEM : Communauté d'Agglomération du Centre de la Martinique
CACL : Communauté d'Agglomération du Centre Littoral de Guyane
CAESM : Communauté d'Agglomération de l'Espace Sud Martinique
CAGSC : Communauté d'Agglomération Grand Sud Caraïbes
CAMG : Communauté de Communes de Marie Galante
CANBT : Communauté d'Agglomération Nord Basse-Terre
CANDHIS : Centre d'Archivage National de Données de Houle In Situ
CANGT : Communauté d'Agglomération Nord Grande-Terre
CAP Nord : Communauté d'Agglomération de Pays Nord Martinique
CAPEX : Communauté d'Agglomération Cap Excellence
CARL : Communauté d'Agglomération de la Riviera du Levant
CASUD : Communauté d'Agglomération du Sud
CCDS : Communauté de Communes Des Savanes
CCEG : Communauté de Communes de l'Est Guyanais
CCOG : Communauté de Communes de l'Ouest Guyannais
CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières
CDRNM : Commission départementale des risques naturels majeurs
CEPRI : Centre Européen de Prévention des Risques d'Inondation
CEREMA : Centre d'Étude et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
CGSP : Compagnie Guadeloupéenne de Services Publics (filiale de la SAUR)
CINOR : Communauté Intercommunale du Nord de la Réunion
CIREST : Communauté Intercommunale Réunion Est
CIVIS : Communauté Intercommunale des Villes Solidaires
CMRS : Centre Météorologique Régional Spécialisé
CTM : Collectivité Territoriale de Martinique
DCE : Directive Cadre Européenne
DDRM : Dossier Départemental des Risques Majeurs
DEAL : Directions de l'environnement, de l'aménagement et du logement
DEB : Direction de l'Eau et de la Biodiversité
DI : Directive Inondation
DICRIM : Dossier d'Information Communal sur les Risques Majeurs
DREAL : Directions Régionales de l'Environnement, de l'Emménagement et du Logement
ECP : Eaux Claires Parasites
EEASM : Établissement des Eaux et de l'Assainissement de Saint-Matin
EPC : Eaux Parasites de Captage
EPCI : Établissement Public de Coopération Intercommunale
EPCIP : European Programme for Critical Infrastructures Protection
EPI : Eaux Parasites d'Infiltration
EU : Eaux Usées
FPRNM : Fonds de PRévention des Risques Naturels Majeurs
GEG : Générale des Eaux Guadeloupe (filiale de VEOLIA)
GMR : Galerie Multi Réseau
ICE : Infrastructure Critique Européenne
INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques
JMA : Japan Meteorological Agency
MES : Matières En Suspension
MISEN : Mission Inter-Service de l'Eau et de la Nature

MOM : Ministère des Outre-Mer
 MTES : Ministère de la Transition Écologique et Solidaire
 NDES : Nantaise Des Eaux Services (filiale de SUEZ)
 OFB : Office Français de la Biodiversité
 OIEau : Office International de l'Eau
 OMM : Organisation Météorologique Mondiale
 OMS : Organisation Mondiale de la Santé
 ORSEC : dispositif pour l'Organisation de la Réponse de la Sécurité Civile
 PAGD : Plan d'Aménagement et de Gestion Durable
 PAOT : Plans d'Action Opérationnels Territorialisés
 PAPI : Programmes d'Actions de Prévention des Inondations
 PAPERICA : Programme d'Actions pour la Prévention des Risques liés aux Cavités
 PCI : Établissements Publics à Coopération Intercommunale
 PCS : Plan Communal de Sauvegarde
 PdM : Programmes De Mesures
 PFA : Pression de Fonctionnement Admissible
 PGRI : Plans de Gestion du Risque Inondation
 PGSSE : Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire des Eaux
 PLU : Plan local d'Urbanisme
 PPR : Plans de Prévention de Risque
 PPRI : Plans de Prévention des Risques naturels Inondation
 PPRL : Plan de Prévention des Risques Littoraux
 PPRN : Plans de Protection des Risques Naturels
 PPRS : Plans de Prévention du Risque Sécheresse
 PSO : Plan de Sécurité d'Opérateur
 REOM : Résilience Eau Outre-Mer
 SAGE : Schémas d'Aménagement et de Gestion de l'Eau
 SAUR : Société d'Aménagement Urbain et Rural
 SCHAPI : Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations
 SCOT : Schéma de Cohérence Territoriale
 SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
 SDGEP : Schéma Directeur de Gestion des Eaux Pluviales
 SFI : Standardized Flow Index
 SFN : Solutions Fondées sur la Nature
 SGDE : Société Guyanaise Des Eaux
 SHOM : Service Hydrographique et Océanique de la Marine
 SIAEAG : Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau et d'Assainissement de la Guadeloupe
 SIG : Système d'Information Géographique
 SLGRI : Stratégies Locales de Gestion des Risques d'Inondation
 SMAE : Société Mahoraise des Eaux
 SME : Société Martiniquaise des Eaux
 SMEAM : Syndicat Mixte d'Eau et d'Assainissement de Mayotte
 SNGRI : Stratégie Nationale de Gestion du Risque Inondation
 SPI : Standardized Precipitation Index
 SWI : Soil Wetness Index
 TCO : Territoire de la Côte Ouest
 TRI : Territoires à Risque Important d'inondation
 TTV : Les toitures végétalisées
 UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature
 UNALCI : Union National des Associations de Lutte Contre les Inondations
 VNF : Voies Navigables de France
 ZIC : Zone Intertropical de Convergence
 ZP : Zonage Pluvial

Introduction

Les risques naturels font parties intégrantes de nos modes de vie et pourtant certains territoires ne sont encore que trop peu préparés à la survenue d'un risque d'origine naturel ou anthropique. Les réseaux d'eau potable et d'assainissement sont eux vieillissant sur plusieurs territoires, les rendant plus fragiles et plus vulnérables d'autant plus s'ils sont amenés à être confrontés à des incidents provoqués par l'apparition d'un risque.

C'est notamment le cas des territoires en Outre-Mer qui subissent la majorité des risques naturels recensés en France. Il convient alors de mettre en place des solutions adaptées pour les protéger avec une gestion des risques adaptée aux territoires étudiés. Cette gestion de ces risques passe alors par trois temps qui ont chacun leurs spécificités : la pré-crise, le temps de crise et la post-crise [1] [2].

Il y a tout d'abord le temps pré-crise ou temps de « paix ». Dans la gestion du risque, ce temps permet aux collectivités de se préparer à la survenue d'un risque. Ce temps est donc là pour mettre en place des stratégies de prévention mais aussi pour développer la prévision des phénomènes. Ce temps de paix permet aussi d'informer et d'enseigner aux différents acteurs les problématiques liées à l'apparition d'un risque et en particulier les impacts potentiels sur les réseaux techniques qui regroupent notamment les réseaux d'eaux potable et d'assainissement.

Ensuite, le temps de crise est une phase d'urgence et de réponse à un événement à risque. C'est dans cette durée que doivent se réaliser les décisions de crise représentées par des cellules de crise ayant été normalement préparées à ce type de situation. Il est alors question de gestion des équipes et des ressources dans des temps courts avec des contraintes élevées et peu ou pas connues. En effet, plusieurs dysfonctionnements peuvent apparaître dans ce qui a été initialement prévu et engendrer des écarts de gestion à cause d'un manque d'information ou d'un manque de ressource urgente.

Enfin, le temps post-crise ou phase de reconstruction ou de relèvement est une période de la gestion du risque où il est d'abord question de remettre en fonctionnement les infrastructures nécessaires à la survie des usagers le plus vite possible et ainsi assurer rapidement une continuité de service. Cette étape n'est malheureusement que très peu étudiée de par son caractère d'urgence alors qu'elle pourrait aussi être envisagée comme une opportunité de construire mieux.

Suite à l'ouragan IRMA qui a frappé les îles du nord de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy, la prise de conscience, qu'une meilleure gestion du risque était nécessaire, prend de plus en plus d'ampleur. Cette nécessité est à l'image du plan Eau DOM qui vise à mettre en place une gestion de l'eau plus intégrée dans les territoires. L'étude Résilience Eau Outre-Mer (REOM) s'inscrit donc directement dans ce plan pour une meilleure sécurisation des réseaux, une gouvernance globale et partagée tout en respectant les problématiques environnementales grandissantes.

Le présent rapport sera donc détaillé en deux grandes parties avec une première partie détaillant le contexte de l'étude ainsi qu'une description des aléas et des territoires de l'étude. La deuxième partie concernera directement le « livrable 2 : Parangonnage des mesures de prévention » avec une description des difficultés qui peuvent freiner ou complexifier la mise en place des mesures de prévention, un rappel des différents plans et schémas directeurs applicable dans le contexte de l'étude REOM et enfin une description de quatre stratégies majeures pour la réduction de la vulnérabilité des territoires.

I. Contexte général de l'étude

A. L'étude REOM

1. Le CEREMA

Le CEREMA (Centre d'Étude et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement) est un centre de recherche publique qui a pour but d'assister et d'appuyer les services déconcentrés de l'État comme les préfetures ainsi que les collectivités territoriales. Créé en 2014 suite au regroupement de 11 services publics, le Cerema est aujourd'hui sous la tutelle du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES) ainsi que du ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales. Les missions du CEREMA se déclinent sous quatre grands axes : l'appui aux politiques publiques, l'innovation et la recherche, la diffusion des connaissances et la normalisation. Ces missions s'articulent alors sous six domaines d'actions :

- l'expertise et l'ingénierie territoriale,
- le bâtiment,
- les mobilités,
- les infrastructures de transports,
- l'environnement et les risques,
- la mer et le littoral.

2. La commande de l'étude et ses objectifs

Le CEREMA été missionné par le Ministère des Outre-Mer (MOM) ainsi que par l'Office Français de la Biodiversité (OFB) pour évaluer la résilience des réseaux d'eau potable et d'assainissement dans les 6 territoires d'outre-Mer : Guadeloupe, Martinique, Guyane, Mayotte, La Réunion et Saint-Martin. Cette étude sera également supervisée par la Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DEB) et donc contrôlée par le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES).

L'étude REOM pour Résilience Eau Outre-Mer se déroule en trois phases (voir figure 1). La première phase, d'une durée d'un an, définira les termes de l'étude ainsi que les aléas à prendre en compte. Un questionnaire sera aussi réalisé pour récolter les informations liées aux réseaux auprès des acteurs de l'eau dans ces territoires. La deuxième phase, d'un an également, portera sur la rédaction de trois livrables, un tableau récapitulatif et la production de cinq fiches de bonnes pratiques. La dernière phase portera essentiellement sur la révision des schémas directeurs, des Cahiers des Clauses Techniques Particulières (CCTP) pour travaux d'urgence et des plans d'Organisation de la réponse de la Sécurité Civile (ORSEC).

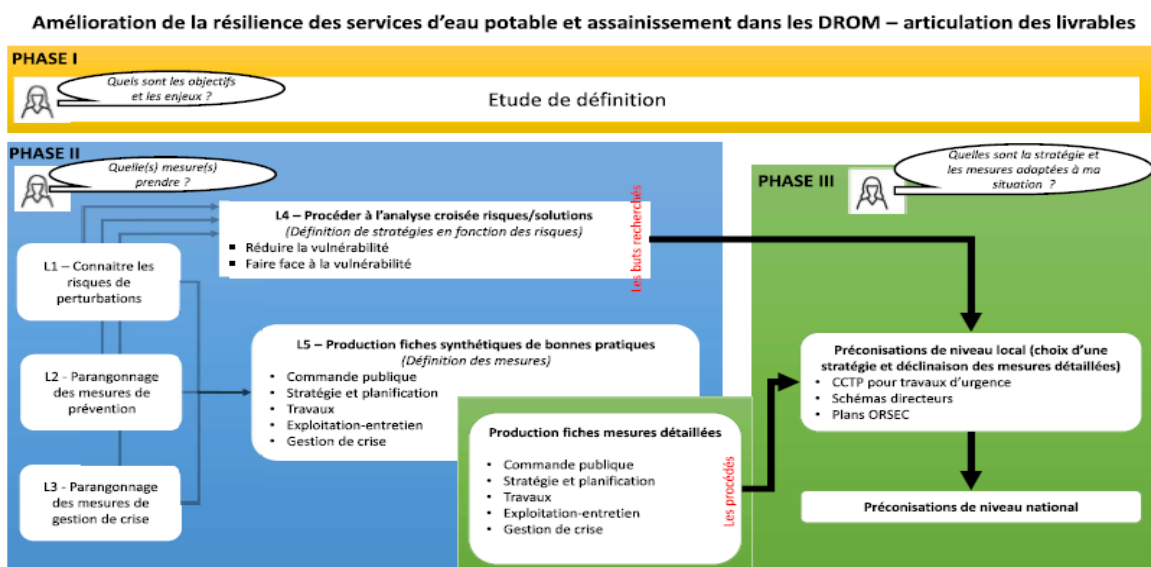


Figure 1: Schéma d'articulation de l'étude REOM

3. Terminologie de l'étude

Durant la première phase de l'étude, plusieurs décisions ont ainsi été prises en particulier sur le choix des aléas ainsi que sur la terminologie commune à utiliser.

Cette étude se focalisera donc finalement sur les six aléas suivant : pluies intenses, vagues submersives, cyclone, mouvements de terrain, séisme et sécheresse. Les aléas traités dans l'étude REOM sont donc exclusivement des aléas naturels. Ce choix implique donc de ne pas prendre en compte les risques technologiques comme le risque industriel ou les risques liés aux transports de matières dangereuses. La décision a aussi été prise de ne pas intégrer tous les risques naturels. Le risque volcanique n'est pour cela pas pris en compte comme le risque tsunami ; celui-ci étant en partie intégré dans le risque de submersion marine à plus petites échelle et le risque sismique. Le risque volcanique n'est pas identique sur tous les territoires et reste surtout important à la Réunion et en Guadeloupe.

La terminologie commune s'appuie les définitions proposées par l'assemblée générale des Nations Unies en 2016 [3]. Les mots clefs retenus sont les suivants :

- Aléa :

Processus, phénomène ou activité humaine pouvant faire des morts ou des blessés ou avoir d'autres effets sur la santé, ainsi qu'entraîner des dégâts matériels, des perturbations socio-économiques ou une dégradation de l'environnement. Chaque aléa est caractérisé par sa localisation, son intensité, son ampleur, sa fréquence et le degré de probabilité qui lui est associé.

Les aléas peuvent être d'origine naturelle, anthropique ou socio-naturelle (ensemble de facteurs naturels et anthropiques). Les aléas naturels sont essentiellement associés à des processus et phénomènes naturels.

- Enjeu :

Corresponds aux personnes, aux biens, aux activités, à l'environnement qui peuvent être impactés par les conséquences de la survenance d'un aléa

- Vulnérabilité :

Condition provoquée par des facteurs ou processus physiques, sociaux, économiques et environnementaux qui ont pour effet de rendre les personnes, les communautés, les biens matériels ou les systèmes plus sensibles aux aléas.

- Exposition :

Situation des personnes, infrastructures, logements, capacités de production et autres actifs tangibles situés dans des zones à risque.

Ces éléments sont évalués en tenant compte de la vulnérabilité et de la capacité de résistance des éléments exposés à un aléa afin d'obtenir une estimation quantitative des risques correspondants dans la zone concernée.

- Risque (de catastrophe) :

Il s'agit du risque de pertes en vies humaines, de blessures, de destruction ou de dégâts matériels pour un système, une société ou une communauté au cours d'une période donnée, dont la probabilité est déterminée en fonction du danger, de l'exposition, de la vulnérabilité et des capacités existantes.

Il est généralement admis que le risque résulte de la combinaison de l'aléa, des enjeux exposés et de leurs vulnérabilités.

- Risque naturel :

La notion de risque naturel recouvre l'ensemble des menaces que certains phénomènes et aléas naturels font peser sur des populations, des ouvrages et des équipements. Plus ou moins violents, ces événements naturels sont toujours susceptibles d'être dangereux aux plans humain, économique ou environnemental.

- Risque majeur :

On qualifie de risque majeur la conséquence d'un aléa d'origine naturelle ou humaine et dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dégâts importants et dépasser les capacités de réaction des instances directement concernées. Un risque majeur est caractérisé par sa faible fréquence et par son énorme gravité.

B. Les aléas¹



1. Pluies Intenses

- Définition

Météo France définit les pluies intenses comme « des pluies qui apportent sur une courte durée (d'une heure à une journée) une importante quantité d'eau. Cette quantité peut égaler celle reçue habituellement en un mois, voire en plusieurs mois ». Il est généralement considéré que des pluies intenses peuvent générer des cumuls de pluies de l'ordre de 50 mm en plaine et de 100 mm en région montagneuse sur 24 heures. Dans les territoires ultra-marins, les événements extrêmes sont généralement supérieurs à 120 mm par jour et peuvent atteindre des records avec près de 300 mm par jour [10] [11] .

- Impacts

Les impacts peuvent varier d'une région à l'autre et suivant d'autres facteurs comme la présence et la pente des reliefs, l'occupation du sol (anthropique ou naturelle), l'état de saturation du sol et la présence ou non de moyens de protections déjà mis en place.

Les reliefs importants vont avoir tendance à générer des crues éclair ou crues torrentielles. Ce type de crue, avec des grandes vitesses d'écoulement, s'accompagne parfois d'une partie solide non négligeable. La crue accumulée de plus en plus de sédiments pour donner naissance à des laves torrentielles fortement chargées en sédiments. Tous ces phénomènes ont des potentiels de destruction important en particulier dans les territoires d'outre-mer où les zones urbanisées sont le plus souvent situées proche du littoral à l'exutoire des rivières et des ravines.

Dans des zones moins escarpées, les pluies peuvent générer des crues par débordement de cours d'eau. Les inondations qu'elles génèrent peuvent aussi être d'une origine différente avec des débordements par des remontées de nappe en particulier quand les couches de sols sont déjà saturées.

Les inondations produites par les pluies sont aussi bien souvent amplifiées par le ruissellement urbain dans les zones fortement anthropisées. Ces laves supplémentaires, générées par l'artificialisation des sols, augmentent les volumes d'eau qui transitent et qui peuvent finir par stagner dans les zones urbaines.

La décrue des inondations peut aussi être concernée par les phénomènes de marée présent sur les territoires ultramarins. Le niveau de l'exutoire pouvant même être parfois plus haut que le niveau des inondations générés à cause d'une marée de tempête et de la submersion marine associées.

Les impacts sur les infrastructures peuvent être considérables. Les inondations (et les glissements de terrain) entraînent bien souvent la coupure des routes ralentissant la venue des secours et l'organisation générale de la ville.

- Prévision

Tout d'abord, Météo France a mis en place un système de vigilance pour la prévision de neuf phénomènes particuliers avec 4 niveaux de vigilance (vert, jaune, orange, rouge). Les neuf phénomènes comprennent justement les phénomènes de vents violents, vagues-submersion, pluie-inondation, crues, orages et canicules. Ces données, pour une prévision sur 24 h, sont actualisées au moins deux fois par jour. En plus du système de vigilance commun, chaque zone d'outre-mer possède un site de référence pour la vigilance sur son territoire.

Deux services sont également disponibles pour alerter les communes de la survenue d'une perturbation avec un grand risque de précipitation et les crues qu'elles peuvent générer. Météo France a donc mis en place le système d'Avertissement Pluies Intenses à l'échelle de la commune (APIC) qui informe les communes et préfetures abonnées de la survenue imminente d'une pluie intense sur leurs territoires. Ce dispositif n'est pas encore appliqué sur tous les territoires mais il est déjà mis en place sur 90 % du territoire français et couvre notamment la Réunion, la Martinique et la Guadeloupe. Vigicrues flash est quant à lui gratuit et mis en place par le réseau VIGICRUES dirigé par le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI) et les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Emménagement et du Logement (DREAL). Ce deuxième système permet d'alerter les autorités de la survenue probable d'un risque de crue forte ou crue très forte. Ces deux systèmes permettent notamment au maire de mettre en place les mesures prévues au Plan Communal de Sauvegarde (PCS) [12] .

1 Les éléments utilisés pour décrire ces phénomènes sont majoritairement issus des différents Dossiers Départementaux des Risques Majeurs (DDRM) des territoires étudiés [4] [5] [6] [7] [8] [9] .

Pour les territoires non couverts par les services proposés, les Directions de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DEAL) mettent en place des bulletins d'information pour prévenir la population grâce à des cellules de veille hydrologique.

2. Vagues submersives



- Définition

Le Centre Européen de Prévention des Risques d'inondation (CEPRI) définit la submersion marine comme « l'invasion temporaire de la zone côtière par la mer » [13]. Ce phénomène peut être provoqué par plusieurs événements. Un premier événement est la formation d'une marée de tempête. La marée de tempête se caractérise par une hausse du niveau marin due à la dépression atmosphérique et aux vents latéraux, qui créent un phénomène d'aspiration vers le haut et d'accumulation de l'eau. Ce phénomène entraîne donc une hausse du niveau de la mer qui peut parfois suffire à engendrer des inondations sur les zones les plus proches du littoral. Un autre phénomène est la formation d'une houle cyclonique. Cette houle est générée à partir de vent fort qui va engendrer des vagues avec des amplitudes (différence entre le creux et la crête) importante. Cet événement est bien souvent associé à la présence d'un cyclone à proximité.

Ces phénomènes peuvent aussi être aggravés par la rupture d'un ouvrage de protection mais ce risque qui est considéré comme un risque technologique n'est pas pris en compte dans l'étude REOM. La présence d'éléments naturels comme les mangroves ou les récifs coralliens sont bien souvent bénéfiques et auront des effets de réduction de l'intensité de la submersion marine.

- Impacts

Les zones du littoral sont inévitablement les plus impactées par cet aléa. La combinaison avec l'aléa de pluies intenses et bien souvent avec les cyclones provoque des dégâts importants sur le territoire. La submersion marine peut ainsi créer des inondations dans les zones de cuvette proche du littoral mais aussi ralentir l'évacuation des eaux avec la présence d'un niveau d'eau trop haut engendré par une marée de tempête par exemple. Le ruissellement est, comme pour les pluies intenses, un facteur aggravant qui aura un impact sur le volume et la hauteur d'eau des inondations.

La submersion est responsable de la plupart des fermetures des routes pendant un événement de submersion marine ou cyclonique. Les dégâts peuvent aussi être localisés au niveau du mobilier urbain qui subit la projection des paquets de mer. Les installations de protection peuvent aussi être endommagées ; ce qui pourrait empirer la crise.

La salinité de l'eau transporté peut aussi avoir de grosses conséquences sur certains équipements urbains en particulier pour les réseaux techniques comme l'électricité ou la distribution d'eau potable avec la présence de chambre de pompage qui sont bien souvent vulnérables à cette salinité.

- Prévision

La prévision de la submersion fait partie des alertes vigilances qui sont mis en place par Météo France en partenariat avec le Service Hydrographique et Océanique de la Marine (SHOM). Une information délivrée au grand public est alors disponible sur le site internet de Météo France. Ces données sont transmises sous forme de cartes permettant d'identifier les zones les plus à risque.

Le CEREMA a aussi développé un réseau de bouée mesurant la houle. Ce réseau est regroupé sous l'appellation Centre d'Archivage National de Données de Houle In Situ (CANDHIS). Ce réseau n'est pas encore développé sur le territoire des îles du nord ainsi que sur Mayotte. Ce programme est double, il permet de réaliser une base de données sur la houle pour avoir un retour d'expérience concret et permettra à terme d'alerter en cas de houle trop importante ; ce qui serait signe d'une submersion potentielle [14].

Ce phénomène reste néanmoins difficilement prévisible car malgré une identification d'une potentielle submersion marine, la zone d'impacts ne pourra jamais être déterminée avec certitude. De plus la combinaison avec les cyclones, qui peuvent déjà avoir des trajectoires plus ou moins aléatoires, rend la détermination de la présence d'une houle complexe.

3. Séismes

- Définition



Un séisme peut être défini comme « une fracturation brutale des roches en profondeur créant des failles dans le sous-sol ou en surface et se traduisant par des vibrations du sol. Les dégâts sur les bâtiments dépendent de l'amplitude, de la durée, de la fréquence des vibrations, des caractéristiques du terrain, ainsi que de la distance au foyer » [6].

On caractérise généralement un séisme avec plusieurs paramètres. Son foyer est le point de départ du séisme et le point de départ des ondes émises. Ce foyer ne doit pas être confondu avec son épicentre qui correspond au point en surface le plus proche de son foyer. Sa magnitude décrit l'énergie libérée. L'intensité correspond à l'ampleur des dégâts subis. Cette variable est modélisée par une échelle de I à XII et reste assez fluctuante suivant les séismes. Il est aussi caractérisé par une fréquence et une durée de vibration.

Après une première secousse, plusieurs répliques peuvent survenir avec des magnitudes plus faibles.

Cinq territoires de l'étude sont concernés par le risque de séisme. La présence de la collision de deux plaques tectoniques est généralement à l'origine de ces phénomènes.

- Impacts

Les impacts des séismes sont très variables d'une région à l'autre et dépendent aussi de l'emplacement de l'épicentre. Quand un séisme de magnitude inférieure à six se produit les dégâts sont généralement limités. À partir d'une magnitude de six, les séismes peuvent commencer à causer de sérieux dégâts au bâti. Ce n'est en effet pas les vibrations qui sont dangereuses pour l'homme mais plutôt les conséquences des ondes. Un séisme et ses éventuels phénomènes induits peuvent engendrer la destruction ou l'endommagement des habitations, des outils de production (usines, bâtiments des entreprises, etc.), des ouvrages (ponts, routes, voies ferrées, etc.), des réseaux d'eau, d'énergie ou de télécommunication, causant des pertes matérielles directes et des perturbations importantes de l'activité économique.

Les séismes peuvent ainsi avoir des conséquences dramatique sur la vie humaine, l'économie et environnement

- Prévion

Malgré les progrès dans les connaissances scientifiques sur les séismes, la survenue de ces phénomènes reste imprévisible et il n'est pas possible de prédire un séisme et donc d'alerter les populations pour leur mise en sécurité.



Figure 2: Endommagement de l'église de Terre-de-bas (Saintes, Guadeloupe) suite au séisme du 21 novembre 2004, Source : BRGM/GéoRisque

4. Cyclone



• Définition

Le cyclone peut être décrit comme « un système de vent en rotation de grande échelle dû à une chute importante de la pression atmosphérique. D'une durée de vie de quelques heures à une trentaine de jours, ils naissent au-dessus d'eaux chaudes tropicales uniquement si des conditions thermiques, géographiques et météorologiques bien définies sont réunies. Ce système se déplace à une vitesse comprise entre 10 et 40 km/h. L'activité nuageuse associée au cyclone est organisée en bandes spiralées qui convergent vers un anneau central où les pluies sont torrentielles, les vents d'une extrême violence. Cet anneau, matérialisé par une muraille nuageuse de 14 à 18 km de hauteur, constitue ce que l'on appelle le mur de l'œil du cyclone. Il délimite une zone centrale « d'accalmie » correspondant à l'œil du cyclone, d'un diamètre très variable, de l'ordre de 40 km en moyenne où les vents sont faibles et le ciel peu nuageux

Au niveau mondial, l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) distingue en trois classes différents les perturbations tropicales. Quand une perturbation se voit être dotée de vent inférieure à 62 km/h cette perturbation est classée comme une dépression tropicale. Entre 62 et 117 km/h, les perturbations sont décrites comme des tempêtes tropicales. Les ouragans sont finalement définis par des vents supérieurs à 117 km/h. Les ouragans sont ensuite classés en 5 catégories suivant l'échelle de Saffir-Simpson pour évaluer l'intensité de ces derniers.

• Impacts

Tout d'abord, il est important de préciser qu'un cyclone est bien souvent accompagné d'un cortège de phénomènes météorologiques qui vont généralement amplifier les impacts du cyclone. Il est donc parfois difficile de déterminer la part des dégâts liés à tel ou tel phénomène. La submersion marine, les pluies intenses, le ruissellement (urbain ou non), les différents types de crues ainsi que les mouvements de terrain associés sont autant de paramètres qui peuvent venir dégrader la survenue d'un cyclone et de ses vents.

Tout comme le séisme, un ouragan peut dévaster complètement une région comme cela a été le cas à Saint-Martin avec l'ouragan IRMA. Les dommages peuvent tout aussi bien être directs (avec la destruction des réseaux, l'endommagement du bâti, de l'environnement, etc.) ou indirects (avec des pollutions diffuses, des risques sanitaires suite à la destruction des ouvrages de santé ou du réseau d'eau, etc.)

• Prévision

La prévision cyclonique consiste à détecter la formation des phénomènes cycloniques, puis à prévoir leur trajectoire, leur intensité et leurs principales conséquences.

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) coordonne la veille cyclonique sur le plan international. Elle a désigné dans chaque bassin océanique un Centre Météorologique Régional Spécialisé (CMRS) dans la prévision cyclonique, par exemple, Miami pour l'Atlantique nord et le Pacifique nord-est, Saint-Denis de La Réunion pour le sud-ouest de l'océan Indien.

Chaque CMRS :

- Surveille la zone, dont il a la charge ainsi que toutes les dépressions tropicales en présence, depuis leur formation jusqu'à leur disparition ;
- Élabore un modèle spécifique de prévision de trajectoire et d'intensité. Les prévisions actuelles ne peuvent excéder une échéance de 24 heures. Au-delà, des tendances de trajectoires peuvent être établies avec des incertitudes de l'ordre d'une centaine de kilomètres pour 48 h ;
- Diffuse un bulletin à tous les services météorologiques de la région (toutes les six heures puis toutes les trois heures vers les zones habitées) dès qu'un phénomène cyclonique est identifié.

Pour la France, c'est Météo-France qui prend le relais pour élaborer ses propres prévisions locales et diffuser ses bulletins de prévisions assortis de cartes de trajectoire cyclonique.

À partir des informations transmises par Météo-France, le représentant de l'État décide, le cas échéant, de mettre le département ou le territoire en vigilance cyclonique puis, le cas échéant, de déclencher le dispositif de gestion de crise et d'alerter les élus et la population.

5. Mouvement de terrain



• Définition

Les famille des mouvements de terrain peut être décrit comme « un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux du sol ou du sous-sol. Les volumes en jeux sont compris entre quelques mètres cubes et plusieurs millions de mètres cubes. Ils sont fonction de la nature et de la disposition des couches géologiques. Ils sont dus à des processus lents de dissolution ou d'érosion favorisés par l'action de l'eau et de l'homme ».

Plusieurs types de mouvements de terrain peuvent ainsi apparaître suivant les différentes conditions décrites précédemment. Les principaux mouvements de terrain auxquels doivent faire face les territoires étudiés sont :

- Les glissements de terrain qui consistent en un déplacement d'une couche de sols dans le sens de la pente. Ce phénomène peut être très lent de l'ordre de quelques millimètres par an et brutalement s'accélérer avec la présence d'une perturbation et ainsi avoir des déplacements d'un mètre par jour,
- Le tassement qui peut être à l'origine d'une fragilisation du bâti et se manifeste suite à l'assèchement d'un sol ou à une compression trop importante,
- Le retrait-gonflement des argiles qui est lié aux changements de l'hydrométrie des sols,
- Les éboulements et chutes de blocs qui correspondent à un décrochement d'une partie plus ou moins grosse d'une falaise généralement,
- Les coulées de boues qui surviennent initialement lors de précipitations importantes sur des reliefs et qui sont constituées d'une phase solide importante,
- L'érosion de berges et du littoral qui dépend du type de sols et de l'intensité des phénomènes auxquels la zone fragilisée va être exposée.

Ces phénomènes accompagnent généralement d'autres aléas forts comme les cyclones, un séisme ou suite a un évènement pluvieux intense. L'érosion du littoral et les houles importantes peuvent aussi provoquer la chute de blocs au niveau de certaines falaises.

• Impact

Les mouvements de terrain, qu'ils soient lents ou rapides, peuvent entraîner un remodelage des paysages. Celui-ci peut se traduire par la destruction de zones boisées, la déstabilisation de versants ou la réorganisation de cours d'eau.

Suivant l'évolution de la structure du sol, les mouvements rapides, voire brutaux, peuvent entraîner la ruine des constructions et causer des victimes.

En termes d'infrastructures touchées, les effondrements et les affaissements peuvent provoquer des désordres sur les canalisations enterrées (une fuite d'eau induit en outre une accélération du processus).

• Prévision

Tout comme les séismes, la survenue de ces phénomènes reste plus ou moins imprévisible. La prévision reste donc compliquée à mettre en place. Mais si un secteur ou une zone d'un relief est identifié comme dangereux pour la population, des campagnes de mesures peuvent être entreprises pour évaluer le mouvement ou le décrochage possible de la couche de sols en question.

Les signes avant-coureurs des mouvements de terrain étant très restreint, seul l'intervention d'un expert pourrait conduire à une évaluation du potentiel de cet aléa sur des zones sans risque évident.

6. sécheresse



- Définition

Une sécheresse peut être décrite comme « une période prolongée caractérisée par un déficit de précipitations ayant de graves répercussions sur l'agriculture, les ressources en eau, les biens, les activités humaines (feux de broussailles, perte de cultures) et l'environnement (phénomènes de retrait-gonflement des argiles). ».

On distingue également trois types de sécheresse :

- La sécheresse atmosphérique ou météorologique qui consiste en un déficit pluviométrique durable,
- La sécheresse hydrologique qui correspond à un manque sur la ressource en eau. Cette sécheresse est mise en évidence par des niveaux anormalement bas des ressources superficielles et souterraines et peut découler d'une sécheresse atmosphérique,
- La sécheresse agricole qui correspond à un déficit de pluie dans la partie superficielle des sols.

- Impact

La sécheresse peut avoir plusieurs impacts. En premier lieu, ce sont les installations agricoles qui pâtiront d'un stress hydrique. Cela réduira donc les récoltes et fragilisera la santé animale.

La sécheresse aura aussi un impact direct sur le sol. La sécheresse risque ainsi d'induire un phénomène de retrait-gonflement d'argiles et ainsi de fragiliser certaines structures. Pour les réseaux, certaines installations peuvent être amenées à dysfonctionner, si les températures sont vraiment trop importantes. Les tableaux électriques de certaines stations sont ainsi vulnérables.

Pour la ressource en eau et l'alimentation en eau potable, la sécheresse va avoir trois incidences. La première est la baisse du niveau d'eau. Pour les ressources superficielles, elle se manifeste par de l'évaporation (pour les retenues par exemple) et sur les eaux vives et souterraines (types rivières ou nappes) par une baisse de débit dues à la réduction des précipitations.

La deuxième incidence pour le réseau est la difficulté pour les polluants de se diluer. Avec l'effet de la chaleur, la pollution se dilue moins bien et le risque de contamination au niveau des réserves d'eau augmente. Ce principe est également impactant pour les milieux naturels où certaines espèces sont sensibles aux variations de température ou à la baisse de l'oxygénation.

Enfin, une dernière incidence de la sécheresse est l'avancée du biseau salée. Comme dit précédemment, les niveaux d'eau douce auront tendance à diminuer avec la sécheresse ce qui impliquera que les interfaces eau douce et eau salée se déplaceront. Ces contaminations des forages et des points de pompage font que, sur certaines périodes sèches, des usines de production d'eau potable doivent cesser de fonctionner car le sel endommagerait les installations ou les rendrait tout simplement l'eau impropre à la consommation.

- Prévision

En décembre 2009, l'OMM a réuni des experts internationaux et adopté un indice de précipitations normalisé : le Standardized Precipitation Index (SPI). Les Services météorologiques et hydrologiques nationaux du monde entier devraient se référer à cet indice pour décrire les sécheresses météorologiques. Une période de sécheresse débute lorsque cet indice commence à être systématiquement négatif et s'achève lorsqu'il devient positif. Après les travaux d'études nécessaires, cet indice est maintenant utilisé aux Antilles françaises par Météo-France dont c'est le domaine d'expertise.

La sécheresse agricole peut, quant à elle, être définie par Soil Wetness Index (SWI) et la sécheresse hydrologique avec le Standardized Flow Index (SFI).

Tous ces indicateurs permettent de vérifier en un point précis l'influence d'une sécheresse mais aujourd'hui, la majeure partie des ressources en eau est surveillée et les mesures alimentent continuellement des bases de données spécialisées.

En outre, tous les mois, un « bulletin de situation hydrologique » est publié dans chaque région ou bassin métropolitain par les DREAL et au niveau national (métropole uniquement) par un comité de rédaction composé des différents contributeurs du bulletin (producteurs et gestionnaires de données), animé par l'Office International de l'Eau (OIEau), en lien avec l'Office Français de la Biodiversité (OFB) et la Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DEB) du ministère de la Transition écologique.

Pour l'outre-mer, l'information sur la situation hydrologique est publiée selon des dispositifs propres à chaque territoire comme par exemple les « chroniques de l'eau » (de l'Office de l'Eau) à La Réunion.

C. Les sites d'étude

L'étude porte donc sur les cinq départements d'Outre-Mer français (Guadeloupe, Martinique, Guyane, Mayotte et La Réunion) ainsi que la collectivité d'outre-Mer de Saint-Martin. Comme la figure 3 suivante, la répartition géographique de ces territoires est très différente les unes des autres et il apparaît trois secteurs géographiques distincts. La première zone d'étude avec la Guadeloupe, la Martinique et Saint-Martin représente les Petites Antilles. Le second secteur géographique est localisé autour de la Guyane. Le troisième est composé des îles de La Réunion et de l'archipel de Mayotte.

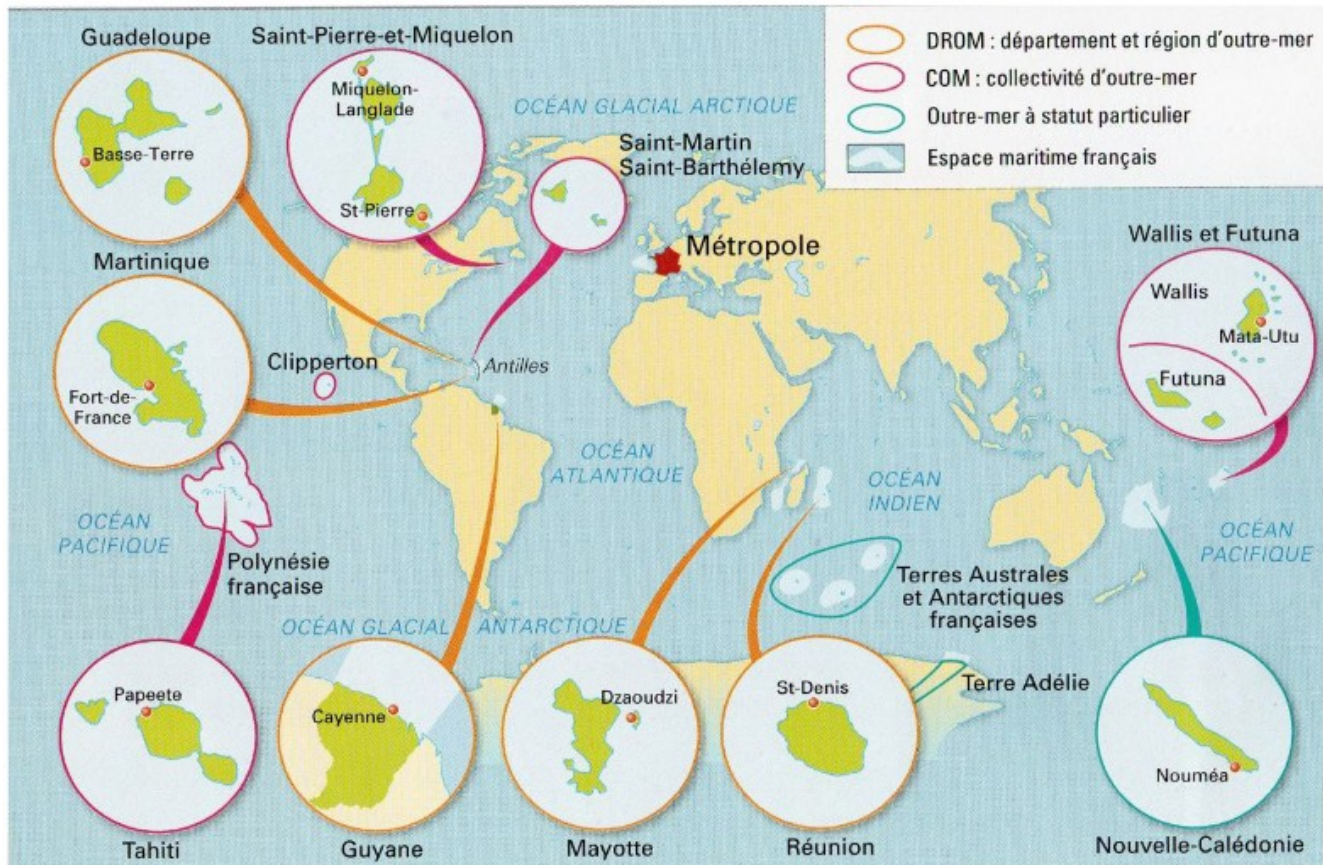


Figure 3: Carte de localisation des 6 territoires de l'étude, Source : [126]

1. La Guadeloupe

a. Description générale du territoire

La Guadeloupe est un archipel de 1 702 km² constitués de :

- La Guadeloupe « continentale » d'une superficie de 1 438 km², elle est composée de deux grandes parties Basse Terre au Sud-Ouest et Grande-Terre au Nord-Est. Ces parties de l'île sont séparées par un bras de mer appelé la Rivière Salée
- L'archipel des Saintes (14 km²) au sud de Basse-Terre
- La Désirades (22 km²) au sud de Grande-Terre-de-Bas
- Marie Galante (158 km²) à l'Est de Grande-Terre

La Basse-Terre est la partie montagneuse de l'île avec le volcan de la Soufrière. Elle est très humide et recouverte d'un couvert forestier tropical conséquent. Cette partie de l'île voit donc la population se regrouper proche du littoral. La Grande-Terre est, quant à elle, beaucoup moins vallonnée et plus sèche. C'est sur cette partie de l'île où les activités économiques sont les plus importantes avec le tourisme notamment.

Avec près de 390 000 habitants (source INSEE, janvier 2018) et une densité de population de 240 hab/km², la Guadeloupe peut être décomposée à travers ses 6 Établissements Publics à Coopération Intercommunale (EPCI). La population est majoritairement rassemblée au centre de l'île au niveau la Communauté d'Agglomération Cap Excellence (CAPEX) avec les communes de Baie-Mahault et des Abymes où un quart de la population réside.

b. Les ressources et la production d'eau potable

La ressource en eau est abondante sur le territoire de la Guadeloupe mais très inégalement répartie. En effet, la Basse-Terre et ses reliefs bénéficient de l'effet de foehn, ce qui engendre une pluviométrie importante sur cette partie de l'île. La Grande-Terre, la Désirade et les Saintes ne bénéficient pas de ce type de reliefs et sont donc plus souvent confrontées à la sécheresse. Les variations de précipitation peuvent ainsi aller de 1 000 mm à plus de 8 500 mm.

Il est généralement convenu qu'avec le climat maritime tropical, la Guadeloupe fait face à deux saisons bien distinctes avec une saison sèche de janvier à avril et une saison des pluies de juillet à novembre.

Cette variabilité dans le temps et dans l'espace conduisent à la mise en œuvre d'infrastructure importante pour alimenter tout le territoire. La Guadeloupe est ainsi dotée de plusieurs canalisations appelées « feeders » qui permettent une alimentation des territoires les plus secs grâce à la ressource en eau présente sur Basse-Terre [15].

c. Organisation des services d'eau et d'assainissement

Il y a au total cinq autorités organisatrices différentes sur tout le territoire pour la gestion de l'eau et de l'assainissement. En effet, la communauté d'agglomération Nord Grande-Terre CANGT et la communauté d'agglomération de la Riviera du Levant (CARL) ainsi que les communes de petit Bourg et Goyave qui font partie de la communauté d'agglomération Nord Basse-Terre (CANBT) ont transféré leur compétence eau et assainissement au Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau et d'Assainissement de la Guadeloupe (SIAEAG). Les autres communautés d'agglomération comme la Communauté d'Agglomération Grand Sud Caraïbes (CAGSC), la Communauté d'Agglomération Cap Excellence (CAPEX) et la Communauté de Communes de Marie Galante (CAMG) ont choisi d'exploiter ces compétences en régie [16].

Pour la plupart, les autorités organisatrices précédemment citées ont choisi de déléguer ces compétences eau et assainissement à plusieurs groupes comme la Générale des Eaux Guadeloupe (GEG, filiale de VEOLIA), la Compagnie Guadeloupéenne de Services Publics (CGSP, filiale de SAUR) et la Nantaise Des Eaux Services (NDES, filiale de SUEZ).

Le territoire fait face à de nombreux problèmes de fuites sur son réseau. En effet, sur près de 96 millions de m³ d'eau prélevé (dont 75 % est issue de prélèvement de surface) seulement 39 % a été distribués sur l'ensemble de la Guadeloupe [15].

d. Les aléas naturels

Faisant partie de l'arc antillais, ce territoire est soumis à tous les aléas de l'étude avec en plus le risque volcanique marqué par la présence de la soufrière sur la partie de la Basse-Terre.

- Pluies intenses

Tout d'abord, comme expliqué précédemment, la Guadeloupe subit entre juillet et novembre une saison humide caractérisée par des fortes pluies. Cette temporalité s'accompagne d'une spatialisation bien distincte avec la majeure partie des précipitations qui se produisent sur Basse-Terre. Cette pluviométrie est donc déjà importante en temps normal mais peut se voir amplifier avec des événements pluvieux comme des orages très localisés ou des cyclones qui seront décrits ultérieurement.

Ces orages et ces fortes pluies attendues pendant la saison humide peuvent entraîner des phénomènes de crues éclair notamment sur Basse-Terre où la présence de forts dénivelés peut engendrer par la suite des glissements de terrain avec de l'érosion, des coulées de boues ainsi que des inondations.

Sur Grande-Terre, c'est donc moins le relief mais plutôt la capacité d'infiltration du sol qui rentre en compte. En effet, avec les fortes pluies, le sol peut se retrouver saturé assez vite provoquant par la suite une stagnation des eaux et des ruissellements importants. Le réseau d'assainissement s'en retrouve alors lui aussi rapidement saturée et une inondation se produit [9].

- Vagues subversives

La Guadeloupe possède un long linéaire côtier et se trouve dans une zone à fort risque de cyclone. Ces paramètres la rendent alors vulnérable à la submersion marine. Plusieurs phénomènes peuvent être à l'origine de cet aléa. Il y a tout d'abord la marée de tempête (augmentation du niveau marin liée à la dépression atmosphérique au niveau du cyclone et aux vents latéraux, qui créent à la fois une aspiration de l'eau vers le haut et une accumulation d'eau) ou la houle cyclonique (vagues précédant le cyclone et liées aux forts vents).

L'un des événements les plus marquant avec ce type d'aléa est l'inondation subie par le Sud de Grande-Terre où une submersion marine engendré par un cyclone (et donc des houles cycloniques) a provoqué des vagues de plus de 5 mètres de haut. Le bilan humain de cet événement marquant s'élève à 1200 morts [17].

- Cyclones

Comme expliqué précédemment, les cyclones sont à l'origine d'une grande partie des catastrophes auxquelles la Guadeloupe doit faire face. Le risque cyclonique y est en effet important comme dans toutes les Antilles où, selon Météo France, « les îles antillaises sont touchées en moyenne une fois tous les cinq ans par un événement de catégorie supérieure ou égale à 1 » [18]. La saison cyclonique se met en place en même temps que la saison humide donc généralement entre juin et novembre avec des risques accrus entre mi-août et mi-octobre.

Sur ce territoire, le dernier événement cyclonique marquant est le cyclone HUGO de classe 4 qui a frappé l'île en septembre 1989. La particularité de cet événement est la puissance des vents qu'il a généré sans pour autant qu'il soit accompagné par des pluies ou par la submersion marine [17]

- Séismes

Comme sur tout l'arc antillais, le risque sismique est important sur le territoire de la Guadeloupe. En effet, ce territoire est classé comme une zone d'aléa sismique fort (5 sur une échelle de 1 à 5). Comme pour le risque cyclonique, tout le territoire de la Guadeloupe est concerné par le risque sismique.

Le dernier événement sismique le plus impactant pour la Guadeloupe s'est déroulé le 21 novembre 2004. Avec une magnitude de 6 à 7 en Guadeloupe, le séisme a provoqué



Figure 4: La place de la victoire à Pointe-à-Pitre après le passage de l'ouragan HUGO, Source: DDRM Guadeloupe

d'important dégâts sur le sud de la Guadeloupe. Les impacts se sont donc essentiellement concentrés au niveau de Basse-Terre, Marie-Galante et les Saintes. Sur ces dernières, les communes de Terre-de-Haut et Terre-de-bas ont particulièrement été impactées à cause d'un tsunami que le séisme a généré. Environ quinze habitations ont été détruites à Terre-de-bas et la plupart des habitations a été fragilisée dans ces deux communes [9] .

- Mouvement de terrains

La Guadeloupe est aussi concernée par les problématiques liées aux mouvements de terrain et cela pour les différents phénomènes qu'ils peuvent engendrer. Le glissement de terrain est un risque important sur Basse-Terre à cause des reliefs importants sur cette partie de l'île et de la combinaison avec la saturation du sol lors d'un évènement ponctuel ou à cause d'une période pluvieuse longue. Des phénomènes de coulées boueuses peuvent aussi apparaître et accompagner les glissements de terrain provoqués le plus souvent par des pluies intenses.

Le littoral de la Guadeloupe est aussi concerné par des effondrements de cavités souterraines qui affectent plus particulièrement Marie-Galante et Grande-Terre.

La présence de sols argileux va favoriser les phénomènes de retrait gonflement d'argiles qui peuvent survenir lors de l'alternance de période humide et de forte sécheresse.

Ces phénomènes ont tendances à fragiliser les axes routiers et vont dégrader les habitations et les réseaux proches des reliefs de Basse-Terre (voir figure 5).



Figure 5: Éboulement sur la route du volcan de la soufrière suite au séisme de novembre 2004, Photos : Sophie Lignier

- Sécheresse

Bien que ce phénomène ne soit pas explicitement inscrit au Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM), la sécheresse à tendance à provoquer en Guadeloupe des problèmes de ressource. Encore cette année en 2021, des arrêtés de restriction provisoire sont régulièrement mis en place par la préfecture pour limiter une utilisation excessive de l'eau afin de préserver la ressource. La ressource principale d'eau pour la production étant l'eau de surface, les niveaux d'eau dans les rivières doivent être suffisamment hauts pour pouvoir assurer une continuité du service [19] .

Cela a aussi tendance à affecter les nappes qui servent également dans une proportion moindre à la production d'eau potable mais qui sont surtout utiles au nord de Grande-Terre pour un approvisionnement plus direct.

2. Martinique

a. Description générale du territoire

La Martinique est île volcanique située dans l'archipel des petites Antilles tout comme la Guadeloupe et Saint-Martin. L'île s'étend sur 1 128 km² et bénéficie d'un climat tropical tempéré. L'île est composée de petits reliefs ainsi que de la montagne Pelée qui culmine à 1 397 m d'altitude et qui est toujours en activité. Elle bénéficie d'une forêt tropicale luxuriante ainsi que de la présence d'une mangrove encore importante [20] .

Le territoire compte près de 370 000 habitant (Source INSEE, 2018). La Martinique peut être divisée en trois parties du nord au sud avec ces trois communautés d'agglomération : la Communauté d'Agglomération du Centre de la Martinique (CACEM) regroupant 4 communes, la Communauté d'Agglomération de l'Espace Sud Martinique (CAESM) regroupant 12 communes et la Communauté d'Agglomération de Pays Nord Martinique (CAP Nord) regroupant 18 communes.

b. Les ressources et la production d'eau potable

L'île étant située dans la même zone géographique, la Martinique a elle aussi une saisonnalité bien marquée. En effet, la période humide se produit généralement entre juillet et décembre quand la période sèche ou carême se produit entre janvier et juin.

Tout comme Basse-Terre en Guadeloupe, l'île est très montagneuse et accueille un réseau hydrographique important avec plusieurs rivières donc quatre majeures pour la production d'eau potable. Les rivières concernées sont la Rivière Blanche, la Capot, la Lézarde et la Daumauzé. La Martinique a elle aussi une inégalité spatiale autour de la ressource en eau. Au sud de l'île, aucune source n'est disponible et l'acheminement de l'eau doit alors être réalisé par d'importantes infrastructures pour alimenter le sud de l'île. Autour de 42 millions de m³ sont ainsi prélevés pour la production d'eau potable (55 millions avec l'irrigation et les autres activités économiques) dont 60 % prélevés exclusivement dans La lézarde et son affluent la Rivière Blanche [21] .

c. Organisation des services d'eau et d'assainissement

Les trois exploitant qui gèrent la production d'eau potable et de l'assainissement sont la Société Martiniquaise des Eaux (SME) pour la CAESM et la CAP Nord et ODYSSI pour la CACEM. La CAESM a ainsi délégué la mission à société privée quand la CACEM a choisi d'assurer la distribution de l'eau potable avec une régie communautaire dédiée [22] .

d. Les aléas naturels

Tout comme la Guadeloupe, la Martinique subit la totalité des aléas étudiés dans l'étude avec en plus le risque volcanique par la présence de la Montagne Pelée.

- Pluies intenses

La Martinique étant une île avec des reliefs importants, elle est d'autant plus sensible aux périodes de pluies intenses. Malgré la bi-saisonnalité avec une saison sèche et une saison humide, ces épisodes pluvieux peuvent se produire toute l'année et en particulier aux inter-saisons de façon plus localisée.

Ces pluies peuvent alors être générées par des phénomènes d'ondes tropicales actives circulant de l'Afrique vers les Antilles typiques de la saison humide, de cyclones proches de l'île ou d'amas pluvio-orageux remontant de la Zone Intertropicale de Convergence (ZIC) [6].

L'un des derniers événements en lien avec cet aléa est l'épisode pluvieux du 5 mai 2009. Un premier cycle pluvieux est apparu entre le 30 avril et le 1^{er} mai 2009. Ce premier temps a eu comme conséquence un remplissage des sous-couches de sols et un remplissage de certaines nappes qui se trouvaient déjà en surcharge. Le second cycle pluvieux est ainsi apparu le 5 mai 2009 avec une intensité exceptionnelle (période de retour 50 ans). Il a provoqué d'importantes inondations avec des débordements de cours d'eau (notamment la Lézarde) et des ruissellements importants. Les impacts de la pluie ont créé de nombreux dégâts sur les infrastructures publiques et certains axes routiers n'étaient plus utilisables. Cet épisode a engendré d'autres phénomènes comme des mouvements de terrain qui seront décrits par la suite [23] [24].

- Vagues submersives

Le caractère insulaire rend la Martinique également sensible à l'aléa de vagues submersives. Ces dernières peuvent aussi être générées, comme les pluies intenses, par la proximité d'un cyclone. Le cyclone va ainsi générer des marées de tempête ou de la houle cyclonique. La côte Ouest ou côte Caraïbe est très vulnérable car il n'y a aucune barrière naturelle contrairement la côte Est ou Atlantique qui est dotée d'un plateau continental avec des récifs coralliens, qui limite l'impact des effets produits générés par les cyclones et les vagues submersives en général [6].

L'une des dernières réalisations du risque de submersion marine s'est produite en août 2007 avec le passage cyclone Dean. Ce dernier a traversé l'arc Antillais par le sud de la Martinique générant une forte houle qui a impacté toute la côte Atlantique de l'île. Des vagues impressionnantes se sont ainsi abattues sur les côtes martiniquaises provoquant d'importants dégâts sur les infrastructures côtières avec des inondations côtières et des ensablements. L'érosion générée par les vagues a conduit un retrait du trait de côte de 20 m par endroit. Cet événement a provoqué l'endommagement de 9 000 habitations dont près de 1 500 détruites et a fait 12 blessés et 3 décès [25].

- Cyclones

La Martinique fait aussi partie des secteurs où le risque de cyclone est le plus important. L'arc Antillais étant très souvent perturbé par ce type de phénomène, la Martinique ne fait pas exception et tout son territoire peut donc être concerné par cet aléa. Elle est d'autant plus sensible que son relief important peut engendrer des mouvements de terrain combinés dévastateurs. De plus, ces reliefs auront tendance à bloquer les systèmes nuageux et donc à engendrer encore plus de précipitations. Il est aussi important de préciser que cet aléa peut aussi engendrer à son tour de la submersion marine. [6]

- Séismes

La Martinique est classée comme une zone de forte sismicité (niveau 5) d'après le zonage sismique de France. Le territoire de la Martinique peut être soumis à cinq types de séisme défini précédemment du fait de la présence des deux plaques tectoniques (Amérique et Antilles) en subduction. Tout le territoire peut donc être impacté.

L'île a subi le 29 novembre 2007 un séisme de magnitude 7,4. Bien que le séisme se soit produit à 40 km au nord de l'île (et à 140 km de profondeur) la secousse principale a duré près d'une minute. Malgré la destruction de plusieurs bâtiments, établissements publics ou la rupture de plusieurs axes routiers, le séisme n'a pas provoqué directement la mort d'une personne. En tout, une centaine de personnes ont été blessées, 3 personnes ont été hospitalisées dont une est décédée [6].

- Mouvement de terrains

La Martinique est concernée par plusieurs types de mouvement de terrain comprenant : les glissements de terrain, les coulées de boues, les chutes de blocs et les éboulements, les laves torrentielles et la liquéfaction des sols. Toute l'île est concernée par ces phénomènes qui sont essentiellement dus aux nombreux reliefs que possède le territoire et aux impacts cumulés avec les pluies intenses et les cyclones qui sont assez fréquents dans cette région [6] .

Pour revenir aux événements des pluies intenses qui ont eu lieu en mai 2009, cet épisode pluvieux a généré de nombreux glissements de terrain et des coulées de boues. Les glissements de terrain ont notamment endommagé plus d'une vingtaine de canalisations d'eau potable. Une des canalisations principales, qui se trouve sur la commune du Lorrain, a ainsi été sévèrement endommagée. La rupture de canalisation de 800 mm qui assurait la sortie de production de l'usine a impacté plus de 100 000 personnes sur les 12 communes que cette canalisation desservait (un quart de la population affectée). Le réseau télécom a lui aussi été impacté à cause encore une fois des glissements de terrain qui ont directement endommagé les poteaux électriques de l'île [23] [24] .

[Photographie du glissement de terrain de la falaise du Piton Marcel \(11/05/2010\)](#)



source - OVSM - 2010

Figure 6: Glissement de terrain sur la falaise du Piton Marcel le 11/05/2005

- Sécheresse

La Martinique n'est pas non plus épargnée par le risque de sécheresse. En effet ce phénomène se produit généralement après une saison humide déficitaire en précipitation et un enchaînement avec un carême très sec. Ce scénario s'est notamment produit en Martinique en 1998, 2003 et 2010.

De plus, les rivières du sud de la Martinique coulent sur des sols argileux avec peu de réserves souterraines ce qui les rend très sensibles aux périodes de sécheresse. Les rivières du Sud de type « rivière de plaine et de mangrove » sont ainsi beaucoup plus souvent concernées par des étiages que les « rivières de montagne » qui coulent au nord de l'île.

La conséquence cette sécheresse peut apparaître sous la forme de départ de feux. Les départs de feu ont notamment causé entre août 2009 et 2010 la destruction de nombreux hectare de terres agricoles avec notamment la canne à sucre. Les incendies ont aussi ravagé des parties de forêt proche de la Montagne Pelée ; ce qui rendait les interventions de sécurisation très complexes avec des moyens d'accès restreints. La Martinique n'a d'ailleurs « pas de moyens aériens de lutte contre les incendies appropriés à ce type de massif » souligne le DDRM [6] .

3. Guyane

a. Description générale du territoire

La Guyane est la deuxième région la plus vaste de France avec 83 846 km² (juste derrière la nouvelle Aquitaine qui compte 84 036 km²). La Guyane est la seule zone d'étude qui n'est pas un territoire insulaire. Elle est délimitée au nord par sa façade Atlantique, à l'est par le fleuve Oyapock qui forme une frontière naturelle avec le Brésil, à l'Ouest par le fleuve Maroni qui forme une frontière naturelle avec le Surinam et au sud par une ligne de partage des eaux avec le Brésil [26]. La Guyane est composée à 95 % d'espaces naturel avec des forêts tropicales et des zones humides. Elle ne comporte pas de relief particulier et peut se décomposer en deux ensembles morphologiques, une plaine alluviale littorale basse (inférieure à 200 m d'altitude) représentant 6 % du territoire et une « terre haute » entre 200 et 300 m (avec une pointe à 830 m) qui représente 94 % de la Guyane [27].

La Guyane compte près de 280 000 habitants (Source Insee 2018) répartis sur les 4 EPCI de la région. Ces 4 EPCI sont la Communauté d'Agglomération du Centre Littoral de Guyane (CACL) avec 6 communes dont Cayenne où est basé la préfecture, la Communauté de Communes de l'Ouest Guyannais (CCOG) regroupant 8 communes, la Communauté de Communes de l'Est Guyanais (CEEG) avec 4 communes et la communauté de communes des savanes (CCDS) regroupant 4 communes [26]. Cette population est inégalement répartie et se concentre sur le littoral nord ainsi que le long du fleuve Maroni à l'ouest et aux alentours de quelques communes à l'est proche de l'Oyapock [27].

b. Les ressources et la production d'eau potable

La Guyane se trouve comme les autres territoires précédemment détaillés dans la Zone Intertropicale de Convergence (ZIC). Le climat de ce territoire est cependant divisé différemment avec quatre saisons marquées avec :

- de décembre à janvier, une petite saison des pluies,
- de mars à mi-avril, la saison dit du petit « été de mars »,
- de mi-avril à juin une grande saison des pluies,
- de juillet à novembre une grande saison sèche [27].

La Guyane comporte un réseau hydrographique très fourni avec un total de 864 masses d'eau dont 841 cours d'eau et 12 masses d'eau souterraine. Les cours d'eau sont donc la principale source de production pour l'eau potable. Néanmoins, la saisonnalité a tendance à influencer le débit des cours d'eau. Les rivières peuvent alors connaître des périodes d'étiages problématiques pour la production d'eau potable. Un phénomène de remontée du biseau salée a tendance à apparaître à cause entre autres des épisodes de sécheresse. De plus, ces masses d'eau sont très vulnérables à l'activité anthropique et à la pollution que ces activités peuvent générer. La Guyane fait notamment face à une problématique d'orpillage illégale qui a pour conséquence des relargages de mercure, une augmentation des Matières En Suspension (MES) et des altérations hydromorphologiques. Les installations de potabilisation nécessitent donc des moyens techniques importants pour palier à ces différents problèmes [28].

c. Organisation des services d'eau et d'assainissement

Sur les 22 communes que compte la Guyane, 18 ont choisis de déléguer leur compétence de gestion de la production d'eau potable et de l'assainissement à la Société Guyanaise Des Eaux (SGDE). Les communes restantes de Camopi, Ouanary, Saint-Eli et Saül s'occupe de cette compétence en régie directe. La production d'eau potable sera globalement effectuée avec des prises d'eau en rivière pour les agglomérations avec des moyens plus important pour traiter les eaux et avec des débits important. Pour les communes reculées, des sources d'eau souterraines sont généralement préférées pour leurs qualités en dépit d'un débit important [28].

d. Les aléas naturels

Le territoire de la Guyane n'est pas affecté par tous les risques de l'étude. La Guyane se trouve dans une zone de sismicité très faible (1 sur une échelle de 1 à 5) et la zone sismique la plus proche se trouvant au niveau l'Arc guyanais à plus de 1 000 km du territoire. Elle n'est pas non plus concernée par le risque cyclonique mais peut tout de même subir sur son territoire des rafales de vent ne dépassant que très rarement 90 km/h [8].

- Pluies intenses

La Guyane se trouvant dans la zone de la ZIC, la saisonnalité que cette zone délimite a souvent tendance à provoquer des phénomènes de pluies intenses. En effet, cet aléa va bien souvent conduire le risque inondation à se réaliser à cause des débordements de cours et des importants ruissellements qui peuvent se produire notamment sur le littoral nord. De plus, quand ces pluies sont directement liées à la ZIC, les marées qui les accompagnent sont généralement hautes ; ce qui va ralentir considérablement l'évacuation des eaux. Les enjeux les plus exposés pour cet aléa sont la côte littorale nord même si des pluies intenses peuvent toujours se réaliser à la suite d'un orage dans les terres. De plus, le risque inondation est lui quasiment présent sur tout le territoire à cause des nombreux cours d'eau qui peuvent être amenés à déborder avec des pluies faibles mais répétées notamment pendant les saisons humides [8] .

L'un des derniers événements en date est la période de pluie intense qui s'est déroulée entre le 10 et le 20 mai 2013. Au total, c'est environ 500 mm cumulés qui se sont abattus sur Cayenne et Macouria. Les averses ont été accompagnées des rafales de vent assez fortes et la marée montante empêchait une bonne évacuation des eaux. Cayenne a subi alors d'importantes inondations dues au ruissellement avec, par endroit, un mètre et demi d'eau dans les rues. Les axes routiers ont été inutilisables, plusieurs bâtiments ont été endommagés comme des écoles mais les habitations ont été pour la plupart épargnées. Ce n'est pas le cas à Macouria où, là aussi, le niveau d'eau a dépassé les 1,5 m ; beaucoup plus d'habitations ont été touchées [29] .

- Vagues submersives

La Guyane est particulièrement impactée par la submersion marine. Dans un premier temps car les zones urbanisées proche du littoral favorisent les inondations en cas de submersion. Ensuite, son littoral a naturellement tendance à se déplacer et peut fluctuer sur plus de 200 m. L'érosion, que la submersion marine engendre, a donc un impact fort suivant la position du banc de vase caractéristique de la région mais aussi de l'exposition du secteur au vent ainsi que de la morphologie du littoral. De plus, l'effet de la marée est habituellement très impactant sur la région à cause des faibles reliefs. Les marées influencent donc les cours d'eaux sur des dizaines de kilomètres. Le phénomène de vague submersive a alors un impact encore plus grand et augmente le risque d'érosion [8]. On estime que 46 % de la population est exposé à ce type d'aléa en 2014.

Entre le 10 février et le 22 février 2016, la ville de Kourou a subi plusieurs épisodes de submersion marine. Deux temps se succèdent où les niveaux d'eau sont hauts avec plus de 3,5 m en début de crise et autour de 3,2 m pour le deuxième temps du 21 et 22 février. De plus, les trains de houle (période des vagues) sont plus rapides qu'habituellement (8,5 s au lieu de 11,5 s). Les routes sont alors ensablées et plusieurs maisons sont impactées. L'érosion sur la plage est forte avec un recul du trait de côte allant de 10 à plus de 20 m. La présence des cocotiers pour retenir le sable n'a en effet pas suffi, la rangée d'arbre a été complètement couchée et l'absence de banc au large n'a pas permis de ralentir l'érosion [29] .

- Mouvement de terrains

La Guyane est aussi sensible aux mouvements de terrains du fait de sa formation géologique particulière de substratum cristallin recouvert par une couche d'altérites remaniées sur les pentes. Ce risque est essentiellement présent pour les trois communes de Cayenne, Rémire-Montjoly et Matoury qui se trouvent proches de petits reliefs n'excédant pas 250 m.

L'un des derniers événements est le glissement de terrain qui a engendré des dégâts matériels au niveau du Mont Baduel. Un arrêté préfectoral a alors été pris et un autre a été promulgué en 2016 encadrant les mesures de protection à prendre [8] [30] .

- Sécheresse

Avec plusieurs saisons alternées, la Guyane est concernée par la sécheresse sans pour autant être une constante chaque année. Cet aléa est surtout problématique pour la remontée du biseau salé ainsi que des étiages qu'il provoque. La production d'eau potable est alors impactée et les voies navigables pour l'approvisionnement de certaines régions se font plus difficilement. Il n'y a pas d'historique clair, concernant les épisodes de sécheresses mais certaines années se démarquent comme les années 2004, 2005 ou encore 2009. Cet aléa augmente aussi le risque de départ de feu qui est lui plus surveillé que la sécheresse [8] .

4. Réunion

a. Description générale du territoire

La Réunion est une région d'outre-mer située entre Madagascar et l'île Maurice dans l'Océan Pacifique et qui s'étend sur 2 515 km². L'île de la Réunion est volcanique avec pour sommet le Piton de la Fournaise qui culmine à 3 071 m d'altitude. Ce volcan est encore aujourd'hui en activité et hautement surveillé. La Réunion se distingue aussi par ses forêts tropicales ainsi que ses récifs coralliens. Son économie est en ce sens tournée vers le tourisme ainsi que vers l'agriculture et l'agroalimentaire notamment la production de canne à sucre et ses dérivés.

La Réunion comptait en 2018 près de 856 000 habitants (Source Insee 2018). Avec ses reliefs importants, cette population est inégalement répartie sur le territoire. En effet, 50 % de la population vit sur la bande littorale à moins de 150 m d'altitude, 25 % entre 150 et 400 mètres et donc 25 % au-dessus de 400 mètres d'altitude. La population est répartie sur les 5 EPCI de l'île avec la Communauté Intercommunale des Villes Solidaires (CIVIS) au sud-Ouest regroupant 6 communes, la Communauté Intercommunale du Nord de la Réunion (CINOR) au Nord regroupant les communes 3 communes, la Communauté Intercommunale Réunion Est (CIREST) avec 6 communes à l'Est de la région, la Communauté d'Agglomération du Sud (CASUD) regroupant 6 communes au Sud et enfin le Territoire de la Côte Ouest (TCO) regroupant 5 communes [31].

b. Les ressources et la production d'eau potable

La Réunion a un climat tropical humide marqué par 2 saisons : un hiver austral (saison sèche) de mai à novembre et un été austral (saison humide) de décembre à avril. La Réunion a sur son territoire une multitude de masses d'eau de surface. Orienté radialement par rapport à l'île, toutes ces ravines ne sont pas pérennes et seulement 1 800 km sur les 30 000 km de ravines ont un écoulement permanent. Ces ravines ont la particularité, avec les reliefs importants, d'avoir des temps de réponse faible (inférieur à quatre heures) ; ce qui rend la prévision des crues ainsi que les alertes plus difficiles à mettre en place [32].

Pour assurer le volume nécessaire à l'alimentation des usagers, les ressources souterraines sont aussi mobilisées et de façon équivalente à la ressource superficielle. L'Office de l'eau indique que la provenance de l'eau pour l'alimentation en eau potable (AEP) provient à 54 % des rivières et à 46 % des nappes souterraines. Ce partage n'est plus le même quand il s'agit de l'irrigation agricole, l'industrie ou les autres prélèvements tiers qui sont majoritairement effectués dans le réseau hydrographique superficiel de la Réunion [33].

c. Organisation des services d'eau et d'assainissement

La majorité des collectivités a opté pour une gestion avec une délégation de service public. Quatre opérateurs majeurs opèrent donc pour ces collectivités : Véolia Eau Réunion, Cise Réunion, Sudeau et Derichourg. Quatre collectivités ont choisi une gestion en régie communale pour des durées de 6 ans. Une société publique locale a enfin été mise en place en 2013 pour s'occuper de la compétence eau potable et assainissement sur la commune de Petite-Île.

La Réunion a mis en place un plan pour formaliser et protéger les prélèvements sur la région. À la fin de l'année 2019, 64 % des points de prélèvement sont ainsi protégés par des périmètres de protection et une déclaration d'utilité publique. Le rendement moyen du réseau sur l'île est de 61,6 % ce qui est encore insuffisant vis-à-vis de la réglementation qui prescrit 85 % de rendement ou 65 % avec un ajout de l'indice linéaire de consommation divisé par cinq qui mais reste correct par rapport au rendement des autres territoires d'outre-Mer [33].

d. Les aléas naturels

La Réunion est concernée par les six types d'aléas décrit dans l'étude avec un risque sismique bien plus faible qu'aux Antilles. Elle est aussi concernée par le risque volcanique de par la présence du Piton de la Fournaise qui est encore très actif.

- Pluies intenses

Avec ses reliefs, la Réunion est la région la plus impactée par les pluies intenses et détient plusieurs records du monde de précipitation sur des périodes qui peuvent durer de 12h et 15 jours (voir Météo France). De par ces reliefs, les précipitations ont tendance à générer très vite des débits importants et donc de provoquer des débordements de cours d'eau. Les précipitations peuvent aussi complètement saturer le sol de l'île et ainsi produire des inondations par remontée de nappes ou par stagnation des eaux. Ces phénomènes sont d'autant plus importants que les exutoires sur le littoral sont proches des zones urbaines également concernées par le ruissellement urbain qui vient amplifier les impacts des événements pluvieux [7].

En 1989, le cyclone Firinga a traversé complètement l'île de Réunion pendant 2 jours. Les vents associés ont été importants mais ce sont surtout les pluies intenses qui ont caractérisé cet événement et en particulier sur le sud de l'île. En effet, les pluies ont entraîné des augmentations de débit importantes dans les rivières et ravines. Conjointement avec les reliefs importants, de nombreux embâcles ont fait obstructions à certains exutoires. Des ponts ont été ainsi quasiment bouchés et des inondations se sont formées se combinant aux ruissellements urbains déjà importants. Les précipitations ont engendré 32 glissements de terrains sur la région qui, combinées aux inondations, ont coupé plusieurs axes principaux de l'île. Au total, le cyclone et les phénomènes associés ont provoqué la mort de 4 personnes et on estime à 6 000 habitants le nombre de sinistrés et à un milliard de francs le montant des dégâts [32].

- Vagues submersives

L'aléa de submersion marine est présent toute l'année sur le territoire de la Réunion. En effet, cet aléa provient majoritairement de 3 autres aléas à la Réunion : la houle cyclonique qui touche principalement la côte nord et est de l'île et survient pendant l'été austral, la houle australe qui touche principalement le sud et l'ouest de l'île et qui survient pendant l'hiver austral et enfin les marées de tempêtes. Ces dernières sont moins impactantes à la Réunion car l'amplitude des marées est faible dans ce secteur mais cela reste néanmoins des dangers potentiels à l'approche d'un cyclone pour les infrastructures directement proches du littoral [7].

Entre le 24 et le 28 février 2007, l'île de la Réunion a été influencé par le passage du cyclone Gamède. Le cyclone est passé au plus près à 200 km environ de la Réunion et les dommages qui lui sont liés sont surtout dus aux inondations et à la submersion marine. La houle cyclonique, qui a engendré de la submersion marine, a créé des vagues de plus de 10 m avec des moyennes de creux de 6,5 m. La côte nord de l'île a ainsi été particulièrement touchée avec les infrastructures du littoral complètement détruites, des ponts rompus et une érosion importante sur les plages. Les rivières ont vu leur débit multiplier par 20 pour certaines et d'importantes inondations sont apparues endommageant de nombreux foyers avec des coupures d'électricité et d'eau [32].



Figure 7: Exemple de houle australe sur le territoire de la Réunion, Source : cartedelareunion.fr

- Cyclones

La Réunion est particulièrement concernée par le risque cyclonique. Cet aléa peut essentiellement survenir pendant la saison humide avec un risque plus élevé entre les mois de janvier et de mars. Des cyclones peuvent toutefois arriver à se former sur la période de saison sèche mais cela reste rare. Il est estimé que la période de retour pour un cyclone de classe 1 minimum est de six ans. Mais des observations ont été réalisées, montrant qu'entre les 2 ans environ, un cyclone pouvait apparaître à moins de 100 km des côtes réunionnaises. Comme il a été mentionné auparavant, les dégâts et les phénomènes que peuvent engendrer les cyclones, même à une distance de 100 km, sont encore élevés [7].

L'un des derniers événements cycloniques s'est déroulé en janvier 2014. Le cyclone Bejisa a vu sa trajectoire passée à moins de 50 km des côtes ; ce qui a provoqué des mouvements de terrain ainsi que des fortes pluies et des phénomènes de submersion marine. Une grande partie de l'agriculture a été endommagée et jusqu'à 100 % des récoltes ont été perdues sur certains secteurs. Plusieurs axes routiers ont été coupés. L'infrastructure générale de l'île et le réseau électrique ont aussi été lourdement frappés. Finalement, le cyclone a provoqué la mort d'une personne et fait plus d'une quinzaine de blessés [34].

- Séismes

La Réunion est dans une zone de sismicité 2 ; le risque est faible mais non négligeable. Ce risque peut être provoqué majoritairement par deux phénomènes d'origine différentes. Tout d'abord, les séismes peuvent se produire suite à un événement volcanique comme la remontée de magma ou l'effondrement du toit de la chambre magmatique. Ils peuvent aussi apparaître suite à l'enfoncement de la croûte océanique sous le poids de l'île. À ce jour 13 séismes ont été recensés depuis 1650 et ont tous été provoqués par l'effondrement de la croûte océanique sous le poids de l'île avec des intensités relativement faibles et ne provoquant pas de dégâts [7].

- Mouvement de terrains

Le territoire de la Réunion est particulièrement sensible aux mouvements de terrain compte tenu des trois facteurs : le relief accidenté, la succession des couches géologiques qui favorise l'érosion et la présence du risque cyclonique. Ces mouvements peuvent prendre la forme de plusieurs incidents allant des chutes de pierres, des glissements de terrain des coulées de boues jusqu'à l'effondrement de tunnels de lave. De plus, l'érosion du sol se manifeste aussi pendant le passage des cyclones avec des retraits importants du trait de côte tant au niveau des berges que des plages [7].

Suite au passage du cyclone Bejisa, près d'une cinquantaine de mouvements de terrain ont été recensés sur 12 communes. Les types de mouvement de terrain ont été nombreux et causés par la combinaison des vents et de la pluie qui ont affecté l'île. Le BRGM a ainsi comptabilisé 10 glissements de terrain, 3 éboulements et chutes de blocs, 15 affouillements dus aux crues et 12 liés à la submersion, 2 érosions de berge fluviale et 15 au niveau littoral [34].

- Sécheresse

Le risque de sécheresse n'est pas directement noté dans le DDRM mais une particularité de l'île fait que cet aléa est tout de même présent. En effet, au-dessus de la couverture nuageuse et donc au niveau des reliefs les plus importants, des sécheresses sont régulièrement recensées. Cet aléa n'est donc pas directement impactant pour l'homme mais peut engendrer des feux de forêt. Cet autre danger doit lui aussi être pris en considération pour protéger les espaces naturels classés au patrimoine mondial de l'UNESCO. Cependant, ces espaces sont souvent difficiles d'accès et l'organisation des secours peut être retardée par les reliefs et la présence du feu [7].

5. Mayotte

a. Description générale du territoire

Mayotte est une région insulaire française constituée d'un archipel contenant une vingtaine d'îles avec en son centre Grande-Terre et à l'est Petite-Terre qui sont les deux îles principales. Tout cet archipel est entouré d'un récif corallien important qui crée un lagon commun à toutes les îles. L'archipel est situé dans le canal du Mozambique entre Madagascar et le Mozambique. L'archipel de 372 km² est montagneux avec d'anciennes traces volcaniques. Grande-Terre est à ce titre composée de six massifs érodés avec comme point culminant le Mont Bénara à 660 m d'altitude. Le département est majoritairement recouvert de forêts tropicales ; une mangrove est présente sur une partie du littoral [35].

Plus de 256 000 habitants (Source Insee 2017) vivent sur l'archipel répartis sur les cinq EPCI de la région. Ils sont composés de la communauté d'agglomération de Grand Nord de Mayotte regroupant 4 communes, la communauté d'agglomération de Dembeni/Mamoudzou composée de ces deux communes à l'est de Grande-Terre, la communauté de commune Centre-Ouest avec 5 communes, la communauté de commune du Sud regroupant quatre communes et en enfin la communauté de commune de Petite-Terre qui regroupe ses deux communes. De part son caractère montagneux, la population est majoritairement répartie sur le littoral.

b. Les ressources et la production d'eau potable

Le climat à Mayotte peut être décrit temporellement avec deux saisons et peut être réparti en deux zones distinctes de la région. Tout d'abord, le climat est marqué par deux saisons : une saison humide ou qualifiée d'été austral de novembre à avril et une saison sèche appelée hiver austral de mai à octobre. La répartition spatiale est coupée en deux avec un gradient Nord-Ouest/Sud-Est de pluviométrie. La partie Sud-Est ou « sous le vent » sera ainsi plus sèche car plus exposée aux alizés contrairement à la partie Nord-Ouest qui sera plus humide et définie comme une région « au vent ». Sur une année, les différences de précipitation entre ces deux régions peuvent aller jusqu'à 1 000 mm. Cette spatialisation se fera donc ressentir suivant les aléas avec des sécheresses plus marquées au sud et à l'Est et des phénomènes de pluies intenses plus propices au Nord et à l'Ouest. La saison humide est aussi plus propice au risque cyclonique [36].

Le bassin hydrographique de Mayotte est conséquent mais pas toujours pérenne. En effet, grâce aux reliefs importants sur le territoire, de nombreux cours d'eau sont présents sur Grande-Terre avec au nord des petites rivières aux débits irréguliers suivant la saison et au sud des ravines pouvant être à sec pendant les périodes sèches. Deux retenues collinaires ont été mises en place pour pouvoir être utilisées comme ressource superficielle pour l'AEP. Cette méthode permet ainsi d'accéder à 15 % du volume total prélevé. La prise d'eau, via les rivières, représente la moitié des volumes prélevés ; un quart est assuré par des forages. Pour finir, environ 10 % vient d'une usine de dessalement. Cette usine a subi récemment de nombreux dysfonctionnements alors qu'elle alimentait presque à elle seule Petite-Terre [37].

c. Organisation des services d'eau et d'assainissement

Les EPCI de Mayotte se sont rassemblés autour d'un syndicat mixte avec le Syndicat Mixte d'Eau et d'Assainissement de Mayotte (SMEAM) depuis le 1^{er} janvier 2019. Ce syndicat a alors confié la compétence eau et assainissement à la Mahoraise des Eaux (SMAE, filiale de Vinci Construction) par une délégation de service public [37].

d. Les aléas naturels

- Pluies intenses

L'un des risques auquel Mayotte doit faire face est l'inondation. Ces inondations surviennent pour la plupart de pluies intenses. En effet, l'archipel comporte des éléments aggravant en cas de pluies intenses qui viennent accentuer le risque. Les nombreuses rivières et ravines de Grande-Terre sont ainsi particulièrement susceptibles de déborder et cela avec des crues différentes suivant le relief. Les crues générées peuvent alors être qualifiées de « plaines » ou « torrentielles » ; lesquelles sont en général plus chargées en sédiment. De plus, la concentration de la population vers le littoral et l'urbanisation associées amplifient les phénomènes de ruissellements urbains. Cette notion est particulièrement impactante d'autant que certaines parties de l'île forment des cuvettes (comme à Cavani et Kawéni) où la stagnation des eaux peut engendrer des longues inondations avant une décrue. Tout le département est ainsi exposé aux pluies intenses et aux inondations qu'elles peuvent générer [5] .

En 2008, Mayotte a été confrontée à une saison humide particulièrement fournie en précipitation notamment entre octobre et mi-décembre. Les sols ont donc été déjà pour la plupart saturée alors qu'un épisode pluvieux intense s'apprêtait à traverser le canal du Mozambique. Entre le 14 et le 16 décembre, la perturbation a touché Mayotte et on a recensé plus de 200 mm cumulés sur deux jours sur certaines communes. Ces cumuls sont finalement plus importants que l'Ouragan Fame qui a frappé l'île au début de l'année 2008. La saturation des sols et l'imperméabilisation ont favorisé des inondations qui ont été créées sur le littoral alimenté par des rivières et ravines ayant réagis rapidement aux précipitations. Les dégâts ont été essentiellement matériels avec des voies de communication coupées par les inondations et les mouvements de terrain que la perturbation a engendré [36] [5] .



Figure 8: Inondations du 15 et 16 décembre 2008 causées par des pluies intenses et amplifiées par le ruissellement urbain, Source : BRGM

- Vagues submersives

Les vagues submersives apparaissent essentiellement avec les événements cycloniques et sont générés comme pour les territoires précédents par la houle cyclonique ou les marées de tempête. L'archipel étant constitué de petites îles et une urbanisation très proche du littoral, les occupants et les infrastructures de Mayotte sont particulièrement sensibles à ce phénomène [5] .

- Cyclones

Le risque cyclonique est plus faible à Mayotte qu'à la Réunion qui constitue le territoire français le plus proche. L'archipel est enclavé entre le Mozambique et Madagascar ; il est naturellement protégé des cyclones. Pour autant, le risque n'est pas nul et Météo France estime entre 10 et 12 ans la période de retour (soit le double de la Réunion) d'un événement cyclonique. Le territoire est donc plus souvent touché par des tempêtes ou des dépressions tropical qui engendre des vents moins violents et des pluies moins intenses. La saison la plus propice à l'apparition des cyclones et des autres évènements climatiques reste l'été austral entre novembre et avril [36].

On recense 3 cyclones majeurs depuis 1984 et une tempête tropicale exceptionnelle survenue en 1985. Le dernier événement cyclonique en date est le cyclone Hellen. L'œil de la tempête n'est passé qu'à 160 km du territoire français et n'a donc pas engendré de dégât direct. Les pluies générées par la proximité ont été évaluées à une période de retour de 10 ans avec environ 200 mm de précipitation sur une journée [38].

- Séismes

Mayotte se situant proche de l'Afrique, le territoire subit les déformations tectoniques distensives de cette partie de la plaque Africaine. L'aléa est classé modéré sur le territoire (3 sur une échelle de 5). L'île a tendance à s'enfoncer et à se déplacer. Ces déplacements sont essentiellement dus à la présence d'une zone volcanique sous-marine située à une cinquantaine de km à l'Est de l'archipel. Le département fait aussi face depuis quelque temps à des essaims de séismes. Ce sont des regroupements de petits séismes qui surviennent dans des temps rapprochés. À ce jour, ce type de manifestation sismique reste de faible intensité.

- Mouvement de terrains

Les aléas mouvements de terrain sont aussi présents sur l'archipel. Mayotte est en effet concerné par des glissements superficiels et profonds suivant le type de sols ; respectivement constitué de basalte et de phonolites. À cause de ces types de sols particulièrement instables, tous les types de mouvements de terrain peuvent apparaître sur le territoire avec des glissements de terrain, des chutes de blocs et des éboulements, de l'érosion sur la plupart des talus anthropique ou non. Le littoral est ainsi particulièrement touché par une érosion généralisée avec tous les types de mouvements de terrain qui peuvent se faire de manière brutale et endommager les infrastructures présentes essentiellement sur le littoral.

Lors de la tempête tropicale Fame de nombreux mouvements de terrain ont eu lieu. Lors de cet évènement climatique, ceux-ci ont été essentiellement de type glissement de terrain, éboulement et chutes de blocs et coulées de boues et ceux-ci à 90 % sur une zone anthropisée. Les dégâts ont donc été importants sur le littoral avec de nombreuses routes coupées et le réseau électrique coupé pour plus de 4 000 personnes. La tempête a aussi eu un effet à retardement en fragilisant l'équilibre des couches de sols sur la commune de Chiconi. Un éboulement avec des chutes de blocs est donc survenue 2 mois plus tard entraînant plus de 1 000 m³ sur plus de 1 500 m².

- Sécheresse

La sécheresse ne fait pas officiellement partie des risques retenus dans le DDRM de Mayotte. Il est néanmoins important de préciser que le territoire doit faire face à des feux de forêt pendant la saison sèche. Ce risque est alors d'autant plus important quand un déficit pluviométrique s'est installé et qu'une sécheresse survient [5].

Les ressources en eau sont aussi de plus en plus affectés par des périodes de sécheresse. Il est toutefois mentionné que les secteurs Est de l'île sont de plus en plus touchés par des sécheresses. Des sécheresses records comme celle de 2017 ou de 2020 témoignent d'un déficit de production par rapport à la demande qui ne cesse d'augmenter. Des interconnexions ont donc été réalisées pour limiter le manque d'eau à travers le plan d'urgence Eau Mayotte en 2017 [39].

6. Saint-Martin

a. Description générale du territoire

Saint Martin est une collectivité d'outre-mer située au Nord des petites Antilles. Elle est située à 250 km de la Guadeloupe. L'île est séparée en deux avec Nord la partie française de 53 km² et au Sud la partie hollandaise de 34 km². L'île, qui a subi l'ouragan IRMA en septembre 2017, a presque été entièrement détruite. Avant cet incident, l'île était essentiellement tournée vers le tourisme. Le secteur du BTP, qui était déjà le second pilier économique de l'île, s'est vu relancé après la catastrophe d'IRMA.

L'île est montagneuse avec plusieurs reliefs dont le Pic Paradis qui culmine à 424 mètres d'altitude. La population est donc encore une fois majoritairement répartie sur le littoral qui est très anthropisé. Le contour de l'île est délimité par des baies et des étangs d'eau saumâtre séparés du littoral par des bandes de sable.

Avant l'incident IRMA, près de 34 000 habitants résidaient à Saint-Martin (Source Insee 2018, [40]). Cette démographie a sûrement diminué depuis et on estime qu'entre 7000 et 8000 personnes ont quitté les îles du nord (Saint-Martin et Saint-Barthélemy) peu de temps après le passage de l'ouragan [41].



Figure 9: Carte des reliefs de Saint-Martin, Source PPRN Saint-Martin

b. Les ressources et la production d'eau potable

Saint-Martin est aussi sous l'influence de la ZIC. Cela se traduit encore une fois par une saison sèche de décembre à avril et une saison humide de mai à novembre.

Saint-Martin est une île sèche et l'unique ressource en eau sur l'île est l'eau de mer. En effet, les ravines présentes sur l'île par la présence des reliefs ne sont jamais pérennes. L'usine de dessalement est donc la seule solution pour assurer une production d'eau potable. L'unique usine de dessalement, qui était initialement prévue pour produire 5000m³/jour, a été améliorée suite à sa reconstruction et peut désormais fournir 9 000 m³/jour [41].

c. Organisation des services d'eau et d'assainissement

C'est l'Établissement des Eaux et de l'Assainissement de Saint-Martin (EEASM) qui assume pour la collectivité la gestion du service d'eau et d'assainissement. L'EEASM est donc propriétaire des infrastructures et délègue les missions à SAUR qui assure depuis décembre 2018 la gestion de l'AEP, l'assainissement collectif et non-collectif [42].

d. Les aléas naturels

Le territoire de Saint-Martin, comme toutes les îles des Petites Antilles, doit face à tous les risques étudiés. L'ouragan sera détaillé par la suite comme exemple des événements climatiques qui touche Saint-Martin.

- Pluies intenses

L'ensemble des ravines de Saint-Martin constitue un facteur particulièrement aggravant quand un aléa de pluie intense apparaît. En effet, pendant la saison humide celles-ci sont très réactives avec des temps de réponse et d'alerte courts. L'anthropisation proche du littoral aura de plus tendance à amplifier le ruissellement et crée par la suite des inondations par stagnation des eaux[4].

- Vagues submersives

Comme précisé précédemment, le littoral fortement anthropisé est particulièrement vulnérable à la submersion marine. Les bancs de sable à l'ouest de l'île et à l'est au niveau de la Baie de l'Embouchure sont anthropisés et d'autant plus vulnérables qu'aucun moyen de protection efficace n'est présent. Ces deux zones, avec la Baie de la Potence et Marigot sont celles où le risque de submersion marine est classé très élevé. Une fine bande sur le littoral est elle aussi la zones d'impact directs la plus vulnérable. Les étangs en retrait concentrent des zones d'aléa moyen à fort eux aussi. L'érosion qui développe ce type d'aléa est lui aussi désastreux et entraîne des retraits de côte important. L'apport de sédiment étant majoritairement bloqué par les installations humaines, la recharge sédimentaire ne peut s'effectuer ; ce qui conduit à la réduction des plages et à l'érosion générale de tout le littoral [41] [4] .

- Cyclones

Saint-Martin se trouve dans zone à fort risque de cyclone (5 sur une échelle de 5). Les effets combinés de la submersion marines et des pluies intenses qu'ils peuvent générer rend l'île extrêmement vulnérable. De plus, les vents violents, qui peuvent s'abattre dans cette région, peuvent détruire les habitations les plus fragiles (dont certaines qualifiées d'habitations clandestine) plutôt répandu sur l'île de Saint-Martin [41] [4] .

- Séismes

Saint-Martin est situé tout comme la Guadeloupe et la Martinique au niveau de la subduction des plaques tectonique des Antilles et Américaines. Le sol instable n'aide pas à la résistance du bâtiment sur l'île qui doit en plus faire face au phénomène de liquéfaction quand un séisme se réalise. Toute l'île est concernée par ce risque qui aura tendance comme le cyclone à détruire facilement les bâtiments qui ne sont pas conçus avec des normes anti-sismique comme les habitations fragiles.

À ce jour, aucun séisme de magnitude supérieure à 5 n'a été observé à Saint-Martin. À noter qu'à cette magnitude, il y a rarement des dégâts [4] .

- Mouvement de terrains

Les mouvements de terrain peuvent se générer à Saint-Martin par la réalisation d'un séisme ou l'apparition d'un cyclone entraînant des fortes pluies. Les pluies auront en effet tendance à fragiliser les couches de sol et donc entraîner par exemple des glissements de terrain. Le territoire est concerné par les phénomènes d'érosion, de chutes de blocs et plus spécifiquement de glissements de terrain [4] .

- Sécheresse

Saint-Martin est moins concernée par cet aléa. En effet, comme la production d'eau potable n'est pas prise directement sur des ressources superficielles, le risque sécheresse est moins impactant pour les réseaux à Saint-Martin. Néanmoins récemment, de courts épisodes de sécheresse sont apparus et pourraient potentiellement influencer la salinité de l'eau ; ce qui impacterait directement l'usine de dessalement de l'île.

e. L'ouragan IRMA

L'ouragan IRMA a frappé les îles de Saint-Martin et Saint-Barthélemy dans la nuit du 5 au 6 septembre 2017. IRMA est le plus gros cyclone jamais observé et classé en catégorie 5 sur l'échelle de Saffir-Simpson. Lors de son passage sur les îles du nord, le cyclone a généré des vents de plus 300 km/h.

La hauteur des vagues a été impressionnante et a pu s'élever jusqu'à 9 m de hauteur au niveau de Saint-Barthélemy. La marée de tempête a engendré une élévation du niveau de la mer de trois mètres. Cette submersion marine s'est complètement déversée dans certains quartiers inondant toutes les infrastructures.

À cette submersion marine, se sont ajoutées les pluies intenses associées aux cyclones. Les données de la précipitation n'ont pas été officiellement établies mais les ruissellements générés dans les ravines ainsi que l'artificialisation des sols au niveau du littoral a amplifié les inondations provoquées par la submersion. Le CEREMA, a recensé dans une étude, des hauteurs d'eau de quatre mètres au-dessus du niveau de la mer inondant certaines habitations.

Les mouvements de terrains ont eux aussi été importants mais comme les données sur les précipitations, la destruction massive de la majorité des installations a rendu difficile l'estimation de ce phénomène. Les reliefs ont forcément engendré des mouvements des phases solides et d'autant plus que des embâcles pouvaient s'y mêler. Il est aussi réaliste d'affirmer que les vents en détruisant les infrastructures et mobilisant les sols avec certains embâcles ont modifié la cohésion des couches de sols et ainsi généré des glissements de terrain et des coulées de boues.

Le bilan est lourd après cette catastrophe. L'estimation des dégâts donne plus de 90 % des bâtiments détruits. La plupart des bâtiments publics ont été détruits voire fortement endommagés. Pour les deux îles du Nord, le montant des dommages s'élève finalement à deux milliards d'euros. L'ouragan aura causé la mort d'une dizaine de personnes, autant de disparues et environ 250 personnes blessés.

Un an après, seulement 35 % des bâtiments détruits ont pu être reconstruits.

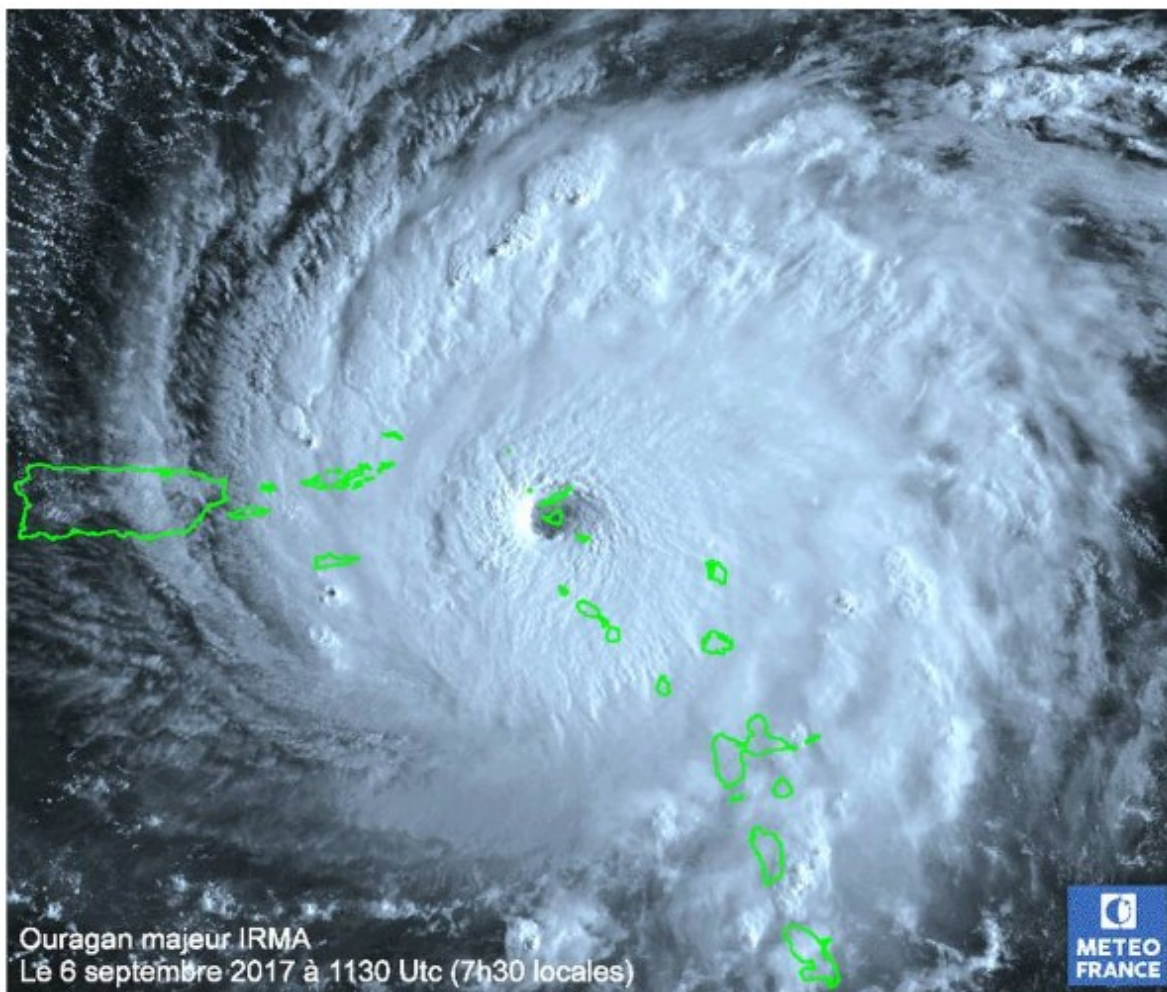


Figure 10: Photographie satellite de l'ouragan IRMA au moment de son passage sur Saint-Martin, Source : Météo-France

II. Conception du Livrable 2 : Parangonnage des mesures de prévention

A. Les difficultés de prévention

1. La combinaison des aléas

La combinaison des aléas peut engendrer des difficultés importantes pour les équipes d'intervention. L'étude traite les impacts de six aléas (pluie intense, cyclone, séisme, sécheresse, vague submersive et mouvement de terrain) mais la combinaison de ceux-ci peut amener à des situations où les risques engendrent des dommages catastrophiques.

On peut notamment mentionner les événements catastrophiques qui se sont produits au Japon comme l'événement de pluie intense en juillet 2018 et la catastrophe de Fukushima en 2011 :

Le 11 mars 2011, un séisme de magnitude 9 se produit et engendre avec lui un tsunami d'une hauteur de plus de 14 mètres qui va s'abattre sur la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi L'accident va être catastrophique et des études montrent que la préparation à ce type de crise n'avait pas été bien prise en compte. La catastrophe environnementale qui en a résulté a été majeure mais c'est bien le tsunami qui a été le plus meurtrier en tuant au moins de 20 000 personnes et rasant entièrement certaines villes côtières. Les digues protégeant la centrale nucléaire n'étaient censées arrêter qu'une vague de 6 m et un séisme de magnitude 8 [43]

Les dommages sur le réseau ont eux aussi été très conséquents. Le séisme a engendré deux types de dommages : les mouvements de terrains et l'affaiblissement de la structure du sol. Les mouvements de terrains ont endommagé les réseaux et en particulier les points sensibles comme les raccordements et les joints (voir figure 11). Quant à l'affaiblissement du sol, le séisme a provoqué de la liquéfaction du sol en certains points. À cause de cette liquéfaction, le sol se gorge d'eau et peut entraîner des glissements de terrains ou même des soulèvements de structures enfouies comme le montre la figure 12.

Pour le Tsunami, les dommages engendrés peuvent être divisés en trois catégories : les inondations, le balayement et l'érosion des surfaces. Les inondations endommagent certains appareils, les empêchant ainsi de fonctionner. De plus, nous verrons par la suite qu'ils peuvent être à l'origine des ruptures de digue si le niveau d'eau ne diminue pas rapidement. Le balayement engendré par les tsunamis et tous les phénomènes de crue a tendance à fragiliser et à emporter avec la vague déferlante les structures et les objets pris dans cette vague. Le balayement est souvent à l'origine de l'emportement des voitures et des mobiliers urbains fragiles ainsi que des ponts. Enfin les tsunamis peuvent être à l'origine d'une érosion conséquente des sols, ce qui va fragiliser les structures enterrées comme les canalisations et tous les types de réseaux enfouis [44].



Figure 11: Dommages sur une canalisation de 2400mm causés par le séisme du 11 mars 2011, Source : Préfecture de Miyagi



Figure 12: Soulèvement d'un réservoir enterré causé par le séisme du 11 mars 2011, Source : Préfecture de Chiba

Entre le 28 juin et le 8 juillet 2018, des pluies intenses frappent le Japon. Ce front de pluie traverse l'archipel du nord au sud et les précipitations sont exceptionnellement élevées, jusqu'à atteindre plus de 150 mm de pluie en trois heures. Dans ce même temps, le typhon Prapiroon venant du sud-ouest s'intensifie et vient alimenter la tempête, créant ainsi des records de pluie intense à travers tout le Japon et en particulier à l'ouest. Au total, c'est plus de 1 800 mm d'eau qui sont tombés sur la région de Shikoku entre le 28 juin et le 8 juillet, battant ainsi tous les records historiques de l'archipel japonais.

À partir de mi-juillet, les températures ne faisant qu'augmenter et battant le record de température moyenne depuis 1946, la surface de l'eau ne cessait de s'élever créant par la même occasion de plus en plus de nuages et une série de pluies intenses sur le reste du mois. La Japan Meteorological Agency (JMA) nomma cette période « the Heavy Rain Event of July 2018 ». Les inondations qui en résultèrent furent elles aussi catastrophiques notamment à cause de plusieurs ruptures de digue. Elles ont majoritairement cédé car le niveau d'eau dans les rivières était trop élevé sur une trop longue période. Les débris créés par les inondations ont provoqué des effondrements de terrain qui ont eux-mêmes engendré la destruction d'une usine de potabilisation de l'eau.

Cet événement créa donc de nombreuses submersions marines ainsi que des inondations par débordement de rivières qui coûta la vie à 237 personnes et blessa plus de 400 personnes [45].

Comme on peut le voir dans ces deux exemples, la multiplicité des aléas (séisme et tsunami, pluies intenses, cyclone, sécheresse, mouvement de terrain) sur une durée assez longue peut être catastrophique en termes d'impact (inondation, destruction des infrastructures, etc.) et de gestion.

D'après une étude, cette suite de phénomènes est en partie due au réchauffement climatique [46]. Il est donc important de prendre en compte ce paramètre dans la reconstruction pour les phénomènes futurs.

Toutes les informations sur la catastrophe des pluies intenses sont tirées du rapport [45]. À travers ces deux exemples, on peut voir que la temporalité d'un événement peut être très différente mais les conséquences toutes aussi catastrophiques.

2. Des situations géographiques variées

Les territoires de l'étude sont les DROM (Guadeloupe, Martinique, Guyane, Mayotte et la Réunion) et Saint-Martin. Ces territoires, décrits dans le livrable 1, ont des particularités bien différentes en termes de géographie et donc des vulnérabilités différentes.

Tout d'abord, une grande différence peut être faite entre la métropole et les départements ultramarins. En effet, la tempête IRMA qui est considérée comme la tempête la plus violente et dévastatrice dans les Antilles a été enregistrée comme provoquant un vent moyen de 295 km/h avec des rafales allant jusqu'à 360 km/h.[47] En France, la vitesse maximale des vents enregistrée n'excède que très rarement les 200 km/h. Pour la tempête Martin par exemple, les vents les plus importants ont été enregistrés à 198 km/h [48].

Ensuite, il existe aussi une disparité entre les DROM. En effet, la Guyane, la Martinique, la Guadeloupe et Saint-Martin ne sont pas touchés par les mêmes événements que la Réunion et Mayotte car leurs situations géographiques sont très éloignées. Dans les Antilles, il n'est pas rare qu'un événement qui touche Saint-Martin ait déjà touché la Guadeloupe et la Martinique. La Guyane n'est, quant à elle, quasiment pas exposée aux séismes ainsi qu'aux cyclones alors que la Guadeloupe, la Martinique et Saint-Martin sont les territoires français les plus exposés à ces aléas.

Pendant l'ouragan IRMA, à Saint-Martin, tous les types de réseaux ont été partiellement ou complètement coupés [49]. En tout, ce sont 1,7 km de réseaux qui ont été endommagés ou détruits ainsi que la quasi-totalité des surpresseurs et des réservoirs. Les réseaux d'assainissement n'ont pas non plus été épargnés, quatre des six stations d'épurations ont été partiellement détruites et les deux dernières complètement détruites. Les stations de relevage ont presque toutes été partiellement impactées ou détruites notamment par la submersion marine [50].

En comparaison, la Guadeloupe n'a presque pas subi de dégâts, les infrastructures n'ont pas été touchées et la seule gêne que l'ouragan a généré est une coupure d'électricité pour plus de 8 000 foyers et quelques routes encombrées. Les cellules de crises ont été enclenchées au bon moment, une partie du réseau d'eau potable a été suspendue pour sécuriser les équipements électriques [51].

On peut aussi ajouter que les disparités peuvent être localisées au sein même d'un territoire. Cette disparité intra-territoriale peut être démontrée par l'ouragan Betsy qui vit sa course se rapprocher de la Guadeloupe en 1956. Comme le montre la figure 13, bien que la trajectoire de la tempête soit passée très près de la pointe de Basse-Terre, ce n'est pas forcément cette zone qui a été la plus impactée. Bien que l'amélioration du bâti ne cesse de s'améliorer, la Guadeloupe compte de nombreuses habitations illégales qui sont très souvent beaucoup plus sensibles et fragiles, ce qui a tendance à augmenter l'impact des aléas sur le territoire et les populations [52].

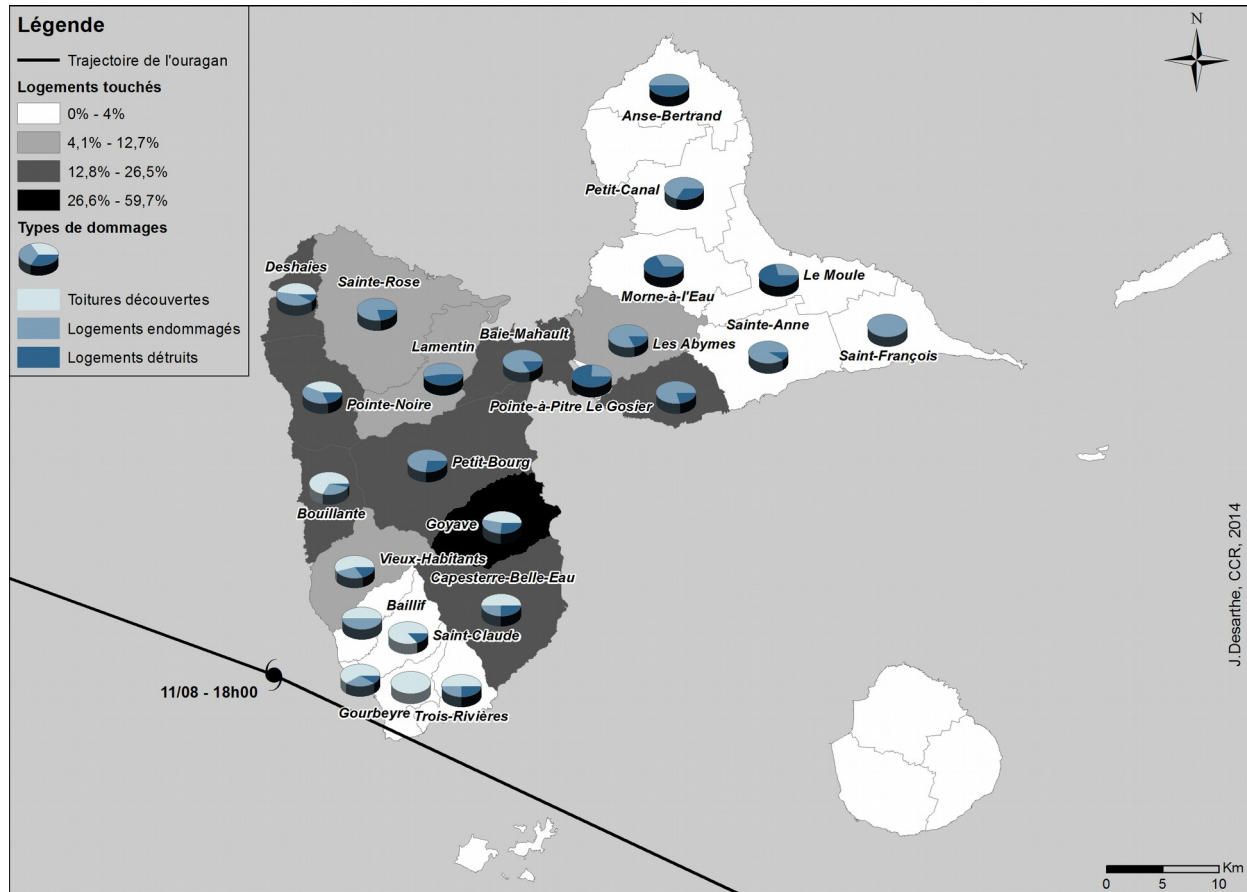


Figure 13: Impact et trajectoire de l'ouragan Betsy sur les habitations Guadeloupéenne, Source : [52]

3. La dépendance aux autres réseaux

Pour répondre aux problématiques de l'étude, une enquête a été réalisée auprès des mairies, des intercommunalités, des DEAL et des services de délégations. Ce questionnaire interroge les différents acteurs sur trois thématiques concernant la résilience des réseaux sur leur territoire face aux six aléas identifiés pour l'étude. Les trois thématiques concernent :

- La prévention et l'anticipation des crises liées aux événements naturels

Ce thème est alors décliné en quatre parties : planification des eaux sur le territoire, état du système, contexte géologique et physique et enfin réduction de la vulnérabilité des services ;

- Le réseau et sa gestion en phase de crise

Ce thème est alors décliné en quatre parties : l'état d'alerte, le type de dégâts, les réponses immédiates et enfin la mobilisation des moyens ;

- L'après crise

Ce thème est alors décliné en deux parties : le rétablissement post-crise et les stratégies futures.

L'enquête se termine par des questions de synthèses et sur le ressenti des acteurs. L'enquête a été complétée par la régie Nord Caraïbes Eau et Assainissement, la compagnie guadeloupéenne des services publique (SAUR), la SAS EAUX'NODIS

ainsi que la régie Eaux d'Excellence pour la Guadeloupe, la collectivité territoriale de la Martinique, la régie communautaire de l'eau et de l'assainissement ODYSSI ainsi que Cap Nord pour la Martinique, les mairies de Kourou, Papaïchton ainsi que la communauté de communes de l'Ouest Guyanais pour la Guyane, la communauté Intercommunale du Nord de Réunion et l'Établissement des Eaux et de l'Assainissement de Saint-Martin.

D'après l'enquête réalisée auprès des différents acteurs de la gestion de l'eau (voir Annexe 2), les réseaux d'alimentation en eaux et d'assainissement sont tous les deux dépendants d'autres réseaux (électrique, téléphonique et routier) mais d'autres secteurs, comme l'irrigation, dépendent eux aussi de la bonne gestion de l'eau.

On peut aujourd'hui parler d'interdépendance des systèmes qui peut être définie comme « une relation bidirectionnelle entre deux infrastructures où l'état de chacune de ces infrastructures influence ou est corrélée à l'état de l'autre » [53]. Cette interdépendance nécessaire aux sociétés actuelles peut s'avérer être un enjeu majeur de protection. En effet, l'ouragan Sandy a frappé en octobre 2012 la ville de New York provoquant la mort de 200 personnes, des interruptions des réseaux d'électricité, de transports (métros, bus, routes) et d'eau [54]. De plus, cette interdépendance, bien que nécessaire, génère des difficultés et complexifie l'entretien des systèmes. Il est alors important d'identifier tous les liens entre les différents systèmes pour pouvoir établir une priorisation des systèmes de prévention à mettre en place. Ce travail en amont permettra aussi une meilleure prise de décision pendant une crise où plusieurs systèmes risquent d'être impactés.

Cette interdépendance peut alors avoir de réelles conséquences en phase de crise, notamment dans les départements ultramarins qui ne dépendent que d'une seule source majeure d'alimentation en eau potable comme à Saint-Martin et à Saint-Barthélémy. L'exemple de ces usines de dessalement le montrent, l'endommagement de la structure des usines ainsi que du réseau a forcé les autorités à arrêter l'approvisionnement en eau, mais les dégâts subis par les salles de contrôle et les systèmes électriques des stations de pompage ont ralenti le processus de remise en route. À Saint-Martin, une usine de production portable (600m³/jour au lieu des 5 000 m³/jour habituels) a ainsi été mobilisée trois semaines après l'incident en renfort de l'approvisionnement en bouteille [55].

Le rétablissement de l'alimentation en eau a donc été laborieux, notamment à cause de la dépendance aux réseaux électriques mais aussi à cause d'autres incidents extérieurs comme les vols d'équipements et les agressions sur agents. Il aura donc fallu un mois et demi pour la remise en marche et l'amélioration de la production (qui est passée de 5 000 m³/jour à 9 000 m³/jour habituellement) et 14 mois pour le réseau de distribution [56].

En parallèle, le réseau électrique a lui aussi été impacté. Tout d'abord, les deux usines de production thermique n'ont pas subi de dommages importants mais ont été partiellement inondées ce qui a conduit à un arrêt total de la production. Le réseau de distribution aérien a lui été complètement détruit et 26 des 233 transformateurs ont eux aussi été impactés. Là aussi, une centaine de générateurs de secours ont été envoyés depuis la France pour aider en temps de crise. Il aura fallu trois semaines pour le rétablissement de la production et cinq semaines pour le rétablissement complet de la distribution. Cependant, l'allumage du système de production a été retardé car les générateurs devaient être refroidis par de l'eau déminéralisée qui était distribuée par le réseau d'eau, lui-même qui n'était pas encore opérationnel [56].

À travers cet exemple de Saint-Martin, il est clair que l'interdépendance engendre des difficultés supplémentaires, notamment en période de crise quand les dispositions ne sont pas prises en amont. Ici, les réseaux d'eaux et d'électricité sont complètement interdépendants mais il ne faut pas oublier l'approvisionnement en diesel nécessaire pour les centrales thermiques ainsi que les divers réseaux d'information et de transport qui doivent être opérationnels pour certains systèmes comme le réseau d'assainissement [56] et qui sont eux-mêmes parfois interdépendants (réseaux de télécommunication et électrique par exemple) Le manque de redondance (et de diversification) sur les réseaux de l'île démontre ainsi une vulnérabilité importante en cas de crise qui pourrait être réduite par des échanges avec d'autres réseaux comme la partie hollandaise de Saint-Martin pour l'électricité ou la diversification des sources d'alimentation comme l'utilisation des énergies renouvelables et l'utilisation des sources souterraines pour les îles de Saint-Martin qui sont aujourd'hui encore en étude [57].

Cette interdépendance va forcément induire une cascade de conséquences qui ne sont pas toujours prévues en cas de crise. En effet, cet effet « domino » va être amplifié par la concentration du tissu urbain [58], ce qui est le cas dans les départements ultramarins où la majorité de la population se situe dans les grandes villes [59]. De plus les installations de secours mises en place doivent être entretenues et testées régulièrement pour pouvoir fonctionner convenablement au moment de la crise ce qui n'est pas toujours le cas ou que ces installations sont elles aussi endommagées pendant la crise. La topographie peut, elle aussi, jouer un rôle majeur dans l'amplification des phénomènes en particulier sur des territoires à fort dénivelé comme en Guadeloupe et en Martinique où le ruissellement et les vents peuvent entraîner la propagation et/ou l'apparition de mouvement de terrain.

Plusieurs définitions caractérisent cet effet et il est globalement défini comme « un accident dans lequel un événement se propage à un équipement proche qui va lui aussi déclencher un ou plusieurs événements résultant des conséquences plus graves que le premier événement » [60]. Cet effet est loin d'être anodin et il doit être pris en compte d'après la directive européenne « Seveso-II » (Directive 96/82/CE). Cette directive impose « le recensement de groupes d'établissements au sein desquels peut s'exercer un effet domino et la prise en considération des implications en matière d'affectation des sols des dangers liés aux accidents majeurs. » [61]. Cette directive fut alors modifiée en directive « Seveso III » (Directive 2012/18/UE) qui impose que pour « réduire le risque d'effets domino, il importe, dans le cas où la localisation et la proximité d'établissements sont telles qu'elles peuvent accroître la probabilité d'accidents majeurs ou aggraver leurs conséquences, que les exploitants coopèrent pour l'échange des données nécessaires et l'information du public, y compris des établissements voisins susceptibles d'être touchés » [62]. Bien que ces directives ne s'appliquent qu'aux établissements classés Seveso (des établissements qui manipulent ou produisent des substances dangereuses), ces dispositions pourraient être adaptées pour anticiper les catastrophes liées à l'avènement d'un risque sur un réseau technique produisant un effet domino sur d'autres réseaux techniques.

4. Des coûts d'investissement et d'entretien lourds dans un contexte économique et politique dégradé

Pour expliquer le si mauvais état général des réseaux d'eau et d'assainissement en Outre-mer et à Saint-Martin, il faut comprendre que les coûts de construction et d'entretiens de telles infrastructures et réseaux sont élevés et nécessitent une forte coopération entre les différents décisionnaires. Pour financer de telles infrastructures, il faut donc disposer de moyens financiers conséquents, ce qui, nous le verrons, n'est pas toujours le cas en Outre-mer.

Il convient d'abord de rappeler comment les services d'eau et d'assainissement fonctionnent financièrement. Ces derniers doivent se conformer au principe suivant : « l'eau paye l'eau ». Autrement dit, seule la facture d'eau doit permettre de gérer le service dans tous ses aspects financiers : entretiens et investissements nouveaux, remboursement de la dette contractée, frais de fonctionnement des services (pompage, potabilisation, stockage, distribution...). Ce sont donc les usagers qui doivent prendre en charge les coûts liés aux services d'eau potable et d'assainissement via leur facture d'eau.

Les territoires d'Outre-mer étudiés ici se trouvent actuellement dans une situation économique plutôt dégradée. Par exemple, 50 % de la population guyanaise vivait sous le seuil de pauvreté en 2017, 77 % pour Mayotte, 39 % à la Réunion, 34 % en Guadeloupe, 28.6% en Martinique contre 14.1% en France métropolitaine en 2017 selon l'INSEE.

Les taux de chômage sont eux aussi importants si l'on observe ces chiffres depuis la France métropolitaine (20 % en Guyane en 2019). Les territoires de la Guyane et de Mayotte se démarquent fortement avec une forte croissance démographique et un taux de pauvreté très élevé.

Ces territoires sont donc caractérisés par des populations plus vulnérables économiquement, bien qu'ils connaissent pour certains de forts taux de croissance. Il faut cependant nuancer notre propos, si nous comparons les territoires étudiés avec leurs voisins géographiques directs (Îles des Caraïbes, Suriname, Archipel des Comores...), ils se retrouvent bien mieux dotés que ceux-ci. Le déficit est surtout marquant lorsque l'on procède à des comparaisons avec la métropole.

À cet aspect socio-économique s'ajoute un élément : la coopération peu aisée entre certaines collectivités d'Outre-mer et l'État [63]. Ces difficultés de coopération, si elles sont surtout apparues lors des phases de crise, se retrouvent aussi dans les choix techniques qui sont pris et qui nécessitent une coopération politique entre les Collectivités locales et l'État.

Les services d'eau et d'assainissement se caractérisent aussi par une situation financière plus ou moins délicate. Ainsi le Syndicat intercommunal d'alimentation en eau et d'assainissement de la Guadeloupe (SIAEAG) se retrouvait-il obligé de solder une dette de près de 37 millions d'euros. La structure s'est donc retrouvée sous le feu des critiques, tant sur place qu'en métropole où une enquête parlementaire a eu lieu. Si le redressement est en cours, la situation a été critique. Cette dette sur le cas de la Guadeloupe s'explique aussi par un taux d'impayé des factures colossal. Plus de 40 % d'impayés pour quatre zones sur 13, entre 20 et 40 % pour quatre autres zones et 14 à 20 % pour trois autres zones comme le montre la figure 13 [64].

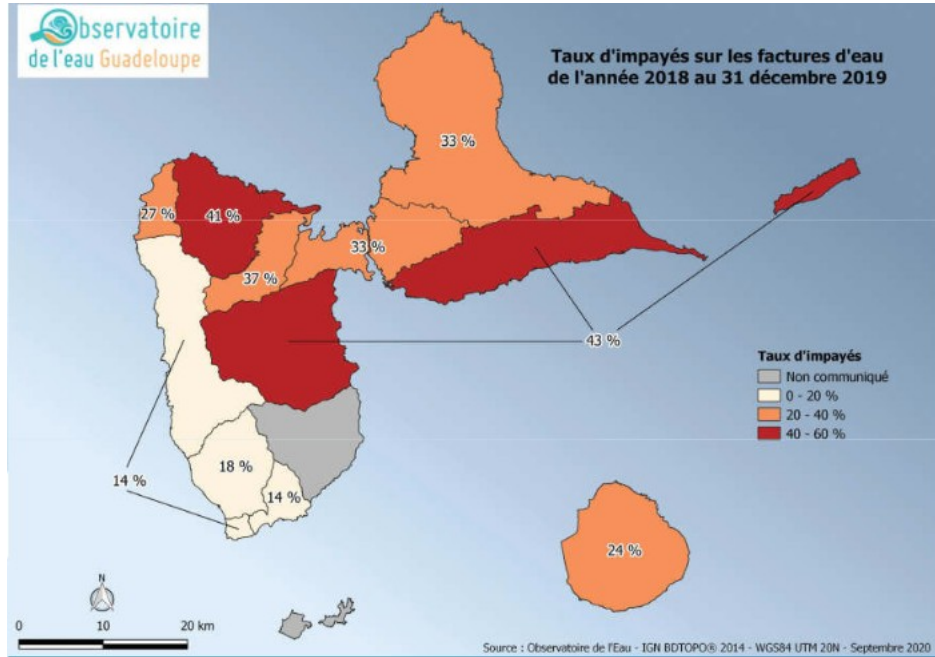


Figure 14: Carte des taux d'impayés sur les factures d'eau en Guadeloupe, 2018 Source : Observatoire de l'eau en Guadeloupe

De tels taux de factures impayées, couplés à un réseau très dégradé (60 % de l'eau potable est perdue en Guadeloupe) ne peuvent permettre aux services d'être solides sur le plan financier. Comment expliquer ces impayés ? Plusieurs éléments peuvent être avancés, compteurs cassés, trop forte pauvreté, mais aussi une certaine « souplesse morale » envers les administrés.

Plus largement, les problématiques de pratiques non vertueuses sont importantes en Outre-Mer. C'est notamment le cas à Saint-Martin où les pratiques non vertueuses des services d'eau potable et d'assainissement ont contribué à la dégradation du réseau, réseau qui a été par la suite plus qu'endommagé par l'ouragan Irma.

Les investissements à faire sur certains territoires sont extrêmement importants. À titre d'exemple, l'estimation des besoins en investissement pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP) en Guyane était de 57 millions d'euros sur la période 2016-2023, 30 millions d'euros pour les eaux usées (EU). Ces investissements lourds nécessitent une bonne santé financière.

Ces sommes sont bien trop importantes pour être seulement prises en charge par les collectivités dont les capacités d'autofinancement sont insuffisantes face à la hauteur et à la durée de l'investissement à prévoir. Augmenter le prix de l'eau ne suffirait pas et la population, trop pauvre, ne pourrait pas encaisser un tel effort. Il est en effet pratiquement impossible pour une collectivité locale de construire à sa seule charge un réseau d'eau potable et d'assainissement performant. L'étendue des travaux à accomplir est telle que l'on peut parler de construction de réseaux par endroits [65].

Il convient donc de trouver des moyens de financement autres que la seule facture (auto-financement) pour moderniser les réseaux et répondre à l'obligation de service public. Ces solutions sont les subventions (déjà existantes) et les prêts (Agence Française de Développement et Caisse des Dépôts et Consignation), au moins pour la production d'eau potable. Quant à l'assainissement, par nature moins rentable, des solutions d'assainissement individuels peuvent être envisagées sur des territoires trop étendus comme la Guyane. De manière générale, les nouveaux moyens de financement ne sauraient être efficaces sans des pratiques vertueuses et une véritable planification. De plus, des dérogations préfectorales pour motif d'intérêt général pourraient permettre un rattrapage plus rapide et à moindre coût.

B. La planification

1. La connaissance des réseaux

Tout d'abord, la première chose à faire pour procéder à une amélioration de la résilience des réseaux est de bien connaître ces réseaux. En 2016, l'indice de connaissance et de gestion patrimoniale du réseau d'assainissement était de 32 sur une échelle de 120 en Guadeloupe. En 2014, la moyenne française était à 52. Pour l'alimentation en eau potable, les indices de connaissance et de gestion patrimoniale sont décrits par la figure ci-après :

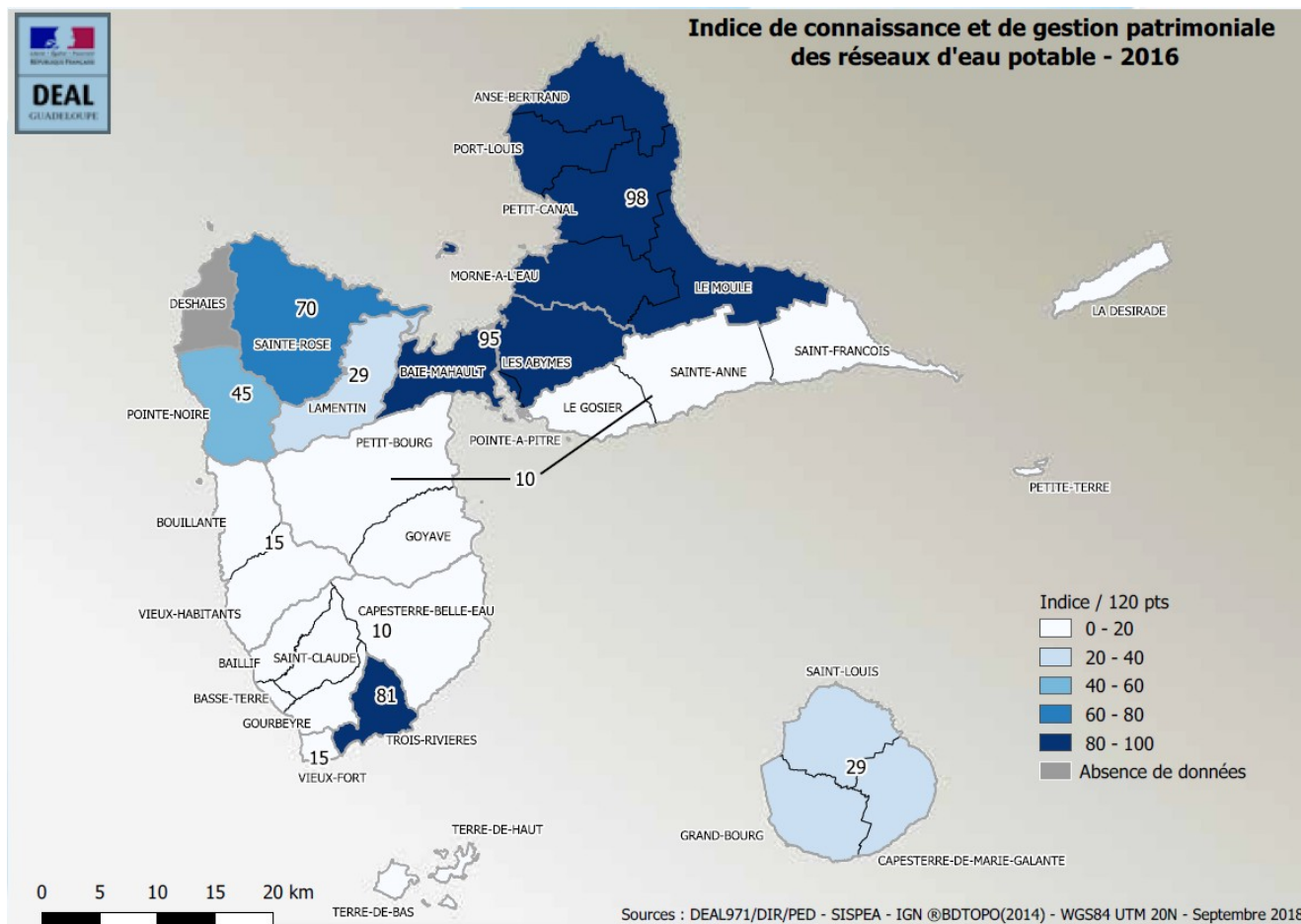


Figure 15: Carte de l'indice de connaissance et de gestion patrimoniale des réseaux d'eaux potables en 2016, Source : DEAL Guadeloupe [66]

Comme le montre cette figure la connaissance patrimoniale du réseau sur les territoires du SIAEAG et du sud Basse-Terre est largement plus faible que sur le reste du territoire. On remarque alors qu'il existe des disparités marquées entre les communes et entre les gestionnaires de réseau [66]. De plus, cette méconnaissance du réseau ralentit les démarches de renouvellement et donc de sécurisation pour des aménagements futurs. La multiplicité des acteurs et des gestionnaires n'aide pas non plus à l'amélioration du recensement du patrimoine. En effet, si un échange efficace n'est pas bien mis en place, les gestionnaires ne pourront pas mettre en commun leurs connaissances sur leur propre réseau et les démarches de réduction de la vulnérabilité ne pourront pas être menées à bien [67].

Région	Gestionnaires	Année	Indice de connaissance P103.2B AEP	Indice de connaissance P202.2B EU
971	CAPEX	2019	10	10
	CAGSC	2017	81	5
	CANBT	2017	63	30
972	CACEM	2017	27	27
974	Communauté d'Agglomération Sud	2019	109	30
	Communauté d'Agglomération Nord	2018	Non Renseigné	108
	Syndicat des eaux usées du Port et de la Possession	2018	Non Renseigné	74

Tableau 1: Indice de connaissance et de gestion patrimoniale du réseau AEP et EU respectivement des indices P103,2B et P202,5 (sur 120 points) Source : données Eau France

Grâce aux entretiens techniques réalisés, il est apparu que la situation semble nettement s'améliorer. Plusieurs gestionnaires réalisent ce recensement lors des réparations des canalisations et des différents travaux comme la Régie Nord Caraïbes Eau et Assainissement ou la SAS EAUX'NODIS. D'autres gestionnaires, comme la compagnie guadeloupéenne des services publics SAUR ou Odyssi, ont mis en place une démarche de renseignement de leur Système d'Information Géographique (SIG) pour améliorer et répertorier les réseaux. Les SIG sont des outils de cartographie et de représentation graphique. Ces systèmes sont de plus en plus utilisés pour le recensement des biens comme les réseaux ou pour localiser des zones spécifiques selon l'usage. Ils sont utiles dans la gestion patrimoniale des réseaux pour le recensement, l'assistance aux équipes d'entretien pour les interventions sur le terrain et pour la définition de certaines zones sensibles comme les zones inondables ou les zones sensibles en termes de ressources disponibles vis-à-vis de la demande. Cet outil peut aussi être renseigné conjointement avec les mises en place de nouvelles branches du réseau comme à Saint-Martin où le recensement des réseaux est mis à jour en continu et en particulier après chaque intervention sur le réseau. D'autres gestionnaires ont aussi pris le parti de déléguer cette tâche à un service propre aux gestionnaires, comme c'est le cas pour le CAP NORD en Martinique, ou à d'autres entreprises dans le cadre d'un marché de détection de réseaux, comme l'a mentionné la collectivité territoriale de Martinique. Les différents gestionnaires ont confirmé cette volonté de recenser le réseau et de le cartographier avec des SIG, la majorité des territoires l'ayant déjà réalisé.

Il est aussi conseillé que ce recensement soit intégré dans un plan plus large avec les autres réseaux dépendants ou interdépendants des réseaux étudiés. Cet ajout permet en effet d'améliorer l'efficacité des réparations si la présence d'un autre réseau technique est déjà signalée. Cette remarque est un point important dans la stratégie d'interconnexion entre les acteurs qui sera détaillée par la suite.

Ce recensement permettra aussi d'évaluer le type de réseau présent et si ce type d'organisation accroît ou diminue la vulnérabilité du réseau en cas de crise. En effet, on identifie deux types de réseaux : les réseaux ramifiés et les réseaux maillés. Le premier type de réseau est catégorisé par un nœud central qui distribue vers plusieurs autres nœuds. Chaque nœud est ainsi approvisionné et peut en approvisionner d'autres. Le second type de réseau correspond à une organisation où chaque nœud peut être alimenté de plusieurs manières et peut approvisionner d'autres nœuds. Ces deux types de réseaux ont leurs avantages et leurs inconvénients. La première structure de réseau est plus simple d'utilisation car la coupure d'un nœud peut à la fois permettre d'isoler tout un secteur ce qui peut aussi être impactant lors de la réalisation d'un risque. La structure maillée permet des interconnexions et donc des possibilités d'alimentation variées en cas de dysfonctionnement d'un nœud du réseau [68]. Les gestionnaires ont aussi la possibilité de réaliser une combinaison de ces deux types de structure, il est alors mixte.

À la vue du questionnaire technique, il existe là encore une grande diversité de fonctionnement chez les gestionnaires des différents réseaux dans nos territoires d'étude. En effet, il est clair que les trois structures sont aujourd'hui stylisées et cela pour plusieurs raisons, Tout d'abord, la topographie limite l'utilisation d'une structure ramifiée qui est souvent utilisée en gravitaire alors que les structures maillées sont souvent accompagnées de stations de pompes pour redistribuer le flux vers plusieurs autres points du réseau. De plus, certains quartiers isolés seront par définition alimentés par des branches ramifiées car l'utilisation d'une partie maillée serait inutile sur une grande partie du trajet de l'eau. C'est ce que rapporte le CAP NORD en Martinique où le réseau est essentiellement maillé dans les agglomérations et ramifié dans les zones excentrées. La demande n'est pas non plus la même selon les secteurs et les quartiers avec une demande forte qui seront souvent alimentés par des réseaux structurés en maille ou mixte pour assurer une continuité du service. C'est ce que confirment les mairies de Kourou et de Papaïchthon en Guyane ou les gestionnaires Odyssi et Eau d'Excellence respectivement en Martinique et en Guadeloupe où les réseaux sont majoritairement mixtes. Certains agencements sont aussi plus ou moins compliqués à mettre en place suivant la topographie du milieu. Seule la Régie Nord Caraïbes Eau et Assainissement précise que son réseau est essentiellement voire uniquement maillé. Cela peut s'expliquer par l'absence de reliefs imposants sur la Grande Terre qui pourraient gêner l'installation d'une telle structure. De plus, la zone de gestion de cette régie est assez vaste et le réseau essentiellement maillé permet une répartition simplifiée sur toute la zone de gestion. À Saint-Martin, le territoire étant moins étendu et la demande non uniformément répartie suivant les quartiers, le réseau est

essentiellement ramifié et suit la route principale du territoire, la Nationale 7, qui joint les deux extrémités de l'île et permet une diffusion de l'eau sur tout le territoire.

Ce recensement n'est pas la seule connaissance nécessaire pour améliorer la résilience des réseaux techniques. En effet, ce recensement des réseaux permet de définir les enjeux à protéger et permettra par la suite de déterminer la vulnérabilité du système. Il est cependant nécessaire d'avoir la connaissance des aléas et des risques qu'ils engendrent pour déterminer les impacts potentiels et comment les éviter.

2. Évaluation de la vulnérabilité

L'OMS (l'Organisation Mondiale de la Santé) établit une méthodologie pour l'évaluation de la vulnérabilité en 15 points. En réalité, ces 15 points vont même jusqu'à définir un plan de réduction de la vulnérabilité. Cette méthode est initialement prévue pour traiter la vulnérabilité du réseau d'adduction en potable mais peut très bien être transposée aux réseaux d'assainissement. Cette stratégie cherche tout d'abord à rassembler toutes les données disponibles sur le réseau et autour de celui-ci pour déterminer trois vulnérabilités (opérationnelle, physique et organisationnelle) puis à dresser un plan de réduction de la vulnérabilité avec notamment des cartes de vulnérabilité [69] :

1. Identifier l'institution nationale ou régionale en charge de la gestion du risque. Cette première étape permet de lancer le projet d'analyse tout en informant l'autorité en charge de ces questions pour avoir par la suite un appui éventuel d'autres institutions compétentes. Cela permet aussi d'inscrire cette démarche dans un plan déjà établi et d'en informer les entités concernées.
2. Définir et décrire l'espace d'étude, cela passe par ajouter toutes les informations qui pourraient être utilisées et qui seraient touchées ou qui impacteraient le système d'étude si un risque venait à survenir. Ces informations sont essentiellement des informations externes au réseau. Cette seconde étape est essentielle pour déterminer les points critiques qui sont reliés au réseau.
3. Identifier et décrire chaque composant du système, c'est à partir de ce point que le recensement des différents organes du réseau est important. Si un SIG est opérationnel, cette étape peut se dérouler assez rapidement voire avoir déjà été préparée pendant la phase de renseignement du SIG.
4. Identifier et fournir une description fonctionnelle du système, on entend par là les informations habituellement établies en direct et enregistrées via un système de contrôle sur tout le réseau comme les débits, les niveaux, la pression, etc.
5. Identifier les aspects opérationnels du système, Ce point est beaucoup plus macro que le point précédent et concerne la capacité de stockage du réseau, la demande habituelle et/ou en direct, les déficits ou surplus sur le réseau. Ce point peut avoir son importance suivant le moment de la journée. La demande n'étant pas continuellement la même, si la crise survient pendant une période de forte demande, le réseau peut très vite être déficitaire en cas d'incident.
6. Identifier et décrire les capacités de réponse du gestionnaire du réseau, ce point permet d'évaluer la réactivité potentielle des services concernés suite à un événement à risque. Ce point est développé plus en détail dans le livrable 3 : parangonnage des mesures de gestion de crise.
7. Procéder à l'évaluation des risques ainsi que de leurs paramètres en prenant en compte les impacts potentiels sur le système. Cette étape peut dans un premier consistant à chercher dans les archives de la zone urbaine si des catastrophes majeures ont déjà eu lieu dans la zone d'étude et quels aléas étaient en jeu. Cette démarche peut être effectuée grâce au repère de crues par exemple. Ensuite, il ne faut pas hésiter à faire intervenir des experts dans chacun des aléas concernés pour avoir la vision la plus précise possible (bien qu'hypothétique) sur les possibles risques qui peuvent se produire. C'est aussi à ce point que la répertoriage des systèmes adjacents est important. En effet, un aléa peut n'avoir aucun impact direct sur les réseaux mais engendrer des dysfonctionnements sur les réseaux interconnectés et engendrer des défaillances indirectes sur les systèmes d'étude. Il est alors intéressant de réaliser cette évaluation conjointement avec les services associés aux réseaux ou au minimum demander l'avis des services extérieurs concernés suite à cette évaluation. Cette étape doit être réalisée pour tous les différents aléas et les paramètres concernés sont généralement la fréquence d'apparition, l'intensité, la zone potentielle des impacts et la hauteur des dégâts.

8. Estimer la vulnérabilité du système grâce à l'évaluation des effets de l'urgence sur les composants du système. Ce point permet notamment d'identifier les composants qui seraient endommagés et cesseraient de fonctionner à cause d'un arrêt brutal de l'alimentation. On peut penser notamment aux pompes, au phénomène du coup de bélier, etc.
9. Quantifier la capacité des composants à fonctionner tout en gardant des seuils de qualité et de quantité acceptable. Ces paramètres permettent ainsi d'évaluer un temps de fonctionnement partiel qui pourrait survenir juste après la réalisation d'un risque. Cela permettrait de déterminer un temps de fonctionnement des composants en mode dégradé. Avec ce point, c'est la **vulnérabilité opérationnelle** qui sera mise en exergue.
10. Identifier les composants critiques qui peuvent avoir un impact sur une demande basique du réseau, on pense notamment aux organes de cloisonnement comme les vannes ou les clapets qui peuvent être amenés à obstruer complètement des canalisations si elles sont endommagées ou si la commande électrique est endommagée. C'est ici la **vulnérabilité physique** qui est démontrée.
11. Estimer la capacité de réponse organisationnelle, ce point relève de la capacité de réaction et d'adaptation des équipes ainsi que de la préparation des secteurs concernés à réagir en cas de survenue d'un aléa. C'est finalement la **vulnérabilité organisationnelle** qui sera remontée avec ce point.
12. Déterminer les mesures nécessaires requises pour mettre en place un plan de réduction de la vulnérabilité sur les trois volets précédents (opérationnelle, organisationnelle et physique). À ce stade de la méthode, les trois formes de vulnérabilité étant étudiées, c'est la phase de recherche de solution. Ces solutions seront développées dans quatre stratégies ultérieurement.
13. Déterminer les besoins minimums des points critique pendant et après la survenue de la crise. Cette étape permet, grâce aux mesures qui peuvent être prises, de déterminer les ressources minimales qui doivent être mises en place par les établissements situés dans ces points critiques et mettre en place des dispositifs temporaires d'urgence en cas de crise si c'est encore nécessaire.
14. Élaborer les rapports finaux ainsi que les cartes de vulnérabilité.
15. Développer des plans d'urgence et de réduction de la vulnérabilité.

À noter : les points critiques nommés aux points 2 et 13 désignent d'après le guide du Centre Européen de Prévention du Risque Inondation (CEPRI) : « un réseau ayant une forte influence sur le fonctionnement d'autres réseaux et usagers stratégiques ou sensibles. Leur dysfonctionnement est source d'effets domino importants et peut aggraver significativement une situation de crise ». Il est notamment question des établissements publics de santé [68].

Il peut aussi être intéressant de prendre en compte les aspects socioculturels des différentes communautés. En Guadeloupe, de nombreux cas de piquage clandestin ont été mis au jour [66]. Ces piquages clandestins qui affaiblissent le réseau en certains points peuvent alors être à l'origine d'une sous-estimation des volumes nécessaires pour la population ou pour les établissements publics de santé dans des périodes de crises où les populations vulnérables peuvent se regrouper.

3. Les différents plans

En France, plusieurs plans sont là pour encadrer et mettre en place des mesures concrètes de protection vis-à-vis des enjeux et des aléas qui peuvent survenir. Le plan le plus commun dans l'espace urbain est sûrement le **Plan local d'Urbanisme (PLU)**. Le PLU est le document stratégique qui traduit l'expression du projet d'aménagement et de développement durable du territoire. Il est également un outil réglementaire qui, à l'échelle de la commune, fixe les règles et modalités de mise en œuvre de ce projet en définissant l'usage des sols [70].

En termes de gestion de la ressource face au risque climatique, le **Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire des Eaux (PGSSE)** constitue le cœur du modèle proposé par l'OMS pour prévenir les risques liés à la consommation d'eau en vue de garantir la distribution d'une eau de qualité conforme en permanence. Avec la refonte de la directive européenne « Eau potable » du 23 décembre 2020, ce document sera obligatoire et devra être mis en place dans un délai de 4 à 6 ans après la transposition du texte en droit Français [71] [72]. Il consiste pour l'Établissement Public de Coopération Intercommunale (EPCI) à appliquer une stratégie générale d'évaluation et de gestion préventive des risques, couvrant toutes les étapes de l'approvisionnement en eau du captage au robinet du consommateur. La mise en place d'un PGSSE est une démarche d'optimisation de la sécurité sanitaire des eaux basée sur une analyse des dangers, une très bonne connaissance des installations, pour garantir en permanence une qualité optimale de l'eau et pour satisfaire en permanence les besoins quantitatifs en eau, y compris en situation de crise [73]. Ce plan découle donc directement de l'analyse de la vulnérabilité proposée dans la partie précédente.

Si le territoire est soumis à des risques, plusieurs plans sont dédiés à chaque risque pour encadrer les décisions des élus et des gestionnaires de réseau. Ces plans sont des **Plans de Prévention de Risque (PPR)**. La différence majeure dans ce type de plan par rapport au PLU, c'est qu'il prend en compte les risques naturels dans l'aménagement [70]. Ce type de plan peut alors être décliné en plusieurs plans spécifiques.

a. Planification et gestion des inondations

Les Plans de Prévention des Risques naturels Inondation (PPRI) ou Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) prennent majoritairement en compte le risque d'inondation produits par les aléas de pluies intense, vagues submersives et/ou cyclone. Ces documents viennent ainsi contribuer à la maîtrise de l'urbanisme contrôlé par le PLU, avec des contraintes plus fortes liées au risque inondation. C'est un document réglementaire qui comporte un plan de zonage produit notamment avec des cartes de risques combinés et des cartes d'enjeux spécifiques aux territoires, ainsi qu'un règlement écrit qui explique et détaille le plan de zonage.

Les interdictions et les prescriptions indiquées par le règlement s'imposent alors au PLU. Ces plans sont conduits et élaboré par l'État, soumis à concertation publique et approuvés par le préfet. Ces plans apportent un cadre efficace et durable qui vise à préserver les zones non urbanisées exposées à des risques, et interdisant l'implantation de nouveaux enjeux en zones à risques forts. Ils édictent des prescriptions permettant aux constructions neuves éventuellement autorisées dans les zones les moins exposées d'être moins vulnérables. Ils imposent des travaux de réduction de la vulnérabilité sur les biens existants.

Concrètement ces plans sont prescrits par arrêté préfectoral qui établit le périmètre mis à l'étude, les risques pris en compte, le service déconcentré de l'État en charge de l'instruction et les modalités de concertation, notamment avec les collectivités en charge de l'urbanisme et l'aménagement (communes, intercommunalités, structures porteuses de SCOT). Le service instructeur dispose d'un délai de trois ans, prolongeable 18 mois, pour élaborer et faire approuver le document. La procédure inclut une enquête publique et une consultation réglementaire.

Chaque département établit un programme d'élaboration ou de révision des PPR, présenté en Commission départementale des risques naturels majeurs (CDRNM) le cas échéant. Ce programme peut prendre en compte des priorités locales et partagées dans le cadre d'un PAPI : absence de PPR, révision de PPR anciens ou obsolètes. Selon les enjeux concernés, la programmation départementale peut intégrer de nouvelles communes selon les moyens disponibles ou l'avancement des priorités.

Le PPR en question acquiert le statut de servitude d'utilité publique lors de son approbation. Toutefois, les projets de PPR nouveaux peuvent, dans certaines situations, être rendus immédiatement opposables sans enquête publique. De tels « PPR anticipés » ont vocation à devenir ensuite des PPR définitifs par les modalités réglementaires de concertation et d'enquête publique, pour acquérir la qualité de servitude d'utilité publique. Ces informations sur les PPRI et PPRL sont tirées de la fiche Prise en compte du risque dans l'aménagement du territoire dans le livret Réduire la vulnérabilité des territoires aux inondations [74].

La transposition de la directive dite « inondation » 2007/60/CE du 23 octobre 2007 prévoit que les PPR doivent être mis en compatibilité avec les Plans de Gestion du Risque d'Inondation adoptés à l'échelle du bassin hydrographique.

Les Plans de Gestion du Risque Inondation (PGRI) sont des plans qui englobent les PPRI et PPRL et qui définissent la politique à mener pour assurer la sécurité des populations et réduire les conséquences dommageables des inondations sur la société, l'environnement et les biens. Ces PGRI sont arrêtés sur chaque grand bassin hydrographique. Ces plans ont pour objectifs majeurs d'augmenter la sécurité des populations exposées, stabiliser à court terme et réduire à moyen terme le coût des dommages liés à l'inondation. Ces plans visent d'ailleurs l'appropriation de ces risques par le plus grand nombre d'acteurs [75]. Cette remarque fera écho à la stratégie d'interconnexion développée plus tard dans le rapport où effectivement l'entraide des acteurs est primordiale pour établir des bases communes, comme c'est le cas dans la définition de la vulnérabilité développée dans la partie précédente [76].

Dans le cas de l'étude, tous les territoires ont déjà mis en place ce plan et ils vont être réexaminés pour la troisième phase de la Directive Inondation (DI) de six ans sur la période de 2022 à 2028.

Tous ces PGRI sont finalement regroupés de façon nationale à travers **la Stratégie Nationale de Gestion du Risque Inondation (SNGRI)**. Elle impose une approche proactive en matière de prévention des inondations sur l'ensemble des territoires à risques : l'ambition de cette politique est de porter une attention particulière aux secteurs les plus exposés, les Territoires à Risque Important d'inondation (TRI), mais également aux secteurs épargnés par les inondations ces dernières décennies. Cette stratégie poursuit trois objectifs prioritaires :

- augmenter la sécurité des populations exposées ;
- stabiliser à court terme, et réduire à moyen terme, le coût des dommages liés à l'inondation ;
- raccourcir fortement le délai de retour à la normale des territoires sinistrés ;

La SNGRI répond ainsi à une attente forte de tous les partenaires, notamment des collectivités territoriales, d'un cadre partagé orientant la politique nationale de gestion des risques d'inondation.

Les Stratégies Locales de Gestion des Risques d'Inondation (SLGRI) constituent la déclinaison des objectifs PGRI pour les territoires à risque d'inondation important (TRI). Elles doivent fixer les objectifs de réduction des conséquences dommageables sur le TRI, en déclinaison du cadre fixé par le PGRI et la SNGRI. L'objectif des stratégies locales est de mettre l'accent sur la dimension stratégique bien avant la programmation d'actions :

- motiver les objectifs de gestion sur le diagnostic de vulnérabilité du TRI concerné et non sur la réduction de l'aléa (les aménagements de cours d'eau, endiguements..sont souvent nécessaires mais ne seront jamais suffisants) ;
- en adéquation avec la stratégie nationale, cibler les champs d'amélioration encore peu ou pas investis et les plus porteurs de progrès ;
- prioriser la SLGRI sur ces champs d'amélioration pour concentrer les efforts sur ces choix.

La stratégie locale a vocation à être portée par une collectivité ou un groupement jouant un rôle d'animation et de mobilisation des collectivités et autres parties prenantes concernées.

Dans la plupart des cas, la stratégie locale peut étendre son champ à un périmètre plus large que le TRI, bassin versant ou territoire hydrographique cohérent par exemple, notamment pour respecter le principe de synergie avec les autres politiques publiques, inscrit dans la stratégie nationale, et les liens étroits entre PGRI et SDAGE (DCE, gestion du trait de côte, enjeux environnementaux...).

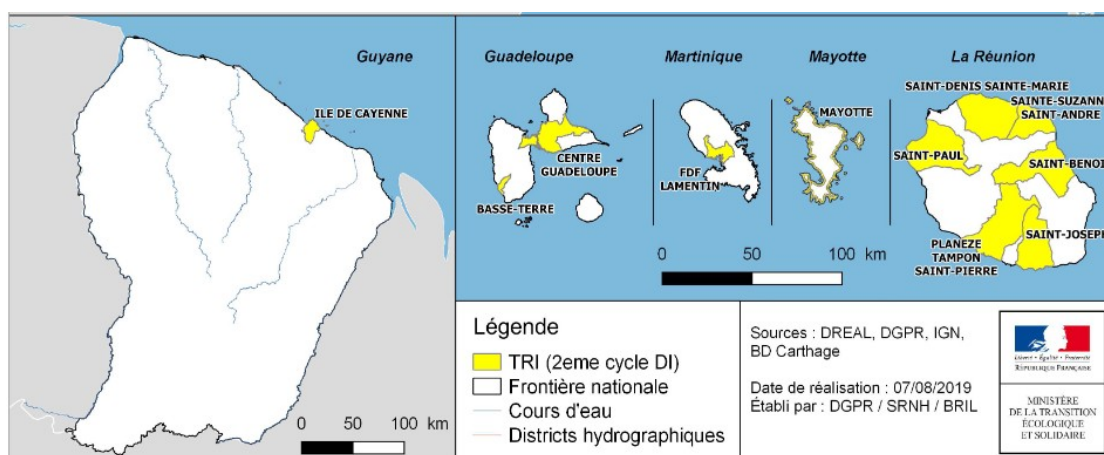
Dans tous les cas, le périmètre de la stratégie locale est déterminé par les objectifs à atteindre sur le TRI (et non l'inverse) mais elles ont néanmoins intérêt à s'inscrire dans une approche complémentaire aux autres enjeux territoriaux. La réflexion relative à la réduction de la vulnérabilité notamment sur les TRI ne se fera pas au détriment de la gestion par bassin versant, et inversement, les deux réflexions ayant vocation à être menées de façon complémentaire [77].

Un Territoire à Risque important d'Inondation (TRI) est une zone où les enjeux potentiellement exposés aux inondations sont les plus importants (comparés à la situation du district hydrographique), ce qui justifie une action volontariste et à court terme de la part de l'État et des parties prenantes concernées, devant aboutir à la mise en place obligatoire de stratégies locales de gestion des risques d'inondation. Il s'agit donc à la fois d'agir là où les enjeux sont les plus menacés, mais également d'agir là où il y a le plus à gagner en matière de réduction des dommages liés aux inondations. Cette sélection ne signifie nullement qu'en dehors des territoires retenus, les risques d'inondation n'existent pas, ou qu'ils peuvent être négligés. Les critères nationaux de caractérisation de l'importance du risque d'inondation fixés par l'arrêté du 27 avril 2012 sont les suivants :

- les impacts potentiels sur la santé humaine ;
- les impacts potentiels sur l'activité économique.

Ces impacts sont évalués notamment au regard de la population permanente résidant en zone potentiellement inondable et du nombre d'emplois situés en zone potentiellement inondable, informations fournies par les Évaluations Préliminaires des Risques d'Inondation (EPRI) [78].

Pour la Commission européenne, les objectifs de réduction des conséquences négatives sur les TRI sont l'essentiel attendu dans le PGRI. Au titre de la DI, le TRI est donc le seul objet d'évaluation des résultats obtenus, comme la « masse d'eau » l'est au titre de l'évaluation de la Directive Cadre Européenne (DCE). Pour l'État français, les TRI ne sont toutefois pas les seules cibles pour lesquelles une amélioration de la gestion des inondations est recherchée [77].



Louis Bou *Figure 16: Les TRI en Outre-Mer* Source Source : Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES) [127]

Les Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) sont portés par les collectivités territoriales ou leurs groupements et constituent le cadre d'un partenariat étroit avec l'État en matière de prévention des inondations. Ce programme d'actions concerne l'ensemble des axes de la gestion des risques d'inondation :

- amélioration de la connaissance et de la conscience du risque (Axe 1) ;
- surveillance, prévision des crues et des inondations (Axe 2) ;
- alerte et gestion de crise (Axe 3) ;
- prise en compte du risque inondation dans l'urbanisme (Axe 4) ;
- réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens (Axe 5) ;
- gestion des écoulements (Axe 6) ;
- gestion des ouvrages de protection hydrauliques (Axe 7) ;

Une évaluation socio-économique des projets des axes 6 et 7 est demandée, analyse coût-bénéfice ou analyse multicritères selon le montant des projets [76].

Ce programme est l'aspect administratif final du programme général de gestion des inondations. C'est avec ce programme que les collectivités, avec l'aide de l'état et des gestionnaires, peuvent mettre en places des mesures concrètes et entamer la construction des mesures de prévention. Bien que ces enjeux ne concernent pas seulement les réseaux techniques, ils font partie tout de même des enjeux majeurs à protéger et peuvent donc engendrer de la vulnérabilité sur tout un territoire donné. La préfecture de l'Ain a résumé l'enchaînement de ces différents dispositifs avec la figure suivante :

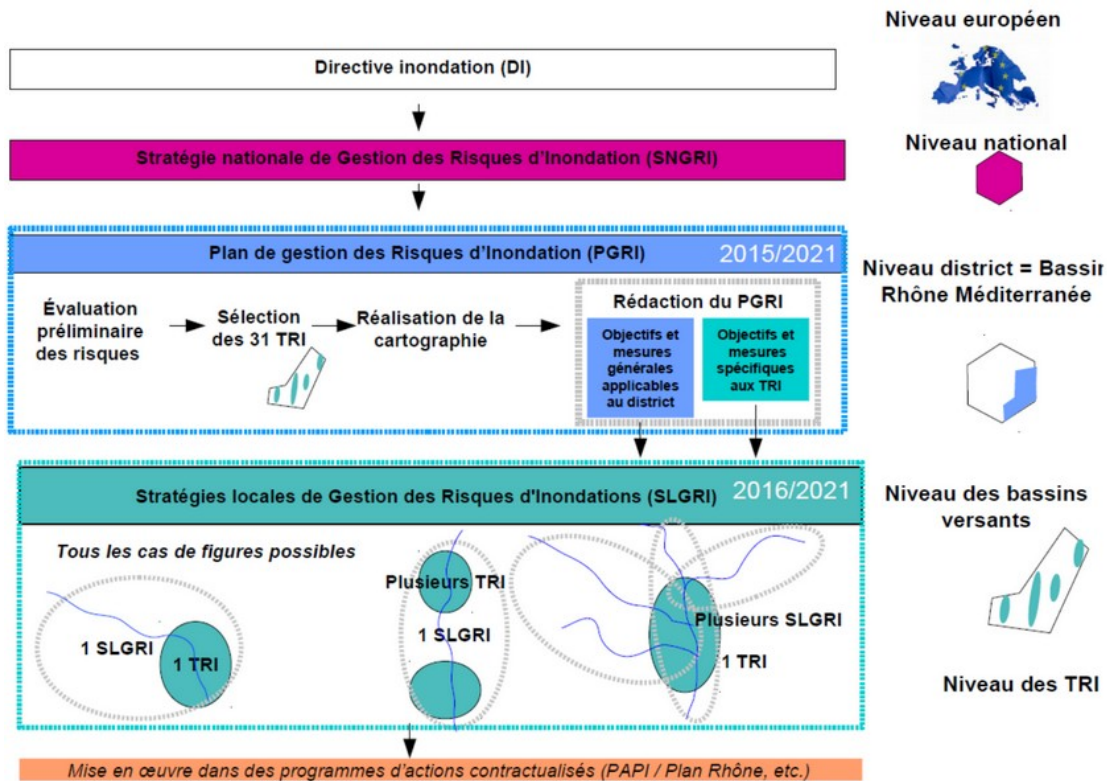


Figure 17: Description de l'enchaînement des procédures pour la prévention du risque inondation, Source Préfecture de l'Ain [128])

b. Planification et gestion des séismes

Il n'existe pas à proprement parler de plan spécifique au risque de séisme. Les recommandations pour ce risque sont généralement annexées aux PLU en élaborant des **Plans de Protection des Risques Naturels (PPRN)**. Ce plan, créé par la loi du 2 février 1995, constitue aujourd'hui l'un des instruments essentiels de l'action de l'État en matière de prévention des risques naturels, afin de réduire la vulnérabilité des personnes et des biens. Il est défini par l'article L.562-1 du Code de l'Environnement et doit être réalisé dans un délai de 3 ans à compter de la date de prescription. Ce délai peut être prorogé une seule fois de 18 mois. Le PPRN peut être modifié ou révisé.

Le PPRN est une servitude d'utilité publique associée à des sanctions pénales en cas de non-respect de ses prescriptions et à des conséquences en termes d'indemnisation pour catastrophe naturelle. Le dossier du PPRN contient une note de présentation du contexte et de la procédure qui a été menée, une ou plusieurs cartes de zonage réglementaire délimitant les zones réglementées et un règlement correspondant à ce zonage. Ce dossier est approuvé par un arrêté préfectoral au terme d'une procédure qui comprend l'arrêté de prescription sur la ou les communes concernée(s), la réalisation d'études pour recenser les phénomènes passés, qualifier l'aléa et définir les enjeux du territoire, en concertation avec les collectivités concernées, et enfin une phase de consultation obligatoire (conseils municipaux et enquête publique).

Le PPRN permet de prendre en compte l'ensemble des risques, dont les séismes, mais aussi les mouvements de terrain, les incendies de forêt, les avalanches, etc. Le PPRN relève de la responsabilité de l'État pour maîtriser les constructions dans les zones exposées à un ou plusieurs risques, mais aussi dans celles qui ne sont pas directement exposées mais où des aménagements pourraient les aggraver. Le champ d'application du règlement couvre les projets nouveaux, et les biens existants. Le PPRN peut également définir et rendre obligatoires des mesures générales de prévention, de protection et de sauvegarde [79].

Un plan général a également été mis en place entre 2005 et 2010 pour répondre à la problématique des séismes et à la vulnérabilité grandissante des infrastructures en France. Le Plan Séisme avait quatre objectifs :

- approfondir la connaissance scientifique de l'aléa, du risque et mieux informer la population sur les impacts possibles ;
- améliorer la prise en compte du risque sismique dans la construction ;
- concerter, coopérer et communiquer entre tous les acteurs du risque ;
- contribuer à la prévention du risque de tsunami.

À la suite du plan Séisme, un cadre d'actions pour la prévention du risque sismique a été élaboré, sous la coordination du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement, en concertation avec l'ensemble des acteurs concernés, afin d'orienter et coordonner les politiques de prévention du risque sismique sur le territoire national pour les années suivantes (2013-2018) [80].

Un plan spécifique aux Antilles a aussi été élaboré en 2007. Ce Plan Antilles (Guadeloupe, Martinique, Saint-Martin et Saint-Barthélemy) a en effet été lancé quand les premières études entamées en 2005 ont montré la vulnérabilité importante de ces territoires. De plus, si l'intensité de certains séismes qui ont eu lieu au XIX^e siècle venait à se reproduire, celle-ci engendrerait des milliers de victimes et des milliards d'euros de dommages. Ce plan, prévu sur une durée de 30 ans, se traduit principalement par des mesures de construction ou de renforcement parasismique, demeurant à ce jour le moyen le plus efficace de prévention contre le risque sismique.

La première phase réalisée entre 2007 et 2013 visait essentiellement à améliorer la connaissance de l'aléa et renforcer les aménagements de quatre types de structures : bâtiments et infrastructures de gestion de crise, établissements d'enseignement, établissements de santé, logements sociaux. Pour le bilan de cette première phase, 2,4 milliards d'euro ont ainsi été investis mais les coûts sont encore trop élevés (montant global des travaux restants entre 5 et 6 milliards d'euros supplémentaires) et tous les objectifs précédemment fixés n'ont pas été complètement réalisés (seulement 30 % des écoles ont été sécurisées par exemple). Une deuxième phase débute alors en 2016 pour quatre ans où l'objectif est d'accélérer les réalisations pour mettre en sécurité plus rapidement les populations antillaises. Cette deuxième phase met donc l'accent sur la priorisation des projets de renforcement ainsi qu'une meilleure collaboration entre les différents services de la collectivité et de la région. Les quatre objectifs de cette nouvelle phases sont alors :

- réduire la vulnérabilité du bâti, cœur de cible du plan séisme Antilles ;
- accompagner les acteurs de l'aménagement et de la construction ;
- sensibiliser aux risques sismiques et tsunami et préparer à la gestion de crise ;
- améliorer la connaissance de l'aléa, de la vulnérabilité et du risque.

L'état s'est ainsi engagé à mobiliser 490 M € sur la nouvelle phase [81]. Les bilans de cette seconde phase n'ont pas encore été communiqués mais il est cependant clair que l'incident sanitaire de la COVID-19 a sûrement ralenti les aménagements en cours.

c. Planification et gestion des mouvements de terrain

Tout comme pour les séismes, les mouvements de terrain n'ont pas de plan de prévention spécifique et font bien souvent l'objet d'une rédaction via le PPRN qui est par la suite annexé au PLU. Ce risque peut venir de plusieurs aléas comme le retrait - gonflement d'argile, les glissements de terrain, les effondrements de cavité, etc. De ce fait, les solutions de prévention sont à adapter au cas par cas. De plus, ce risque peut avoir des impacts avec des amplitudes de dégâts très différentes (quelques millimètres par ans à quelques centaines par jours). Les études sont, de ce fait, généralement très coûteuses. Il est donc conseillé de surtout mettre en place mesures préventives pour l'urbanisation.

Cela peut passer par des préconisations de dispositions constructives comme la gestion de l'eau pluviale, l'adaptation au contexte géologique local pour les fondations des constructions. Pour les réseaux, il est ainsi conseillé de mettre en place des systèmes d'évacuation suffisants pour éviter une accumulation qui peut engendrer des glissements de terrains. Des ouvrages de stockage comme des bassins de rétention spécialement équipés pour les charges solides peuvent être aménagés pour stocker et/ou ralentir la propagation d'une lave torrentielle par exemple. Cet investissement doit cependant être entretenu et curé pour éviter une amplification plutôt qu'une réduction des dégâts.

Il est aussi recommandé de mettre en place des formations auprès de la population pour éviter des mouvements de panique et des décisions dangereuses lors d'un incident. La surveillance est aussi primordiale avec ce genre de phénomène qui peut être bref et violent. En effet toute alerte doit être prise en compte sérieusement. Le déclenchement d'un mouvement de terrain, qui peut avoir des conséquences catastrophiques, est en général précédé d'une période d'accélération des déplacements, détectable sur les mesures. Néanmoins, l'interprétation des signes précurseurs sur la stabilité générale du site surveillé nécessite l'intervention d'experts confirmés et il n'est pas toujours possible d'évacuer préventivement les populations [82].

Dans l'objectif de structurer la politique de prévention dédiée au risque cavités et à la suite d'une large consultation nationale, le ministère de l'Écologie a publié en juillet 2013 un plan national d'actions pour la prévention des risques liés aux effondrements de cavités souterraines (Plan Cavité). Ce dernier est décliné en trois axes :

- favoriser l'émergence de stratégies locales de prévention du risque ;
- informer, former et sensibiliser les acteurs de la prévention du risque ;
- améliorer le savoir et mieux partager la connaissance.

Au terme de ce plan, plusieurs guides ont été mis à disposition des collectivités pour faire face aux différents problèmes qu'ils rencontraient. Une boîte à outils a ainsi été élaborée. Elle a pour vocation d'aider à identifier les outils les mieux adaptés à leur territoire pour mettre en œuvre leur démarche de prévention [83].

De plus, **le Programme d'Actions pour la Prévention des Risques liés aux Cavités (PAPRICA)** est un appel à projet adressé aux collectivités ou leurs groupements, pour qu'ils engagent une stratégie de prévention adaptée à l'échelle du territoire exposé. Ce dispositif vise à ce que l'action des collectivités en matière de prévention du risque lié aux cavités se fasse dans le cadre d'une stratégie et d'un programme de prévention d'ensemble avec l'appui du Fonds de PRévention des Risques Naturels Majeurs (FPRNM). En cela, il s'inspire de la démarche des PAPI [82].

d. Planification et gestion des sécheresses

Des **Plans de Prévention du Risque Sécheresse (PPRS)** ont déjà été établis, notamment dans le département de la Haute-Garonne, mais ces plans concernent essentiellement l'impact de la sécheresse sur le phénomène de retrait - gonflement d'argiles. Ce phénomène peut avoir un impact important sur les aménagements urbains et il a tendance à s'amplifier avec les longues périodes de sécheresse que peuvent subir certains départements. Cela dépend énormément du contexte géologique du territoire [84]. D'après le questionnaire technique, la Guadeloupe et la Martinique seraient les territoires avec les plus vulnérables car ce sont les seuls où la majorité du réseau est installée sur un type de sol argileux.

Pour le risque de sécheresse en tant que tel, le gouvernement ne propose pas de plan de prévention spécialement conçu pour la lutte contre la sécheresse. Des recommandations sont néanmoins réalisées, il est ainsi recommandé d'économiser l'eau au

maximum et de respecter les mesures de restriction de l'usage de l'eau qui peuvent être instaurées localement (souvent à un niveau départemental) [85].

Il y a néanmoins un point de vigilance particulier à prendre en compte dans les territoires de l'étude liés à la sécheresse. En Martinique et à Mayotte où les ressources principalement utilisées pour l'alimentation en eau potable sont issues de cours d'eau qui ne sont pas pérennes toute l'année. La sécheresse combinée avec une période sèche peut engendrer une diminution des niveaux d'eau et donc endommager les systèmes de pompes. Il est alors conseillé quand cela est possible de diminuer le volume prélevé en certains points où le stress hydrique est clairement marqué.

e. Planification et gestion à l'international, l'exemple du Japon

L'exemple du Japon est intéressant pour la sensibilité aux séismes de cette zone géographique avec une précision sur les réseaux. Tout d'abord, suite au séisme de Nankai, il est apparu que plusieurs portions non négligeables du réseau n'avaient pas été mises aux normes anti-sismique. Un guide pour la préparation d'un plan de normes a donc été établi par le Département de la santé environnementale et de la sécurité alimentaire, Section des réseaux d'eau au Ministère de la Santé, du Travail et des Affaires sociales, Direction de la pharmacie et de la santé environnementale.

Ce guide se focalise sur la mise aux normes antisismiques des parties du réseau qui alimentent les bâtiments prioritaires, soit les points critiques décrits par l'OMS précédemment. Cette partie du réseau est doit être impérativement opérationnelle et en particulier lors d'une crise où les établissements publics de santé cristallisent toute l'attention des usagers ayant besoin d'une aide médicale d'urgence.

Tout d'abord, il est généralement recommandé de garder une seule branche de réseau sécurisée capable de faire face à des incidents à amplitude élevée plutôt que plusieurs canalisations qui seraient plus vulnérables. En effet, cela permettrait de perdre moins de temps au niveau du processus de mise aux normes et les investissements en seraient donc potentiellement réduits.

L'État japonais mise notamment sur trois directives générales, chronologiquement en 2007, 2013 et 2015 :

1. promouvoir les mises aux normes parasismiques pour les établissements publics de première nécessité ;
2. la mise aux normes rapide des réseaux alimentant les établissements importants en termes de dessertes en eau prioritaire ;
3. renouveler les parties du réseau à faible niveau de parasismicité en les remplaçant par des tronçons à haut niveau de parasismicité, toujours en priorisant les établissements importants.

Pour mettre en place ces dispositions ? le plan de mise aux normes est ainsi réalisé de la manière suivante :

1. Définir les enjeux de protection. Cette première étape consiste tout d'abord à identifier les établissements prioritaires à desservir en cas d'incident et donc de prioriser les tronçons de réseau concernés. Pour cela le Japon a isolé 5 types d'établissements prioritaires : les établissements médicaux, les lieux et terrains refuges, les centres de réfugiés, les établissements pour personnes dépendantes et enfin les bases de prévention des catastrophes.
2. Il vient alors le temps d'identifier quelles canalisations doivent être remplacées. Pour cela, il a été défini un classement des canalisations à prioriser pour la mise aux normes : les canalisations alimentant les points critiques, les canalisations de distribution et les canalisations secondaires. Si plusieurs voies d'eau sont alors possibles, un choix doit être fait avec les critères suivants : longueur des canalisations, diamètre, longueur des canalisations qui ne sont pas parasismiques, état de vétusté, ainsi qu'existence ou non de plans pour d'autres travaux, le premier critère étant de prioriser les canalisations les plus courtes pour baisser les investissements et les délais de maintenance.
3. Il vient alors le temps de l'estimation des dommages en cas d'incidents. Cette partie permet d'estimer le nombre de dommages ou le pourcentage de réseaux affectés par une crise. Ce point prend aussi en compte le temps de coupure de l'alimentation en eau pour certains quartiers. Cette étape permet de juger si les canalisations précédemment identifiées suffiront à maintenir un niveau de service suffisant. Si le résultat n'apporte pas assez de protection, il convient alors d'élargir les canalisations du point 2 et de recommencer l'estimation des dégâts.

4. Définir le plan de mises aux normes. Ce point rend alors la mise en place du plan concrète en commençant par la durée de plan de mise aux normes. Ce choix sera notamment orienté suivant le nombre d'enjeux à protéger ainsi que de la probabilité de la survenue d'un aléa.
5. Il faut alors suivre l'évolution de la mise en place du plan avec notamment des indicateurs sur l'avancement du renouvellement. Cinq indicateurs sont alors définis pour suivre cette évolution avec notamment le taux de canalisation alimentant les établissements importants en termes de desserte en eau jusqu'au pourcentage d'établissements importants en termes de desserte en eau dont les canalisations ont un caractère parasismique.
6. La mise en place d'un plan d'opération. Cette dernière étape avant le retour d'expérience et le bilan du plan de mise aux normes établit l'ordre dans lequel les opérations doivent se dérouler. De plus, c'est dans ce volet que les aspects financiers sont évoqués. Cela passe par un calcul des coûts ainsi que des procédures d'appels d'offre. Avant la rédaction finale du rapport, il est convenu d'informer la population sur les enjeux des aménagements.

Cette méthode permet donc d'identifier et prioriser les zones de réseaux importants à renouveler tout en gardant à l'esprit les temps de maintenance et les coûts souvent élevés de ces aménagements de sécurisation.

Les informations sur le plan de mise aux normes des canalisations pour les établissements importants en termes de desserte en eau prioritaire sont basées sur la traduction de ce même rapport.

4. La planification à travers les schémas d'aménagement

Tout d'abord, **les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)** sont des "plans de gestion" des eaux encadrés par le droit communautaire inscrit dans la directive cadre sur l'eau (DCE) de 2000. Ces schémas sont là pour donner les grandes orientations de chaque bassin hydrographique dans le cadre des politiques nationales et européennes de l'eau. Les bassins hydrographiques sont au nombre de 12 dont 5 en Outre-Mer : Guadeloupe, Guyane, Martinique, la Réunion et Mayotte.

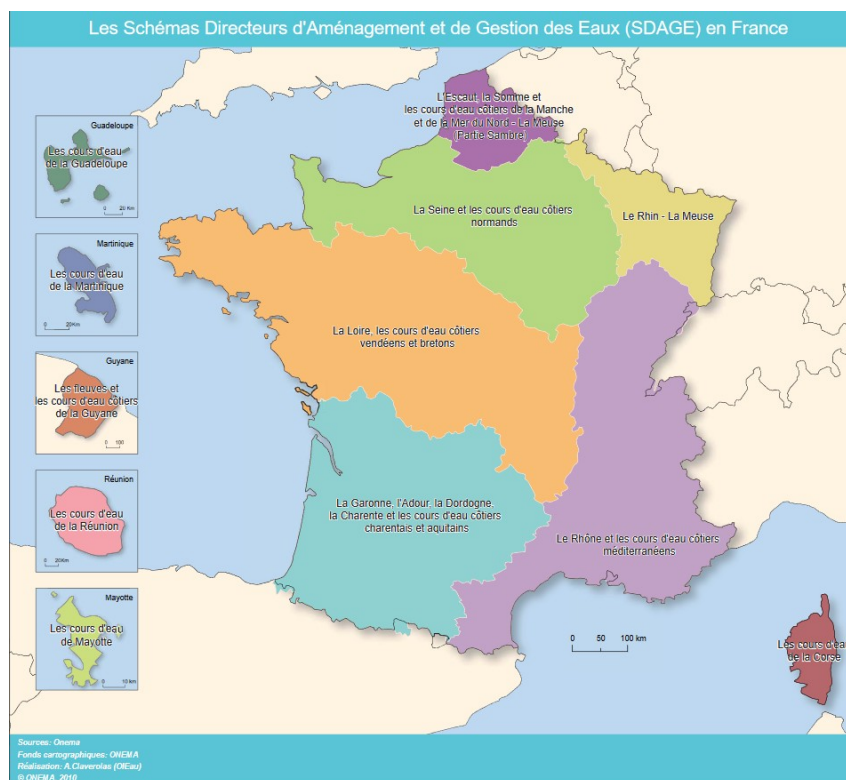


Figure 18: Description des 12 bassins hydrographiques de France, Source: ONEMA [86]

Ils sont généralement pilotés à travers un comité de bassin par tous les grands acteurs de l'eau. Les agences de l'eau sont les principaux acteurs financeurs pour ces schémas d'aménagement et assurent avec les services déconcentrés de l'Etat (DREAL de bassin) et l'Office français de la biodiversité (OFB), le secrétariat technique pour l'élaboration du SDAGE. Les agences de l'eau agissent dans chaque bassin pour concilier la gestion de l'eau avec le développement économique et le respect de l'environnement [86].

Au niveau de leur temporalité, ces schémas d'aménagement sont cycliques sur plusieurs périodes définies de six ans. Chaque cycle est défini par quatre grandes phases :

- **État de lieux** : cet état des lieux doit lancer à chaque nouveau cycle une nouvelle base de travail, il comprend donc une analyse des caractéristiques du bassin, une synthèse des impacts subis par les eaux de surface et les eaux souterraines, une analyse économique des utilisations de l'eau et un registre des zones protégées ;
- **Programmes de surveillance** : c'est donc un plan de mesure pour avoir l'évolution dans le temps des différents paramètres qui seront amenés à évoluer à travers les propositions du SDAGE. Cela permet d'avoir un suivi continu qui permettra de juger de l'efficacité a posteriori ;
- **Élaboration du SDAGE** : Ce document est organisé autour de trois axes : définir les orientations pour atteindre le « bon état » des masses d'eau, fixer des objectifs de qualité et de quantité pour chaque masse d'eau appartenant au bassin concerné, enfin déterminer les aménagements et dispositions à mettre en œuvre pour éviter une aggravation des systèmes et améliorer l'état de ces masses d'eau ;
- **Programmes De Mesures (PdM)** : Ce programme est le document opérationnel du SDAGE qui identifie et priorise les actions à mettre en place.

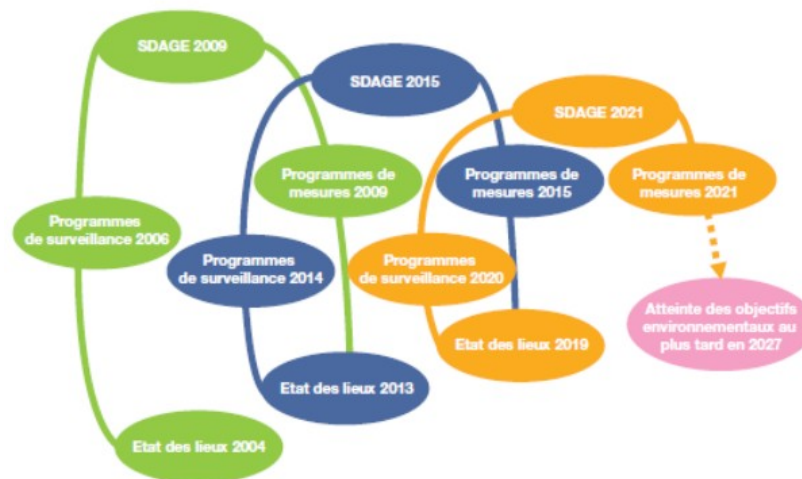


Figure 19: Temporalité des différents cycles des SDAGE, Source Gest'Eau [86]

Ce document très général qui donne des directions d'amélioration est à la base de la gestion de l'eau sur le territoire. Il est donc primordial pour les gestionnaires de prendre part à son élaboration pour expliquer les problématiques locales liées au bassin hydrographique.

Les **Schémas d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SAGE)** sont des outils locaux de déclinaison des SDAGE. Ils visent à concilier la satisfaction et le développement des différents usages (eau potable, industrie, agriculture...) et la protection des milieux aquatiques, en tenant compte des spécificités d'un territoire. Délimités selon des critères naturels, ils concernent un bassin versant hydrographique ou une nappe. Ils reposent sur une démarche volontaire de concertation avec les acteurs locaux [87]. L'échelle visée par ce type de schéma d'aménagement vise donc plus les bassins versants ou les systèmes hydrologiques de façon unique alors que les SDAGE regroupent toutes ces masses d'eau sous des bassins hydrographiques.

Concrètement, le SAGE fixe, coordonne et hiérarchise des objectifs généraux d'utilisation, de valorisation et de protection quantitative et qualitative des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques, ainsi que de préservation des zones humides. Il identifie les conditions de réalisation et les moyens pour atteindre ces objectifs :

- il précise les objectifs de qualité et quantité du SDAGE, en tenant compte des spécificités du territoire ;
- il énonce des priorités d'actions ;
- il édicte des règles particulières d'usage.

Le SAGE est établi par une Commission Locale de l'Eau divisée en trois groupes : les collectivités territoriales, les usagers, l'État et ses établissements publics. Il est composé de deux documents : un Plan d'Aménagement et de Gestion Durable (PAGD) qui fixe les objectifs, orientations et dispositions du SAGE et ses conditions de réalisation, ainsi qu'un règlement accompagné de documents cartographiques, qui édicte les règles à appliquer pour atteindre les objectifs fixés dans le PAGD.

Ce déploiement local, visant en général une masse d'eau, est très utile pour rassembler tous les acteurs et les usagers d'une même masse d'eau. On estime ainsi que 54 % du territoire étaient couverts par un SAGE en 2021, avec 62 SAGE qui étaient approuvés sur la période 2016-2021. Les SAGE ne sont cependant pas obligatoires et aujourd'hui seule la Réunion a mise en place trois SAGE sur son comité de bassin.

La Mission Inter-Service de l'Eau et de la Nature (MISEN) ont aussi mise en place des **Plans d'Action Opérationnels Territorialisés (PAOT)**. Ce plan représente la feuille de route des services de l'État à l'échelle du département vers le bon état des eaux conformément à la DCE et au SDAGE. Il est généralement élaboré suite aux décisions et aux enjeux détaillés par les PdM et les SAGE locaux. Ce plan permet en effet d'accorder les décisions prises à ces deux instances pour pouvoir mettre en œuvre leurs objectifs dans une approche commune ce qui n'est réellement pas toujours possible. En effet les délais et les budgets décidés sont parfois contradictoires, le PAOT permet alors d'harmoniser les décisions à prendre pour pouvoir ensuite commencer les démarche .

Le Schéma Directeur de Gestion des Eaux Pluviales (SDGEP) est un document facultatif qui n'est pas clairement défini dans la législation française. Il est cependant récurrent d'une collectivité à l'autre pour venir cadrer la politique de gestion des eaux pluviales et du risque de ruissellement. En fonction du contexte politique et administratif local, de la nature du risque et des documents déjà en place, le SDGEP peut être élaboré à différentes échelles : commune, intercommunalité, bassin versant, département [88].

Il s'agit d'un moyen de tracer les grandes lignes de gestion des eaux pluviales et du risque de ruissellement pluvial urbain et rural, ainsi que de planifier la construction coordonnée d'ouvrages collectifs, ou encore de communiquer auprès de la population. L'élaboration du Zonage Pluvial (ZP) est une étape dans la réalisation de tels schémas directeurs, qui peuvent eux aussi être annexés aux PLU, et voir leurs prescriptions retranscrites dans certains articles du règlement du PLU. Le SDGEP peut venir cadrer aussi bien le ZP que le PLU dans le contrôle du développement du territoire, afin de limiter l'implantation d'enjeux socio-économiques dans des espaces exposés au risque d'inondation par ruissellement pluvial [89] .

C. Les différentes stratégies

Plusieurs types de mesures peuvent être mis en place pour répondre à des enjeux de résilience. Il est admis que l'on peut regrouper ces mesures dans quatre grandes stratégies qui sont développées dans la suite de ce rapport.

Ces stratégies et la notion de résilience s'imposent de plus en plus aux collectivités pour des enjeux de sécurité et développement. Cependant il ne faut pas perdre de vue les problématiques actuelles telles que les changements climatiques qui entraînent des changements de procédures et de protection de l'environnement. Pour répondre à cette problématique, les mesures présentées ci après seront pour certaines décrites comme des solutions fondées sur la nature. Ces solutions fondées sur la nature (SFN) sont définies par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) comme « les actions visant à protéger, à gérer de manière durable et à restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les enjeux de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité » [90].

De plus, le concept de « adaptive water management » [91] qui a pour but de mettre les décisionnaires au centre du processus, pour ainsi mutualiser les efforts et rendre les systèmes plus flexibles, s'inscrit dans cette problématique de résilience des réseaux urbains. Il est surtout question de coopération et d'entraide. Plusieurs acteurs du milieu de l'eau sont souvent en accord sur le fait qu'une communication est la clef d'une gestion de réseau efficace et résiliente.

1. Évitement

Une première stratégie pour catégoriser plusieurs types de mesures peut être l'évitement. L'évitement consiste à protéger les installations en empêchant le contact entre le réseau et l'aléa et ses impacts. Nous verrons par la suite que cette définition peut aussi bien être prise dans le sens inverse et ainsi éviter le contact des impacts sur le réseau notamment avec la gestion de l'eau à la source.

Les différents moyens mis en lumière dans cette stratégie peuvent être majoritairement considérés comme des mesures « douces ». Ces mesures auront pour la plupart une efficacité maximale pour des événements moins violents mais ils permettent de ralentir et de diminuer une première partie non négligeable des impacts en cas de survenue d'un événement à risque majeur.

- La délocalisation des systèmes cruciaux installés en zone à risque

Une première mesure consiste à déplacer tous les systèmes liés au réseau (poste de refoulement, station de pompage et station d'épuration). Les installations électriques présentes ne sont pas adaptées aux zones soumises au risque inondation. Ces installations doivent donc être déportées quand cela est possible et dans le cas contraire, une stratégie de renforcement avec de la diversification possible du système doit être mise en place. En reprenant l'exemple du black out de New York en 2012, les installations avaient été très endommagées par le sel déposé pendant les submersions marines [54].

Encore aujourd'hui, plusieurs systèmes sont faussement protégés par des ouvrages ne respectant plus les normes de sécurité. Ainsi il est important de prendre en compte les bons niveaux de sécurité attendus. Par exemple les constructions de locaux (d'entretien et/ou de station de pompage par exemple) doivent être mises aux normes antisismique dans des zones soumises au risque de séisme et les infrastructures présentes en zones inondables déplacées dans des zones prenant en considération des crues importantes de type centennales. C'est ce qui a été réalisé en Martinique par le prestataire ODISSY qui a pris en compte ces problématiques dans la conception de ces postes de refoulement. La mairie de Papaïchton en Guyane indique que certains des postes de refoulement ont ainsi été surélevés pour les protéger des crues potentielles.

La ville de Saintes a également réalisé un déplacement de son usine de traitement de l'eau suite aux inondations en 1982. L'usine a ainsi été déplacée en 1989 sur un point haut proche du captage dans un espace hors zone inondable [68].

- La délocalisation des futures constructions dans des zones non à risque (respect des PLU et autres)

Aujourd'hui comme expliqué précédemment, plusieurs plans encadrent la construction des installations neuves. Ainsi, il faut veiller au respect de ces textes pour une meilleure cohérence territoriale et veiller à la protection des installations. Il est important de vérifier si tous les Plans de prévention annexes (PPRI, PPRL, PPRS,...) ont bien été annexés au PLU.

- La délocalisation des enjeux subissant des problèmes de continuité vis-à-vis de la ressource.

Il est question ici de prendre en compte les phénomènes liés au placement inadapté de certaines infrastructures vis-à-vis de la ressource. La délocalisation peut être envisagée dans des problématiques de sécheresse et de biseau salé notamment. En

effet, le risque de sécheresse s'accroît d'année en année sur des périodes de plus en plus longues et peut même engendrer avec lui une remontée du biseau salé qui sera détaillée par la suite.

Tout d'abord la sécheresse et les périodes sèches sont des phénomènes connus dans ces régions où le climat est souvent divisé en deux saisons, humide et sèche. Dans la période de saison sèche, le régime des rivières diminue autant que le niveau des nappes qui peuvent les accompagner. Les captages se font donc complexes et les stations ne sont parfois plus utilisables. De plus, le réchauffement climatique accentue les effets attendus des périodes sèches et a souvent tendance à allonger les périodes de sécheresse [92]. Ce problème se combine avec l'expansion importante de la population et le développement touristique des territoires ultramarins. La demande augmente et la surexploitation de la ressource peut alors devenir un problème majeur [93]. Le niveau des nappes ne va faire que diminuer et l'intrusion saline va contaminer la nappe et la rendre inutilisable [94]. Il est donc nécessaire d'arrêter de compromettre la ressource avant de la rendre inutilisable. Il faudra donc pour cela envisager un usage plus modéré ou délocaliser les systèmes de pompages dans des zones moins soumises à la sécheresse.

Ensuite, cette sécheresse va modifier le comportement du biseau salin qui constitue l'interface entre l'eau douce et l'eau salée. Cette interface va évoluer au cours du temps en fonction de la recharge par les précipitations, de l'exploitation anthropique de l'aquifère et du niveau marin. Ce phénomène de déplacement de l'interface est donc en partie naturel. Il est possible de catégoriser la sensibilité des aquifères côtiers en cinq catégories (faible, faible à moyenne, moyenne, variable/karstique, forte/avérée) Cette classification peut être réalisée grâce à des analyses de sols (en particulier avec la perméabilité des différentes couches de sols) et de la topologie (présence de réseaux karstiques ou non, etc.) [95]. Cette échelle permet d'identifier les zones où certains dispositifs ne doivent pas être placés et cible les zones sans risque pour l'utilisation anthropique. Cette échelle n'est cependant valide que pour les aquifères côtiers. On rappelle que, pour la Guadeloupe par exemple, 90 % de la ressource en eau de l'île provient des cours d'eau sur Basse-Terre, il est donc aussi important de connaître l'évolution de l'avancement du biseau salin dans les cours d'eau pour identifier les zones sensibles. Cette interface entre eau douce et eau salée est donc assez difficile à modéliser et elle est encore amenée à être modifiée par le réchauffement climatique ainsi que par la pression anthropique toujours grande. Selon le GIEC, le réchauffement climatique va induire une augmentation du niveau marin entre 80 et 180 cm. L'étude de Werner & Simmons (2011) démontre que suivant le système hydrologique des aquifères, une augmentation du niveau de la mer pourrait engendrer une avancée du biseau salé d'une cinquantaine de mètres jusqu'à un 1 km [96]. Les modélisations faites pour évaluer l'évolution du niveau de la mer n'étant encore aujourd'hui pas très fiables, ce facteur restera donc à surveiller pour mettre en place des solutions adaptées. Il est cependant admis que l'augmentation du niveau de la mer ne se faisant que dans un seul sens, déplacer les équipements vers l'intérieur des terres quand cela est possible est une solution viable.

L'activité anthropique, et principalement la production potable dans notre cas, va avoir un impact direct sur l'évolution du biseau salé. En effet, lorsqu'un forage est actif, le pompage de l'eau va engendrer des cônes de dépression piézométrique autour des forages qui vont avoir pour effet de remonter le niveau du biseau salé (voir figure 19). À cause de la remontée du biseau salé, certaines stations de traitement de l'eau ne peuvent plus fonctionner car les seuils de qualité de l'eau pompée sont dépassés et un déficit de la production d'eau potable s'établit. Pour prévenir ces interruptions, il y a tout d'abord des solutions de mesures qui permettent d'alerter le gestionnaire en cas de remontée du biseau salé proche d'un captage. Ce système se présente comme un forage bardé de capteurs placé en aval du point de pompage entre le biseau salé en temps normal et le forage. Ce système dynamique peut alors être utile dans les secteurs où la salinité de la ressource est trop importante ponctuellement. Le gestionnaire peut alors décider de la gestion du captage [97] [98]. Une autre méthode structurelle consiste à déplacer les systèmes vulnérables plus en amont des points de pompage. Des méthodes plus douces existent comme la valorisation de la végétation et en particulier les mangroves qui réduisent l'intrusion saline [99] [100].

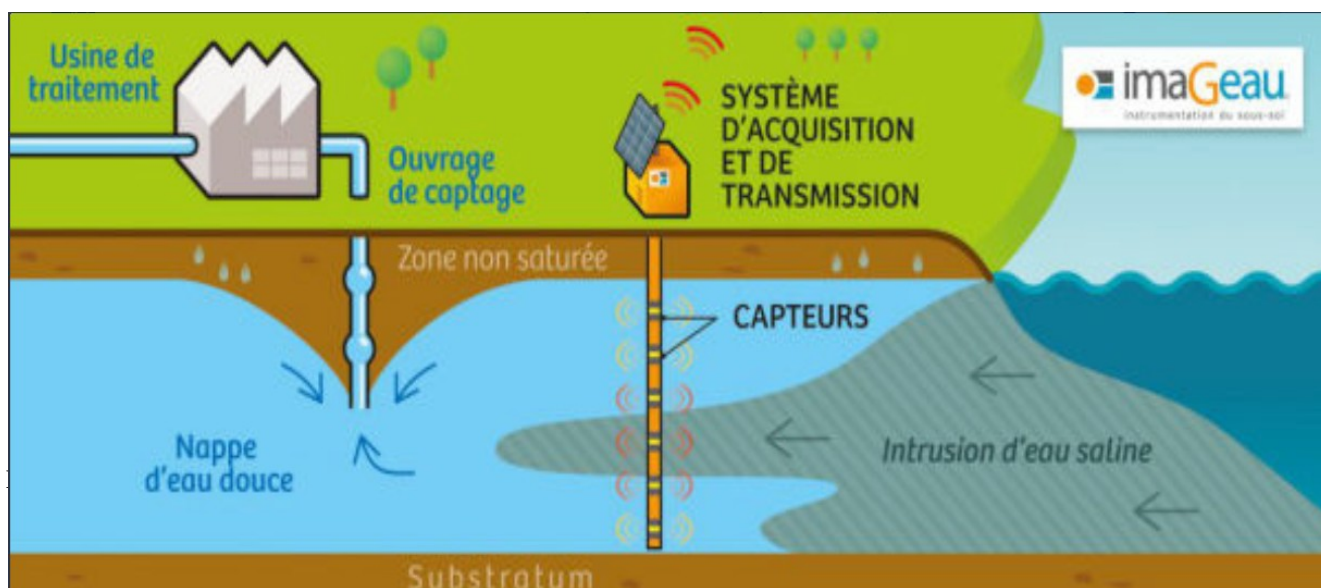


Figure 20: Solution de détection de remontée du biseau salé proposée par la SAUR [98]

- La déconnexion des réseaux et la gestion de l'eau en amont.

La déconnexion est un enjeu important pour limiter les entrées d'effluents dans le réseau. Cette méthode consiste à éviter l'arrivée des effluents dans le réseau d'assainissement, Cette méthode fait donc bien le lien avec deux types d'aléas étudiés ici qui sont les vagues submersives, les pluies intenses et en partie les cyclones sont souvent accompagnés de pluies.

Cette déconnexion peut s'effectuer dans un premier temps par la mise en place d'un réseau séparatif. Ce type de réseau permet une déconnexion totale entre l'eau pluviale et le réseau d'assainissement domestique. Ce double réseau permet de diminuer grandement les quantités d'effluent à traiter et à transiter dans les réseaux. Cependant, c'est une opération lourde pour le réseau qui prend du temps avec un certain coût. De plus, la gestion du réseau complet se complexifie et une attention toute particulière doit être prise dans l'entretien et dans les nouveaux raccordements. L'exemple de l'Angleterre démontre que la fiabilité des systèmes n'est pas parfaite. En effet, plusieurs études ont estimé que le réseau séparatif représente entre 19 et 36 % des réseaux d'assainissement, la plus grande proportion étant établie majoritairement dans la partie ultra-urbanisée de Londres et les régions des Midlands, Ces études montrent qu'il pourrait y avoir entre 500 000 et 1 million de mauvais raccordements engendrant des pollutions mineures à travers toute la ville et qui se rejetteraient majoritairement dans la Tamise. Des estimations montrent que ces erreurs coûteraient près de 300 millions d'euros par an pour l'entretien et la gestion de ces mauvaises connexions [101]. De plus, ce système n'est pas infaillible et malgré un entretien rigoureux, le réseau d'eaux usées aura tendance à recueillir certaines eaux parasites comme les Eaux Parasites de Captage (EPC) qui sont les eaux pluviales collectées par le réseau séparatif d'eaux usées dû à de mauvais branchements et les Eaux Parasites d'Infiltration (EPI) qui sont issues des défauts d'étanchéité du système [102]. Ces deux types d'infiltrations qui forment les Eaux Claires Parasites (ECP) ne sont pas à prendre à la légère, en particulier dans les territoires ultramarins où les systèmes sont parfois fuyants comme l'indique la compagnie guadeloupéenne de services publics dans l'enquête technique [voir annexe 2]. Ces infiltrations vont en effet déjà saturer une partie du réseau qui peut être utile en cas de risque inondation et donc de surcharge importante du réseau. Cette première démarche de pose de réseau séparatif a déjà été réalisée par plusieurs délégataires dans les territoires ultramarins comme la Régie Nord Caraïbe Eau et Assainissement et Eau d'excellence en Guadeloupe, Cap Nord et Odyssi en Martinique par exemple. Cette solution est une base forte pour l'amélioration des systèmes d'assainissement au niveau sanitaire, mais aussi pour désengorger les réseaux dans des périodes de crise. Les stations d'assainissement ne seront donc pas forcément obligés d'arrêter les processus à l'œuvre dans des périodes de forte affluence d'eau dans le réseau.

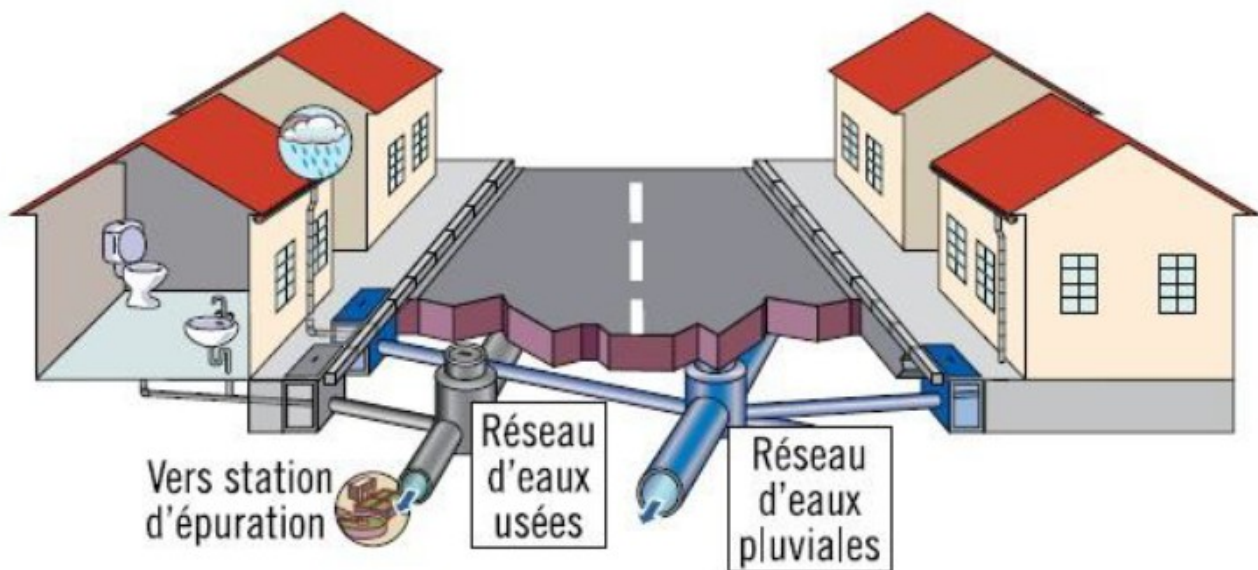


Figure 21: Schématisation d'un réseau en séparatif eaux usées/eaux pluviales [106]

Le CEPRI indique que « Depuis quelque temps, on remarque le transfert de la gestion des eaux pluviales “domestiques” aux particuliers (incitations au stockage et à la réutilisation des eaux pluviales, installations de noues dans les jardins privés...). Cela vient d'une volonté de soulager les réseaux déjà en place qui sont devenus saturés avec le développement urbain, mais aussi d'un choix de gérer à la source le phénomène de ruissellement pluvial. » [89] Cela montre l'enjeu crucial qu'est la mobilisation des usagers pour aider les acteurs publics à gérer au mieux cette gestion à la source et par la même occasion soulager les réseaux existants.

Le but étant bien souvent d'infiltrer les eaux, les Solutions Fondées sur la Nature (SFN) ou solutions « vertes » sont de plus en plus sollicitées pour leur capacité à diminuer les charges d'effluents dans les réseaux et ainsi à les protéger. Elles sont notamment requises dans la mise en place des politiques publiques liées à la compétence GEMAPI « qui appelle aujourd'hui à des solutions fondées sur la nature devant permettre d'accorder la prévention des inondations avec la gestion intégrée des milieux aquatiques » [90].

- Les Solutions Fondées sur la Nature (SFN) et les techniques alternatives

Les SFN sont en général des méthodes pour réduire la quantité d'effluents entrant dans le réseau mais peuvent aussi avoir d'autres utilités comme la protection de certains espaces et la continuité écologique d'un milieu tout en répondant à des enjeux de protection. Ces exemples seront détaillés à en Annexe 1 car ils concernent moins l'impact direct des aléas sur le réseau que la sécurité en général en cas de crise.

Le terme « technique alternative » peut aussi être employé pour désigner le regroupement des SFN avec des solutions « grises » qui ont un faible impact écologique et qui opèrent avec les mêmes objectifs que les SFN à savoir l'infiltration, le ralentissement des propagations d'aléas et la création de zones « tampons » ou de stockages temporaires.

Plusieurs ouvrages peuvent ainsi être mis en place suivant l'objectif voulu et l'espace disponible pour la réalisation d'un ouvrage. On parle alors de solution extensive pour des solutions qui requièrent un espace important et intensive pour des solutions plus concentrées.

Pour un objectif d'infiltration et donc de réduction du volume, il y a tout d'abord, les noues et les fossés qui sont plutôt des ouvrages intensifs qui sont généralement placées aux abords de route, chemin ou zone urbaines. Ces ouvrages sont simples à mettre en place et demande un entretien léger. Pour des volumes plus conséquents, des ouvrages comme les bassins secs ou humide peuvent être efficaces et apporté dans le même temps un support pour la biodiversité. Ces ouvrages sont extensifs et sont généralement placées en périphérie zones urbaines. Pour ces milieux urbains, des solutions comme les jardins de pluie ou des parcs spécialement aménagé pour être des espaces inondables peuvent être installés. Ces aménagements peuvent ainsi faciliter l'intégration paysagère d'une installation de réduction de ruissellement. Ils apportent dans le même temps des espaces récréatifs et permettent de limiter les îlots de chaleurs urbains.

Pour continuer cette approche d'infiltration et de gestion de l'eau à la parcelle de plus en plus de solution se développe pour les particuliers. C'est le cas des différentes toitures qui peuvent être aménagées pour remplir un rôle d'infiltration avec des toitures végétalisées ou un rôle de stockage avec des toitures réservoirs. Ces ouvrages permettent là aussi une réduction du volume des effluents urbains. Cette solution permet aussi de sensibiliser la population à ces enjeux de réduction du ruissellement et d'imperméabilisation constantes.

D'autres solutions peuvent être aménagées directement ou proche de la voirie comme les chaussées drainantes par exemple. Cette solution peut avoir un objectif d'infiltration comme de stockage temporaire. Le stockage ainsi être assez important tout en gardant une emprise au sol assez faible de la taille de la route. Pour compléter ce dispositif sur la voirie, des puits d'infiltrations peuvent aussi être mis en place seuls ou reliés à des réservoirs comme celui d'une chaussée drainante à proximité. Ces solutions plutôt ponctuelles peuvent aider les gestionnaires à résoudre des problèmes de ruissellement trop important sur une zone très localisée et ainsi réduire le flux du ruissellement. Il est aussi possible de réaliser des désimperméabilisation sur certains aménagements urbains comme les places de centre-ville ou les parkings. Cette alternative va permettre l'infiltration sur des surfaces anciennement imperméable ce qui aura pour effet, là encore, une diminution de la charge ruisselé.

Pour les aménagements en dehors des villes, il est de plus en plus question de restauration des milieux. Sur les territoires de l'étude, la mangrove est un enjeu important que ce soit en termes de biodiversité ou de protection naturel. En effet, cette formation naturelle peut jouer le rôle de barrière face au risque de vagues subversives et permet dans le même temps de protéger des espaces importants, comme les baies et les ports, des impacts des cyclones. Bien que ce massif apporte certains bénéfices écosystémiques, la mangrove à tendance à diminuer de par l'anthropisation, la présence d'espèces invasives ou l'aquaculture. Il est donc primordial de protéger ce patrimoine pour veiller à son bon fonctionnement écologique et ainsi profiter de ses bienfaits écosystémiques.

De façon plus générale et moins contextuelle avec les Outre-mer, les rivières sont aussi des ressources naturelles à préserver. En effet, le caractère naturel et sinueux des rivières et les espaces disponibles entre chaque méandre permet d'établir des zones de dissipation de crues. Ce fonctionnement naturel est directement issu de l'hydromorphologie de la rivière. Il convient alors de préserver là encore ces espaces mais aussi de participer à sa restauration. De plus en plus de projets de reméandrage voient le jour et le changement de paradigme vers des rivières plus naturels accompagnées de leurs méandres ainsi que de la biodiversité qui les accompagne s'accélère.

Enfin d'autre solution plus « vertes » peuvent être implantées pour réduire les impacts des risques naturels. Comme les mangroves, les haies présentent l'avantage de jouer le rôle de barrière quand des vents puissants se manifestent. Ces haies permettent ainsi de protéger du vent des zones importantes suivant leur hauteur mais aussi de rétention d'eau et de ralentissement. En effet, les haies permettent aussi une infiltration des eaux efficaces ainsi que des retenues qui peuvent s'avérer utiles pour réduire les ruissellements avals qu'ils soient solides ou liquides.

Pour plus d'information consultez l'Annexe 1

2. Robustesse

La stratégie de robustesse peut être définie comme de la résistance. Le but de cette stratégie étant souvent de résister à l'impact des aléas pour réduire les dommages. Cette stratégie se base sur l'amélioration de l'environnement proche du réseau par l'apport de dispositifs efficaces pour qu'il puisse résister à un aléa.

Cette robustesse peut être délicate à améliorer en raison des deux grandes sensibilités que subissent les réseaux, à savoir la sensibilité mécanique qui est notamment présente quand un risque comme un cyclone, un séisme, un mouvement de terrain se produisent et la sensibilité à l'eau qui est présente avec l'apparition des risques de submersion marine et de pluie intense [68].

Les cyclones étant souvent accompagnés de pluies, les deux sensibilités se doivent d'être étudiées attentivement pour améliorer la résistance du réseau. Les impacts de la sécheresse sur le réseau sont surtout produits au niveau de la ressource et donc sur la production, mais la sécheresse peut être amenée à impacter la salinité de l'eau comme il a été décrit précédemment et donc augmenter les dommages en cas de vagues submersives par exemple. Cet aléa a aussi un impact mécanique sur les matériaux utilisés, comme le béton, qui peuvent être amenés à se fissurer à cause de longues périodes de chaleur. De plus, en période de sécheresse, le réseau d'eau potable sera sûrement plus sollicité et cela va donc entraîner une potentielle sur-utilisation des installations [103].

a. Le respect des normes de construction

Le respect des normes est une base importante dans la prévention des risques et la baisse de la vulnérabilité. Ces normes permettent d'assurer un niveau de sécurité sur une construction pour un fonctionnement standard. Quand le système est construit dans une zone à risque, d'autres normes et procédures interviennent pour résister aux différents impacts que peuvent entraîner certains risques.

Les normes ISO 91.140.60 et 91.140.80 [104] [105] traitent respectivement des systèmes de fourniture d'eau et des systèmes d'évacuation d'eau. Ces normes englobent tous les composants des réseaux avec des organes supplémentaires plus généraux comme les compteurs par exemple. Ces normes sont convenues à une échelle internationale par des experts. Elles sont là pour guider les équipes avec une méthode pour réaliser les installations et les entretiens le mieux possible. Elles ont l'avantage d'englober presque tout le cycle de vie des systèmes. Elles indiquent donc les méthodes de fabrication avec le choix des matériaux jusqu'à la pose et l'entretien du système.

Des normes plus locales peuvent aussi être respectées pour valoriser le travail mis en œuvre et surtout assurer un niveau de sécurité validé par des experts. Les normes AFNOR (NF) sont les normes françaises qui sont bien souvent dérivées des normes internationales et/ou européennes.

Avec la directive européenne 2008/114/EC (Directive 2008/114/CE du Conseil du 8 décembre 2008), il est possible de mettre en place des infrastructures sous insigne ICE à savoir Infrastructure Critique Européenne. Ces infrastructures sont déterminées suivant trois critères :

- nombre de victimes (morts ou blessés potentiels) ;
- incidence économique (pertes d'exploitation, dégradation des produits, des services et de l'environnement) ;
- incidence sur la population (perte de confiance, souffrance, perturbation...).

Bien que ce dispositif soit pour l'instant tourné majoritairement vers le risque terroriste, il serait possible d'inscrire des stations d'alimentation en eau potable dans cette législation pour bénéficier d'un soutien de la part de l'European Programme for Critical Infrastructures Protection (EPCIP).

Pour chaque Infrastructure Critique Européenne (ICE), le propriétaire/opérateur doit, sous contrôle de l'État :

- élaborer un Plan de Sécurité d'Opérateur (PSO) comportant un recensement des points importants de l'ICE, une évaluation des risques (vulnérabilité de l'ICE et impacts en cas de dommages ou de destruction) et l'identification, la sélection et la priorisation des contre-mesures et procédures ;

- désigner et assurer la présence permanente d'un correspondant pour la sécurité, lequel sera l'interlocuteur privilégié de l'État.[68]

b. Les ouvrages de protection

- Les digues
 - Le fascicule 2 du guide d'application de la réglementation relative aux travaux à proximité des réseaux définit les deux types de digues reconnus avec une réglementation d'installation :
 - Une digue de protection contre les inondations est un ouvrage de protection contre les inondations dont au moins une partie est construite en élévation au-dessus du niveau du terrain naturel et destiné à contenir épisodiquement un flux d'eau afin de protéger des zones naturellement inondables ;
 - Une digue « à la mer » ou de protection contre les submersions marines a pour finalité de protéger les estuaires et les zones littorales contre les marées hautes ou les surcote marines engendrées par des phénomènes dépressionnaires [106].

Les digues sont inscrites au Code de l'Environnement à l'article L.562-8-1 et définies comme des « ouvrages construits en vue de prévenir les inondations et submersions » [108] .

Ces ouvrages ne fonctionnent pas seuls et sont souvent accompagnés par des vannes, des clapets, des stations de pompages par exemple qui seront décrits par la suite. Pour les digues de protection contre les submersions marines, d'autres ouvrages spécifiques à ce type de système sont également présents comme des épis ou des brise-lames. Ces ouvrages ne sont pas spécifiques à la protection des réseaux d'eau et d'assainissement mais protègent des zones entières.

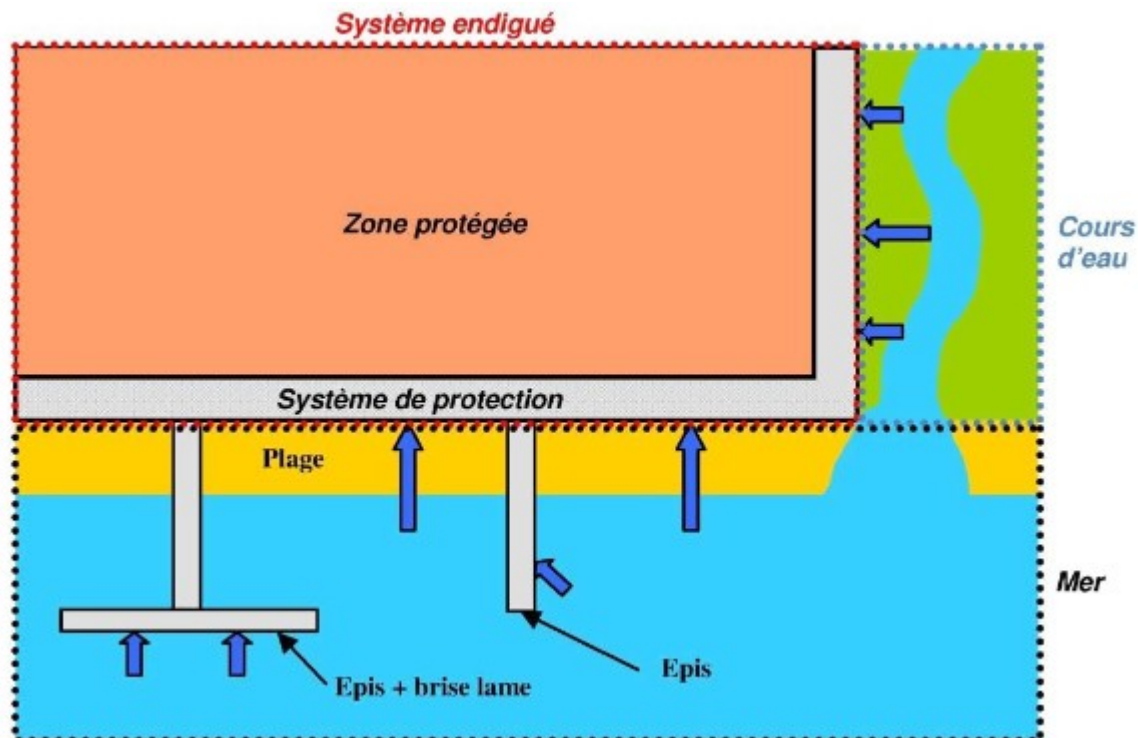


Figure 22: Schématisation des possibilités d'endiguement, Source: [108]

La loi n° 2014-58 du 27 janvier 2014 (dite loi MAPTAM) prévoit dans son article 58 que les ouvrages de protection contre les inondations et les submersions bénéficient des dispositions existantes vis-à-vis des travaux à proximité des réseaux (par modification de l'article L.554-1 du Code de l'Environnement).

De plus, l'article R.562-12 du Code de l'Environnement, issu du décret 2015-526 du 12 mai 2015 (décret « digues »), définit les ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions comme des ouvrages sensibles au sens de l'article R.554-2 du Code précité. Cela vise notamment les digues et leurs ouvrages annexes, mais également d'autres ouvrages, par exemple des barrages.

En effet, en vue d'assurer la protection contre le risque inondation ou submersion d'une zone géographique, le gestionnaire de ces ouvrages, au sens du décret 2015-526, définit :

- Des systèmes d'endiguement constitués d'une pluralité d'ouvrages parmi lesquels une ou des digue(s) qui, ensemble, protègent la zone contre ce risque (art. R.562-13) ;
- Des aménagements hydrauliques, constitués également d'une pluralité d'ouvrages parmi lesquels un ou des barrage(s) qui, ensemble, protègent la zone contre ce risque.(art. R.562-18).

Ce sont des ouvrages fortement sollicités tout au long de leur durée de vie et un entretien régulier est important pour limiter les risques d'érosion interne des corps de digues. Ces ouvrages sont aussi sensibles aux glissements de terrain, une attention particulière doit donc être portée pour évaluer le risque de la présence d'une digue dans une zone potentiellement sensible aux mouvements de terrain ou aux séismes. Si la digue est donc effectivement dans une zone avec un grand risque de glissement due à un séisme ou à des mouvements de terrain, les digues devront respecter des normes strictes de protection et de renforcement au risque d'empirer une situation en cas de crise.

On distingue trois modèles de digue :

- digue en terre (en remblai) où le corps de digue peut comporter plusieurs couches homogènes de matériaux différents, ou bien être globalement composé de tout venant plus ou moins hétérogène. Ce type de digue permet une meilleure continuité écologique qui peut être un objectif de développement à travers la compétence GEMAPI ;
- digue type « poids » (en maçonnerie ou béton) où le corps de digue est complètement bétonné ;

digue « mixte » (en remblai avec une partie poids) où le corps de digue est composé de murs ou de maçonneries en béton sur lesquels viennent s'appuyer des remblais [106].

Ces ouvrages s'intègrent dans des Plans de Prévention de Risques et ils sont aussi en lien avec la compétence GEMAPI.

- Les stations de pompage

Les stations de pompages sont destinées, en assainissement, à élever les eaux d'un niveau haut à un autre plus haut, soit pour le franchissement d'un obstacle, soit pour modifier des tracés devenus économiquement inacceptables en réseau gravitaire.

On distingue :

- Un poste de relèvement qui est destiné à élever les eaux, généralement sur place et sur une faible hauteur, pour permettre à un collecteur devenu trop profond de retrouver un niveau économiquement acceptable ;
- Un poste de refoulement qui a pour objet de faire transiter les effluents sous pression, souvent sur une assez grande longueur, ou sur une assez grande hauteur de refoulement pour franchir un obstacle particulier (rivière, relief, etc.) ou pour atteindre une station d'épuration éloignée.



Ces deux ouvrages nécessitent des organes de protection comme des clapets anti-retour, des vannes d'entretien, un dispositif anti-bélier ainsi que toute l'installation électrique requise regroupée dans une armoire de commande [109]. Ces deux systèmes sont omniprésents dans les réseaux d'assainissement et restent sensibles aux aléas climatiques. En reprenant l'exemple de Saint-Martin pendant l'événement Irma, les 29 postes de refoulement ont été détruits pendant la tempête. Ils sont aussi sensibles à la sécheresse car en diminuant le niveau d'eau, les pompes peuvent être amenées à tourner à sec, ce qui va endommager grandement le groupe motorisé [103].

Des systèmes sont pourtant réalisés pour évacuer les eaux spécifiquement en cas de crue avec ces mêmes systèmes. Il faudra donc rester vigilant dans leur entretien et assurer des moyens d'urgence avec des groupes électrogènes par exemple. Dans le Val de Marne, des stations anti-crue ont ainsi été déployées pour continuer d'évacuer les eaux pluviales normalement rejetées dans le milieu naturel (ici une rivière) quand le niveau de celle-ci est trop haut pour une évacuation gravitaire. Cette solution a cependant certaines limites car quand le niveau du milieu récepteur est vraiment trop important, la station n'est plus capable de fonctionner et les agents doivent alors mettre en place des batardeaux pour protéger les installations. De plus, ce système déplace en quelque sorte le problème et risque d'impacter les infrastructures qui se trouvent plus en aval le long de la rivière. Cette solution doit donc être bien étudiée pour éviter une aggravation des impacts plus qu'une réduction.

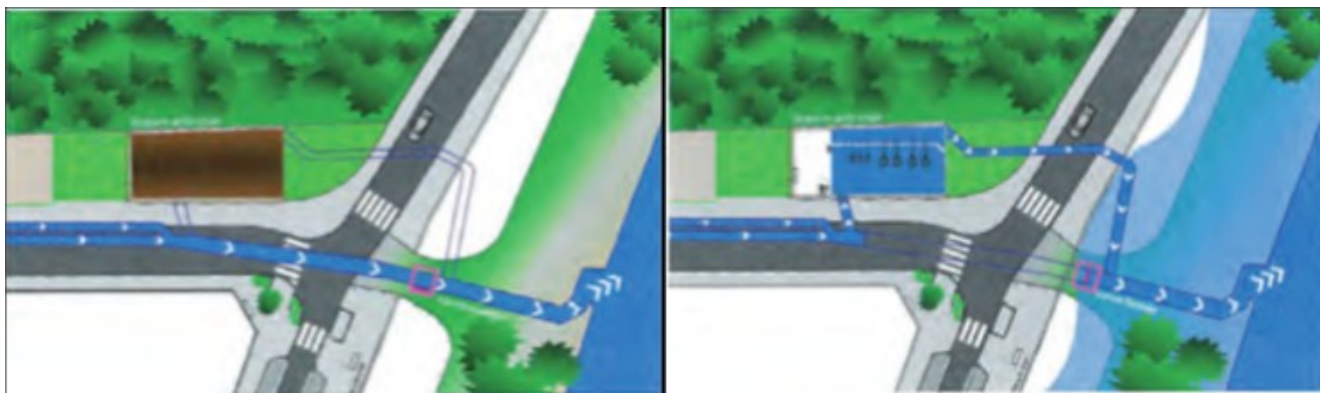


Figure 24: Schématisation du fonctionnement de la station anti-crue dans le Val de Marne en temps de paix et en temps de crise, Source: [68]

- les organes de cloisonnement (clapets et batardeaux)

Comme illustrés par l'exemple précédent, les ouvrages de cloisonnement sont essentiels dans le fonctionnement des réseaux d'eau potable et d'assainissement. Ils permettent de protéger contre des dégâts directs mais permettent aussi de sectoriser des zones pour améliorer ou orienter les écoulements.

Ils sont présents sur le réseau d'assainissement pour limiter la propagation de l'inondation dans le réseau, les clapets anti-retour sont quant à eux utilisés dans des systèmes de protection d'équipement et pour éviter les refoulements chez les usagers en cas d'inondation.

Pour l'alimentation en eau potable, le réseau de distribution est équipé de plusieurs vannes pour éviter la propagation de pollution en cas d'incident.

Tous ces systèmes sont donc extrêmement pratiques mais ils n'en sont pas pour autant moins fragiles. En effet, certaines vannes automatiques ou électrovannes vont nécessiter une alimentation électrique qui peut être défaillante lors d'une crise, comme il est précisé dans la partie interconnexion vue précédemment. De plus, ces systèmes peuvent être encombrés et/ou détériorés. Leur entretien est donc primordial pour le bon fonctionnement du réseau.

Ces outils doivent donc être utilisés dans la mesure du possible et entretenus. On retrouve ces dispositifs dans des PPRI comme celui de la vallée de l'Yerre qui impose de prévoir à la construction de nouveau réseau « la pose de clapets anti-retour automatiques, le verrouillage des tampons d'assainissement et la pose de pompe permettant l'évacuation des points bas ». Il est aussi bien précisé que « l'entretien régulier de ces dispositifs devra être garanti par le gestionnaire » [68].

Les batardeaux sont décrits par VNF comme « une structure provisoire installée en remplacement d'une bouchure traditionnelle, soit pour réaliser la maintenance (préventive ou curative) de celle-ci, soit pour réagir à un incident grave » [110]. Ce système vient donc faire barrière entre l'effluent et l'enjeu à protéger. Ils ne sont pas forcément installés dans

l'urgence et peuvent être un dispositif installé pour du long terme comme cela a été décrit précédemment avec les stations anti-crue. Les installations nécessaires dans lesquels les batardeaux sont souvent positionnés peuvent donc être installés en prévisions de crue pour les installations sensibles. De même chez les particuliers comme cela a été le cas en dans la commune des Moutiers-en-Retz où l'Association Monastérienne de Protection face au Risque d'Inondation (AMPRI) informe et aide à la mise en place de batardeaux chez les particuliers de la commune et de ses alentours situé dans une zone qui fait l'objet d'un plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) [111].

Ils sont aussi très utiles pour procéder à la maintenance à sec des installations sensibles comme les vannes et les clapets vue précédemment dans des ouvrages comme les barrages ou les déversoirs. Ce sont donc des systèmes simples à mettre en place qui peuvent répondre à une situation de crise mais qui aident aussi à l'entretien des ouvrages et peuvent être installés en prévention d'une crise.

c. La solidification

La méthode de solidification encourage à sécuriser les installations en les rendant plus résistantes aux aléas, notamment à l'arrachement des ouvrages. Pour cela plusieurs actions simples sont réalisables sur le réseau.

Tout d'abord, bien que les réseaux d'eau ne soient pas des réseaux aériens, des ancrages sont possibles pour les garder en position lors d'événement intense qui risquerait de déstabiliser le support de pose comme la liquéfaction des sols. L'ancrage des réseaux doit de préférence être rapproché pour maximiser la résistance aux cisaillements provoqués par la poussée d'Archimède par exemple. Ces ancrages peuvent être réalisés par des butées ou des anneaux. Il est recommandé pour un réseau soumis souvent à de fortes pressions qu'il puisse supporter une Pression de Fonctionnement Admissible (PFA) jusqu'à 20 bars [112].

Cet ancrage est de toute façon obligatoire dans certains plans d'urgences et doit être renseigné dans le Dossier d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM) de la commune.

Un autre moyen de solidifier le réseau est le règlement de l'ouverture maximale des tampons d'assainissement. Avec cette démarche, les risques d'endommager le réseau surchargé pendant un incident est grandement réduit tout en limitant les débordements en surface. Cette fonction bloque par la même occasion le risque d'aspiration ou de chute d'une personne dans une zone complètement inondée. Cette démarche peut d'ailleurs être inscrite dans des plans de prévention comme le PPRI Loire Aval où tous les tampons de la zone inondable doivent avoir un angle d'ouverture maximal de 30 % en cas de crue [68].

Pour s'affranchir de ces problèmes dus à la pression tout en bénéficiant d'une possibilité de maintenance optimale, la mise en place de Galerie Multi Réseau (GMR) est optimale et permet de sécuriser une grande partie du réseau. En effet, le caractère visitable de ces GMR permet un entretien facilité tout en diminuant la gêne occasionnée par des travaux de surface. De plus, si les différents réseaux sont correctement dimensionnés, le risque d'incident lors d'un aléa de surface est alors très faible. La ville de Prague en République Tchèque a largement développé cette solution, ce qui a permis de sauvegarder les installations présentes dans ces GMR pendant l'inondation majeure de Prague en 2002 [113]. Cette solution reste néanmoins très coûteuse avec des travaux lourds. Le risque de séisme et de mouvement de terrain étant très présent dans les territoires ultramarins, ce type de solution doit être étudié attentivement avant sa mise en place et respecter les normes anti-sismiques.

d. La désensibilisation

La désensibilisation consiste à changer d'outils et d'aménagements et ainsi trouver des solutions qui soient moins vulnérables aux risques.

Cette stratégie est de plus en plus utilisée dans le secteur des télécoms où les fournisseurs d'accès passent de plus en plus par leur ligne en fibre optique. Cette solution a l'avantage de ne presque pas être sensible à l'eau, contrairement aux câbles d'alimentation classique. Pour traiter du cas des réseaux d'eau et d'assainissement, cela pourrait consister à utiliser des systèmes plus rustiques quand cela est possible. Il s'agirait alors d'utiliser des composants moins vulnérables à l'eau ou ne nécessitant pas ou peu d'électricité. Cette transposition pourrait s'opérer aux niveaux de certaines vannes automatiques qui peuvent être amenés à tomber en panne lors d'un événement à risque. Elles pourraient alors être remplacées par des vannes manuelles ou simplement mécaniques avec des capteurs de hauteur rustique comme des flotteurs.

Cette stratégie a beau ne pas s'adapter complètement à notre système d'études, les améliorations technologiques et l'amélioration de certains composants pourrait la rendre plus viable sur ce type de réseau.

e. Étanchéification

Cette solution de robustesse est définie par le CEPRI comme une méthode qui consiste « à limiter le contact avec l'eau de tout ou partie du réseau ou à empêcher la pénétration de l'eau dans le réseau ». Cette méthode se rapproche donc dans un sens de la stratégie d'évitement. L'étanchéification passe tout d'abord par la pose convenable des tronçons du réseau. En effet, dans sa définition, un réseau se veut étanche, l'étanchéification consiste donc essentiellement à assurer une pose de conduite qui suit les réglementations en vigueur avec les Fascicules 70 et 71 pour les réseaux d'assainissement et de distribution d'eau potable avec leurs ouvrages d'accompagnement, tout cela en respectant les plans de prévention et les schémas directeurs qui régissent l'implantation de nouvelles installations ainsi que les normes liées aux types de matériaux et à la pose d'organes extérieurs comme les clapets et les vannes. Grâce aux entretiens réalisés pour le déroulement d'étude, la plupart des territoires de l'étude semblent respecter les normes de pose. Il faut enclencher d'autres procédures pour étanchéifier le réseau [68].

Une autre solution serait alors de réduire la pression dans les canalisations. En effet, avec une pression moindre, la durée de vie des canalisations sera augmentée et elles seront moins endommagées. Il faudra cependant veiller à respecter des pressions minimales de fonctionnement suivant la configuration du réseau pour des aspects sanitaires. Cette réduction peut passer par des réductions de débit via des vannes automatiques ou non. Cependant, le débit minimal de l'eau arrivant chez l'utilisateur doit arriver avec une pression minimale de 3 mètres de colonne d'eau soit environ 0,3 bar suivant l'article 41 du décret n°2001-1220 [114].

Une fois la pose de la conduite réalisée convenablement, il faut veiller à l'étanchéité des sites d'accès, comme les chambres de stations de pompage, les espaces des commandes électriques, etc. Pour cela un premier plan des points cruciaux du réseau peut être entrepris pour évaluer et mettre en place une stratégie d'étanchéification des organes cruciaux du réseau. Il faudra tout de même s'adapter au contexte de chaque installation et éviter un encombrement trop important ou au moins garder des chemins d'accès suffisamment praticables. Une fois cette première inspection (ou dans le même temps), les gestionnaires peuvent mettre en place un plan de recherche de fuites. Cette démarche est alors simplifiée si le réseau permet une sectorisation d'une partie du réseau pour évaluer au mieux les pertes sur chaque tronçon. Cette démarche de recherche de fuites et de renouvellement peut avoir des gains importants comme cela a été le cas au Canada dans la ville de Saint-Jean-sur-Richelieu où le débit distribué a été divisé par deux en partie grâce à ce plan et cette gestion des fuites sur le territoire municipal [115].

Une dernière solution est d'équiper les parties du réseau avec un haut risque d'infiltration en mettant en place des systèmes de pompage des eaux d'infiltration. Cette solution requiert donc de mettre en place une petite infrastructure avec notamment un local qui doit assurer un état de fonctionnement en période de crise et être alimenté en électricité et/ou en fuel. Cette solution a le bénéfice de participer à la réduction des eaux claires parasites (ou les eaux de nappes si le réseau est proche de celles-ci) ainsi qu'à des infiltrations en période de crise.

Cette sécurisation des réseaux est importante car elle permet d'éviter une détérioration trop importante des systèmes possiblement vulnérables directement lors de la réalisation d'un risque mais aussi d'améliorer la qualité du service.

f. Des systèmes innovants

Il existe de plus en plus de systèmes innovants qui peuvent venir en appui aux solutions classiques pour la gestion des risques. Le système Aqua-barrier est par exemple un élément flexible qui se remplit d'eau et peut créer une sorte de barrage rapidement installé. Cet outil est bien entendu très utile en temps de crise mais il peut aussi être utilisé en prévention pour protéger une installation importante comme des hôpitaux ou dans notre cas des STEP ou des stations de pompage. Il serait alors intéressant de procéder à l'élaboration d'un protocole de mise en place pour définir la marche à suivre d'une équipe d'agents pour sécuriser une installation. Des plans comme celui-ci pourraient alors être créés pour les enjeux importants du secteur sous la responsabilité du gestionnaire. Cette solution peut protéger de grandes zones et peut aussi être utilisée pour assécher une zone qui aurait besoin d'entretien. Ce barrage « rapide » a l'avantage de coûter bien moins cher qu'une solution construite et d'être facilement déplaçable suivant les utilisations et l'approche ou non d'un risque [116].

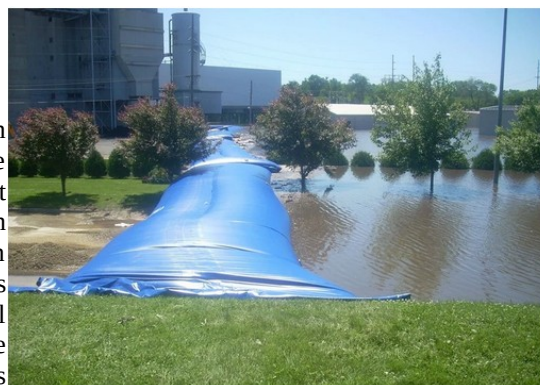


Figure 25: Fonctionnement du dispositif Aqua-Barrier retenant une inondation

D'autres systèmes innovants existent mais la plupart des systèmes comme des maisons flottantes ou des murs de protection anti-inondation sont réservés à la protection des habitations et n'ont pas trop d'impact vis-à-vis du réseau.

3. Interconnexion et sectorisation

L'interconnexion des réseaux consiste à réaliser un maillage pour favoriser l'approvisionnement en eau venant d'une autre source ou d'un réseau. Ce maillage apporte de la redondance et de la flexibilité au réseau. Cette stratégie permet alors d'avoir une ressource secondaire dans le cas d'une panne de la ressource principale. Elle permet aussi d'assurer une qualité de service tant sur l'approvisionnement que sur l'optimisation du rendement. Il faut néanmoins prêter attention à ne pas augmenter la vulnérabilité du système avec cette stratégie.

- La sectorisation, un enjeu de qualité et de sécurité

En effet, l'un des aspects majeurs de la sectorisation consiste à créer des secteurs dans un même réseau. Le gestionnaire peut ainsi créer des secteurs dit « fermés » avec une unique entrée et une seule sortie. Grâce à l'instrumentalisation, il est alors possible de mesurer les débits en entrée et en sortie pour évaluer les pertes sur les réseaux. Pour réaliser ces opérations, il est alors conseillé de mettre en place des clapets motorisés qui permettront l'obstruction d'une partie du réseau pour pouvoir évaluer sa conformité avec la présence ou non de fuites [117] [118]. Cette stratégie est alors très efficace pour repérer les éventuelles fuites sur le réseau survenu après l'impact d'un aléa. Il sera alors intéressant de prévoir un protocole de recherche de fuite suite à la survenue d'un risque affectant le réseau. Dans le même temps, il sera aussi intéressant de cartographier le réseau en cas de doute sur le linéaire étudié. La connaissance du réseau n'en sera que plus renforcée. Cette méthode de sectorisation peut s'avérer pratique pendant la période de crise. En effet, si une rupture évidente de réseau se produit, les gestionnaires seront à même d'isoler le secteur touché pour limiter les dommages au réseau. Cette opération pourrait alors être soumise au gestionnaire dans des plans d'urgence en cas de survenue de crise.

Le PPRI de Paris impose aujourd'hui que « les réseaux d'électricité, de gaz, de chauffage central, d'eau (eau potable et eau chaude sanitaire) et de téléphone doivent être organisés de manière à permettre d'isoler les circuits alimentant les niveaux inondés et à maintenir la distribution de ces fluides pour les logements et pour les équipements de sécurité des immeubles » [68].

Cette sectorisation est possible grâce à la mise en place de clapets, de vannes ainsi qu'à la possibilité de verrouillage des tampons d'assainissement.

- Réaliser des interconnexions avec d'autres réseaux en temps de paix et en temps de crise

L'interconnexion est tout d'abord différente de la sectorisation. En effet, là où la sectorisation incite à fragmenter le réseau en plusieurs « quartiers » pour évaluer la qualité, l'interconnexion incite au partage de la ressource entre les différents réseaux existants. Elle permet ainsi d'assurer la sécurité d'approvisionnement tout en laissant possible une régulation des ressources mises à disposition. Les ressources sollicitées peuvent alors l'être moins durant des périodes calmes et ainsi éviter une surproduction inutile. En période de crise, l'interconnexion permet d'avoir plusieurs possibilités de ressources au cas où l'une d'elle viendrait à être endommagée.

Les communes qui voient leur population s'accroître rapidement sur des périodes de l'année précises peuvent mettre en place une stratégie d'interconnexion pour assurer une forte demande dans ces périodes. En métropole, les communes situées sur le littoral sont soumises à cette situation de multiplication de la population en période estivale, ce qui peut conduire à des difficultés sur ces périodes de forte demande. Les interconnexions sont donc un moyen d'entraide entre les différents gestionnaires pour surmonter certaines crises, notamment pendant un épisode de sécheresse.

Pour les cas d'interconnexion en temps de crise, il peut y avoir deux options. La première option est que le réseau voisin n'est sollicité qu'en cas de problème. Il faudra alors mettre en place des vérifications régulières dans les grands temps d'inaction pour assurer sa capacité de fonctionnement en cas de besoin.

La ville de Saintes a par exemple mis en place une interconnexion avec la commune de Saint-Agnant qui se situe à 35 km. Ce réseau secondaire est disponible uniquement en cas de besoin sur le réseau de la ville de Saintes. Si l'apparition d'un risque arrive et que ce réseau supplémentaire est sollicité par la ville de Saintes, les ressources de Saint-Agnant en seront temporellement diminuées. En effet, la connexion entre les deux villes n'implique pas une augmentation de production de Saint-Agnant en cas de besoin [68].

La deuxième option implique que les réseaux reliés soient toujours en échange permanent avec ici une surproduction possible en cas de défaillances chez l'un des deux systèmes. Cette méthode s'apparente plus à de la diversification et sera détaillée par la suite.

- Améliorer les connexions dans son propre réseau.

L'interconnexion passe aussi par un meilleur maillage du réseau actuel. Il est ainsi primordial de pouvoir assurer plusieurs possibilités d'accès à l'eau avec une augmentation de la redondance sur le réseau. Cela rejoint la méthode de sectorisation car quand un secteur doit être isolé, il faut dans le même temps continuer d'assurer les usagers si c'est possible par d'autres moyens de distribution. Il est donc préférable de concevoir les réseaux de façon à ce que les cheminements possibles y soient multiples.

Les usagers aussi peuvent aussi prendre part à l'élaboration de cette méthode en se raccordant à plusieurs sources. Cette possibilité est notamment utilisée pour des enjeux sensibles comme ceux des hôpitaux pour assurer une continuité de service en tout temps.

- Interconnexion entre les acteurs

L'interconnexion est aussi un enjeu crucial entre les acteurs. En effet, l'importance de mutualiser les informations et les ressources est de plus en plus présente. Cette interconnexion passe surtout par le partage en cas de crise. Ces échanges doivent donc être pensés en amont pour fluidifier les processus de mises en commun et ainsi permettre une continuité de service et améliorer la rapidité de rétablissement des systèmes.

« Suite à l'ouragan Sandy qui a touché la côte est des États-Unis en 2012, et au vu des défaillances constatées chez chacun d'entre eux, les opérateurs de téléphonie mobile ont mutualisé leurs installations pour ne faire plus qu'un réseau, le temps d'effectuer leurs réparations respectives. Cela a permis de maintenir un service minimum auprès des usagers : quel que soit son opérateur, la communication d'un usager était traitée par les éléments de réseaux disponibles, potentiellement gérés par des opérateurs différents. » [Guide CEPRI] [68]. Cet exemple avec les réseaux téléphoniques pourrait très bien être transposé entre les différents acteurs de l'eau.

En phase de réduction de la vulnérabilité, les acteurs peuvent mettre en place des protocoles d'entraide pour articuler la préparation à une crise. Ce plan pourrait alors prendre la forme de consigne pour savoir quoi faire en cas de crise pour les secteurs reliés en interconnexion inter-réseau d'eau et possiblement avec les fournisseurs tiers concernés (réseau électrique, gaz, etc.).

Cette interconnexion entre les acteurs ne doit pas comprendre uniquement les gestionnaires mais aussi les usagers et les associations pouvant aider à la préparation de dispositif comme le regroupement d'associations Union National des Associations de Lutte Contre les Inondations (UNALCI) [119].

4. Diversification

Le terme de diversification a d'abord été introduit par les économistes pour diversifier les investissements, réduire les risques et avoir de meilleurs bénéfices. Ce terme est aujourd'hui utilisé dans plusieurs secteurs d'activité comme la biologie la gestion de l'eau [120] et du risque [91]. Nous allons voir que ce terme peut donc aussi bien correspondre à la diversification des moyens de protection et de réduction de la vulnérabilité mais aussi à la diversification des ressources.

- Diversifier la ressource

La diversification de la ressource en eau n'est pas récente. En effet, Pétra était une ville troglodyte dans l'actuelle Jordanie qui exploitait déjà plusieurs sources pour pouvoir alimenter toute la ville. Elle avait des systèmes de conduites en argile qui lui permettait d'utiliser la production d'au moins huit sources naturelles. De plus, la ville avait déjà des systèmes de réservoirs et de barrages [121]. À travers ce premier exemple, on comprend bien que l'accès à plusieurs types de ressource en eau peut permettre à une ville de se développer tout en pourvoyant à la demande en eau.

Aujourd'hui, la diversification de la ressource est devenue un enjeu majeur du développement des systèmes d'adduction en eau potable. On dénombre trois formes de la diversification de la ressource. La première est la diversification horizontale, elle consiste à étendre l'accès aux sources déjà présentes aux populations alentours. La seconde est la diversification verticale, elle consiste à améliorer l'approvisionnement en eau par des sous-systèmes individuels. Cette forme de diversification tend à développer les systèmes personnels comme les puits ou les réservoirs. La dernière forme est appelée concentrique, elle va inciter à englober de nouvelles sources et va favoriser la sectorisation qui a été abordée précédemment [120].

La Martinique est touchée par des événements de sécheresse qui réduisent considérablement les débits des cours d'eau. Or 94 % de la ressource en eau potable provient des rivières [122]. L'Opérateur ODISSY du CACEM affirme donc « avoir mis en place des mesures afin d'améliorer la distribution de l'eau sur son territoire » [123].

Cette stratégie permet une sûreté de la ressource et renforce la continuité du service. Elle implique donc une cohésion importante de la part des différents acteurs et des différents responsables de chaque ressource. Cette stratégie va cependant nécessiter plus d'entretien à cause de la complication du système.

La ville de Lyon a par exemple réalisé des sources d'approvisionnements secondaires en cas de défaillances de son réseau principale ou de pollution du Rhône. C'est donc un captage de nappe à l'est de la ville et un captage provenant d'un lac avec une station de traitement qui peuvent être amenés à assurer la continuité de service en cas de défaillances sur la métropole [68].

- Diversifier les exutoires

Les exutoires de réseaux ne doivent pas non plus être oubliés. Sur le réseau d'assainissement il est possible de diversifier les exutoires en les multipliant plutôt que d'avoir des sorties uniques. La mise en place de plusieurs STEP peut donc s'avérer avantageux dans le cas où un risque est possible de survenir sur une STEP principale. Ces aménagements et les

investissements qui les accompagnent sont donc très lourds. De plus, c'est tout le réseau d'assainissement qui doit être revu pour séparer les flux vers toutes les STEP créées [68].

- Diversifier les moyens de protections

Plusieurs études ont montré que la diversification des actions de prévention engendre une réduction du risque global. De plus, avec les problématiques liées au changement climatique comme la montée du niveau de la mer, les autorités organisatrices veulent s'assurer que les travaux engagés pourront être efficaces sur un long terme.







En prenant l'exemple des Pays-Bas, on remarque à quel point cette stratégie de multiplier les systèmes de protection et donc d'améliorer la résilience est importante. En effet, le territoire des Pays-Bas est pour la moitié en dessous du niveau de la mer. Cela le rend très sensible aux phénomènes de submersion et de crue. Ces phénomènes sont d'autant plus préoccupants que la montée du niveau de la mer inquiète les autorités. Pour se protéger face aux aléas, le pays a construit 95 ensembles de digues. Chaque digue a son propre niveau de protection décrit par plusieurs normes internes au pays. L'étude s'intéresse à l'amélioration de la protection d'une zone entourée par des digues. Il y a alors quatre types de protection supplémentaires que les autorités organisatrices peuvent mettre en place Il y a tout d'abord le renforcement d'une digue (stratégie de robustesse), la division des ensembles en plusieurs compartiments (sectorisation), l'amélioration de la résilience des particuliers (robustesse), la création d'une zone de rétention (évitement). L'étude [91] montre qu'avec les quatre types de protections combinés, les risques encourus par les territoires protégés sont grandement diminués. De plus, les résultats obtenus montrent qu'une combinaison d'au moins trois types de protection permettrait d'obtenir un niveau de protection suffisant et ainsi avoir un retour sur investissement correct. Grâce à cette combinaison de solutions, les objectifs fixés peuvent être atteints et les autorités peuvent investir avec des risques faibles.

Dans la ville de Bangkok, qui se trouve dans une zone inondable, les entrées des métros ont été surélevées pour éviter l'intrusion d'eau. Cet aménagement d'évitement a été complété par des systèmes de protection contre les pluies intenses ainsi que par des pompes de drainage (stratégie de robustesse). Pendant les inondations de 2011, malgré la fermeture des routes et de l'aéroport, les lignes de métro pouvaient continuer de fonctionner [124].

Il est donc important de combiner les mesures de protection décrites dans ce rapport pour diminuer le plus possible le risque et ainsi avoir un retour sur investissement correct et un réseau résilient.

III. Conclusion

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des aléas potentiels sur les territoires de l'étude

	Pluies intenses 	Vagues submersives 	Cyclones 	Séismes 	Mouvement de terrain 	Sécheresse 
Guadeloupe	++	++	++	++	++	+
Martinique	++	++	++	++	++	+
Saint-Martin	++	++	++	++	++	+
Guyane	++	++	-	-	++	++
Mayotte	++	++	+	+	++	+
La réunion	++	++	+	+	++	+

Tout d'abord, on peut remarquer que trois groupes de territoire ont des risques similaires face à certains aléas. Les Antilles sont ainsi particulièrement touchées par les six aléas de l'étude quant à Mayotte et la Réunion, ces îles sont moins sensibles à la présence des cyclones et des séismes (si on exclut les essaims de séisme à Mayotte). La Guyane n'est pas majoritairement impactée par la présence des séismes ou des cyclones. Néanmoins, elle reste le territoire où la sécheresse est la plus impactante pour le réseau d'eau potable avec la remontée du biseau salé.

Cette variabilité dans l'espace montre qu'il n'y aurait donc pas de solution unique à appliquer à tous les territoires. En effet, la notion de résilience est aussi liée aux financements disponibles et au retour sur investissement qu'une mesure de protection pourrait apporter. Il ne serait donc pas judicieux de mettre en œuvre des mesures préventives pour des risques à très faibles taux d'incidence.

Ensuite, les aléas rencontrés sur chaque territoire peuvent apparaître de différentes façons. En reprenant l'exemple de la Réunion, l'un des principaux impacts de la sécheresse est la remontée du biseau salé alors que dans les autres territoires, les problématiques liées aux feux de broussailles sont plus impactantes. A Saint-Martin, toute la partie ouest de l'île est placée sur un banc sableux. Cette zone de l'île est particulièrement vulnérable aux inondations par submersion marine ainsi qu'aux mouvements de terrain avec l'érosion et le recul du trait côte. Cette vulnérabilité n'est pas la même sur tout le territoire de Saint-Martin en particulier sur les zones de falaises.

De plus, les mesures de prévention ne sont pas toujours applicables sur tous les territoires. Les types de sols que l'on retrouve dans ces régions ne sont pas toujours identiques. Les solutions fondées sur la nature avec des principes d'infiltrations ne pourront donc pas fonctionner avec la même efficacité sur tous les territoires. Les problématiques extérieures ne sont également pas toujours les mêmes. Le manque d'espace, induit par une urbanisation forte sur le littoral, limite aussi la mise en œuvre des déplacements des ouvrages ou la construction de nouveaux systèmes. Les moyens à mettre en œuvre et les difficultés techniques freinent la prévention ; celle-ci ne reste bien souvent pas une priorité pour certains corps décisionnaires.

La meilleure prévention des risques reste finalement d'apporter des solutions complètes en lien avec les problématiques du territoire avec une approche basée sur les stratégies évoquées dans ce rapport. La diversification des mesures de toutes les stratégies est ainsi un moyen de prendre en charge les différentes problématiques liées aux risques naturels.

Pour finir, il ne faut pas oublier que cette partie de la gestion du risque n'est que la première base à consolider pour faciliter la mise en place d'une gestion de crise efficace et ainsi accélérer la reconstruction de manière plus durable.

Bibliographie

- [1] V. Tokakis, P. Polychroniou, et G. Boustras, « Crisis management in public administration: The three phases model for safety incidents », *Safety Science*, vol. 113, p. 37-43, mars 2019, doi: 10.1016/j.ssci.2018.11.013.
- [2] W. T. Coombs, *Ongoing Crisis Communication: Planning, Managing, and Responding*. SAGE Publications, 2014.
- [3] Assemblée générale des Nations Unies, « Rapport du groupe de travail intergouvernemental d'experts à composition non limitée chargé des indicateurs et de la terminologie relatifs à la réduction des risques de catastrophe », p. 26, 1er decembre 2016
- [4] Collectivité de Saint-Martin, « Docuent d'Information Territorial sur les Risques Majeurs ». p. 42, Consulté le: août 09, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.com-saint-martin.fr/ressources/DOCUMENT-DITRIM-Fr.pdf>
- [5] BRGM, « Dossier Départemental des Risques Majeus (DDRM) de Mayotte »,p. 163, mai 2010, Consulté le: août 09, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.mayotte.gouv.fr/content/download/10952/82614/file/DDRM.pdf>
- [6] Prefecture de la Martinique, « Dossier Départemental des risques Majeurs en Martinique (972) »,p.131, édition 2014, Consulté le: août 06, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.martinique.gouv.fr/content/download/9321/73171/file/DDRM%20972_20%20janvier%202014.pdf
- [7] BRGM, « Dossier Départemental des Risques Majeurs de la Réunion », p. 124, Juillet 2016, Consulté le: août 08, 2021. [En ligne]. Disponible sur: http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/ddrm_final_v11f_decembre2016_signe_basse_definition.pdf
- [8] DEAL Guyane, « Dossier Départeemental des Risques Majeurs », p. 124, Décembre 2015 Consulté le: août 07, 2021. [En ligne]. Disponible sur: http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ddrm_guyane_dec2015_bdef-2.pdf
- [9] DEAL Guadeloupe, « Dossier Départeemental des Risques Majeurs en Guadeloupe», p. 112, Edition 2014, Consulté le: août 05, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.guadeloupe.gouv.fr/content/download/4272/23912/file/2291%20DDRM%20BD_diffusion.pdf
- [10] « Pluies intenses : définition, dangers, pluies cévenoles - Météo-France ». <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/phenomenes-meteo/les-pluies-intenses#> (consulté le août 10, 2021).
- [11] « Pluies extrêmes en France Métropolitaine - Bienvenue sur le site des pluies extrêmes sur la France métropolitaine ». <http://pluiesextremes.meteo.fr/> (consulté le août 10, 2021).
- [12] Meteo France« APIC et Vigicrues Flash au bénéfice des maires et de leurs services », p. 8, mars 2017, Consulté le: août 10, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.symcea.fr/wp-content/uploads/doc_mairie_APIC.pdf
- [13] CEPRI, « Les guides CEPRI: Les collectivits territoriales face aux risques littoraux, Elaborer et mettre en oeuvre une stratégie de réduction du risque de submersion marine », p. 96, Aout 2016
- [14] CEREMA, « CANDHIS - Accueil ». <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/> (consulté le août 10, 2021).
- [15] Office de l'eau Guadeloupe & Observatoire de la Guadeloupe, « Eau et assainissement les chiffres clés », p.60, 2020, Consulté le: août 04, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.guadeloupe.gouv.fr/content/download/21936/135803/file/chiffres%20cles%202020.pdf>
- [16] Eddy Renaud, IRSTEA, « Expertise “eau potable en Guadeloupe”, Rapport intermédiaire, Expertise des fiches projets du plan d'urgence »,p. 27, juin 2018
- [17] Aude COMTE, Guillaume STEERS, « Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondation, Dstrict de la Guadeloupe », p. 104, janvier 2012, Consulté le: août 05, 2021. [En ligne]. Disponible sur: http://www.guadeloupe.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/EPRI_Guadeloupe_-_Janvier_2012.pdf
- [18] Meteo France« ÉVOLUTION DU RISQUE CYCLONIQUEEN OUTRE-MER À HORIZON 2050 », p. 20, février 2020, Consulté le: août 05, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-37190-etude-risque-cyclone-outr-mer.pdf>
- [19] DEAL Guadeloupe et Préfecture de la région Guadeloupe, « arrete du 01-06-2021 portant restrictions provisoires en matiere d'usages de l'eau »,p.6, 1er juin 2021, Consulté le: août 05, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.guadeloupe.gouv.fr/content/download/23515/145017/file/arrete_du_01-06-2021_portant_restrictions_provisaires_en_matiere_d_usages_de_l_eau.pdf
- [20] « Martinique - géographie », *Service d'Information du Gouvernement*, nov. 21, 2016. <https://outr-mer.gouv.fr/martinique-geographie> (consulté le août 06, 2021).

- [21] « Les chiffres de l'eau potable en Martinique », 21 juin 2021, *Observatoire de l'Eau - Martinique*. <https://www.observatoire-eau-martinique.fr/services-d-eau-potable-et-d-assainissement/eau-potable/les-chiffres-de-l-eau-potable-en-martinique> (consulté le août 06, 2021).
- [22] *Observatoire de l'Eau - Martinique* « Gestion du service public d'eau potable », 21 juin 2021, <https://www.observatoire-eau-martinique.fr/services-d-eau-potable-et-d-assainissement/eau-potable/gestion-du-service-public-d-eau-potable> (consulté le août 06, 2021).
- [23] MM Koller, AV Barras, Ph Stolisteiner, BRGM, « Caractérisation et cartographie des zones inondées dans les bourgs impactés (Côte Atlantique et Centre Martinique) par l'épisode pluvieux du 5 mai 2009 », p. 166, janvier 2010
- [24] A.-V. Barras, L. Vanoudheusden, B. L. Moigne, et E. Bayle, « Mots clés : inondation, mouvement de terrain, glissement de terrain, éboulement, coulées boueuses, CATNAT, intempéries, Martinique, Antilles, Outre-mer. », p. 362, décembre 2010.
- [25] Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, « L'évaluation préliminaire des risques d'inondation 2011 », p.145, Consulté le: août 06, 2021. [En ligne]. Disponible sur: http://www.martinique.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2EPRI_972_validee_AP2012-072-0001_120312_bis_cle5a81ec-1.pdf
- [26] DROM COM, « Présentation de la Guyane Française », 11 août 2017, <https://www.drom-com.fr/categories/presentation-generale-11314/articles/presentation-de-la-guyane-francaise-1.htm> (consulté le août 07, 2021).
- [27] Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, « L'évaluation préliminaire des risques d'inondation 2011, Bassin Guyane », p. 111, 8 mai 2012 Consulté le: août 07, 2021. [En ligne]. Disponible sur: http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/EPRI_OO_dhFRK973-avril_2012.pdf
- [28] Office de l'Eau de la Guyane « Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, SDAGE 2016-2021 Bassin Guyane », p. 144, validé le 24 novembre 2015, Consulté le: août 07, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <http://eauguyane.fr/images/pdf-page/SDAGE-Guyane-2016-2021.pdf>
- [29] Ministère de la Transition écologique et solidaire, « Addendum 2018 à l'évaluation préliminaire des risques d'inondation 2011, Bassin Guyane », p. 22, Consulté le: août 07, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/addendum-epri-final-2.pdf>
- [30] Prefecture de la Région Guyane, « Arrêté de mise en oeuvre des mesures de police sur le site du Mont Baduel à Cayenne », p.2, 18 octobre 2016, Consulté le: août 07, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.guyane.gouv.fr/content/download/9412/65888/file/Arr%C3%AAt%C3%A9%20de%20mise%20en%20oeuvre%20des%20mesures%20de%20police%20sur%20le%20site%20du%20Mont%20Baduel%20%C3%A0%20Cayenne.pdf>
- [31] Ministère des Outre-Mer, « La Réunion », *Service d'Information du Gouvernement*, 29 novembre 2016. <https://outre-mer.gouv.fr/la-reunion> (consulté le août 08, 2021).
- [32] Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, « L'évaluation préliminaire des risques d'inondation 2011, Bassin Réunion », p.60, Consulté le: août 08, 2021. [En ligne]. Disponible sur: http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/epri_complet_web.pdf
- [33] Office de l'eau Réunion « Chronique de l'eau Réunion n°112 », p.22, 2 avril 2020, Consulté le: août 08, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.eaureunion.fr/fileadmin/user_upload/Chroniques/2020/20.04.02_CHRONIQUES_de_L_EAU_112.pdf
- [34] B. Aunay, S. Bès de Berc, E. Chateauminois, A. Rey, L. Schuller, G. Thirard, C. Vincent, BRGM « Rapport d'expertise: Impacts du cyclone Bejisa sur l'île de la Réunion », p. 118, Janvier 2014
- [35] Ministère des Outre-Mer « Mayotte - Géographie & climat », *Service d'Information du Gouvernement*, 25 novembre 2016. <https://outre-mer.gouv.fr/mayotte-geographie-climat> (consulté le août 08, 2021).
- [36] « EPRI 1er cycle DI.pdf ». Consulté le: août 08, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.mayotte.gouv.fr/content/download/16572/126790/file/EPRI%201er%20cycle%20DI.pdf>
- [37] Agence Régionale de Santé Mayotte, « Qualité des eaux d'alimentation dans département de Mayotte, Bilan de l'année 2019 », p.28, Consulté le: août 08, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.mayotte.ars.sante.fr/system/files/2020-07/Bilan%20EDCH%20institutionnel%202019%20v.2%20MR.pdf>
- [38] Météo France - Pluies Extrêmes « 2014 Hellen - Pluies extrêmes à Mayotte », 29 mars 2014, <http://pluiesextremes.meteo.fr/mayotte/2014-Hellen.html> (consulté le août 09, 2021).
- [39] Antoine Faure, Médiaterre « Mayotte : une nouvelle gestion durable de l'eau ». <https://www.mediaterre.org/actu,20200820203156,7.html> (consulté le août 09, 2021).

- [40] INSEE « INSEE Flash Guadeloupe Antilles-Guyane, Recensement de la population en Guadeloupe », p.2, décembre 2020
- [41] Collectivité d'Outre-mer de Saint-Martin, « Révision du plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN), Révision de l'aléa cyclonique », p. 102, juin 2019, Consulté le: août 09, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.saint-barth-saint-martin.gouv.fr/content/download/6601/37372/file/Notice-PPRN-R%C3%A9vision-Saint-Martin.pdf>
- [42] « EEASM - Etablissement des Eaux et de l'Assainissement de Saint Martin - Antilles Françaises ». <http://www.eeasm.org/> (consulté le août 09, 2021).
- [43] Y. Funabashi et K. Kitazawa, « Fukushima in review: A complex disaster, a disastrous response », *Bulletin of the Atomic Scientists*, vol. 68, n° 2, p. 9-21, mars 2012, doi: 10.1177/0096340212440359.
- [44] M. Miyajima, « Damage Analysis of Water Supply Facilities in the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami », p. 9.
- [45] Cabinet Office « White paper Disaster Management in Japan », p. 238, 2019
- [46] Tokyo Climate Center, Japan Meteorological Agency « Primary Factors behind the Heavy Rain Event of July 2018 and the Subsequent Heatwave in Japan from Mid-July Onward », p.24, 22 août 2018 Consulté le: mai 16, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/news/press_20180822.pdf
- [47] « Avant Irma, ces ouragans qui ont dévasté les Antilles françaises », *SudOuest.fr*. <https://www.sudouest.fr/2017/09/09/avant-irma-ces-cyclones-qui-ont-devastes-les-antilles-francaises-3759320-5022.php> (consulté le mai 18, 2021).
- [48] Météo France « Tempêtes remarquables en France - Tempêtes en France métropolitaine ». <http://tempestes.meteo.fr/spip.php?article195> (consulté le mai 18, 2021).
- [49] T. Rey *et al.*, « Coastal Processes and Influence on Damage to Urban Structures during Hurricane Irma (St-Martin & St-Barthélemy, French West Indies) », *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 7, n° 7, Art. n° 7, juill. 2019, doi: 10.3390/jmse7070215.
- [50] « EEASM - Saint-Martin Reconstruction ». <http://www.eeasm.org/actualite/irma-reconstruction/documentation-eeasm.html> (consulté le mai 20, 2021).
- [51] PREFET DE LA REGION GUADELOUPE « Passage du cyclone IRMA - Point de situation à 5h », p. 1, 6 septembre 2017, Consulté le: mai 20, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.guadeloupe.gouv.fr/content/download/12970/87396/file/06092017%20CP%20point%20de%20situation.pdf>
- [52] J. Desarthe, « Ouragans et submersions dans les Antilles françaises (xviii - xxe siècle) », *Études caribéennes*, n° 29, Art. n° 29, mars 2015, doi: 10.4000/etudescaribeennes.7176.
- [53] S. M. Rinaldi, J. P. Peerenboom, et T. K. Kelly, « Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies », *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 21, n° 6, p. 11-25, déc. 2001, doi: 10.1109/37.969131.
- [54] M. Toubin, Y. Diab, R. Laganier, et D. Serre, « Les conditions de la résilience des services urbains parisiens par l'apprentissage collectif autour des interdépendances », *vertigo*, n° Volume 13 Numéro 3, déc. 2013, doi: 10.4000/vertigo.14568.
- [55] « IRMA, 1 an après Bilan de l'action de l'État », p. 22, 6 septembre 2018, Consulté le: juin 08, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2018/09/dp_irma_-_bilan_1_an.pdf
- [56] R. Der Sarkissian, A. Dabaj, Y. Diab, et M. Vuillet, « Evaluating the Implementation of the "Build-Back-Better" Concept for Critical Infrastructure Systems: Lessons from Saint-Martin's Island Following Hurricane Irma », *Sustainability*, vol. 13, n° 6, Art. n° 6, janv. 2021, doi: 10.3390/su13063133.
- [57] « Les conséquences de l'ouragan Irma sur l'accès à l'eau potable à Saint-Martin et Saint-Barthélemy », *eau-nature.fr*, sept. 17, 2017. <https://www.eau-nature.fr/les-consequences-de-louragan-irma-sur-laces-a-leau-potable-a-saint-martin-et-saint-barthelemy/> (consulté le juin 08, 2021).
- [58] C. Wamsler et E. Brink, « The urban domino effect: a conceptualization of cities' interconnectedness of risk », *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, vol. 7, n° 2, p. 80-113, janv. 2016, doi: 10.1108/IJDRBE-01-2015-0001.
- [59] M. Desse, « Les villes de la Caraïbe et la mer », *Études Caribéennes*, n° 2, p. 51-67, 2005.
- [60] V. Cozzani, G. Gubinelli, G. Antonioni, G. Spadoni, et S. Zanelli, « The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis », *Journal of Hazardous Materials*, vol. 127, n° 1, p. 14-30, déc. 2005, doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.07.003.
- [61] Commission Européenne « RAPPORT DE LA COMMISSION Rapport sur l'application dans les États membres de la directive 96/82/CE concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances

- dangereuses, pour la période 2012-2014 », 16 novembre 2017, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=COM:2017:665:FIN> (consulté le juin 10, 2021).
- [62] « Directive n° 2012/18/UE du 04/07/12 concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses, modifiant puis abrogeant la directive 96/82/CE du Conseil | AIDA ». https://aida.ineris.fr/consultation_document/489 (consulté le juin 10, 2021).
- [63] T. Fagiani, « Saint-Martin après Irma », p. 5, 5 octobre 2018, HAL archives-ouvertes
- [64] Office de l'eau Guadeloupe « Eau et assainissement - les chiffres clés publication 2020 Guadeloupe », p.60
- [65] A. Schmitt et M. Metz, « Note sur la situation de l'eau potable et de l'assainissement en Guyane et le positionnement du Plan eau DOM dans ce territoire », p. 18.
- [66] Office de l'eau Guadeloupe « Eau et assainissement - les chiffres clés publication 2018 Guadeloupe », p. 64, Consulté le: juin 29, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.regionguadeloupe.fr/fileadmin/Site_Region_Guadeloupe/actus/actus_du_conseil/Chiffres_Cles_final_Rouge_BasDef_V3.pdf
- [67] Mme Françoise Dumont « RAPPORTFAIT au nom de la commission des lois constitutionnelles, de législation, du suffrage universel, du Règlement et d'administration générale (1) sur la proposition de loi, adoptée par l'Assemblée nationale après engagement de la procédure accélérée, rénovant la gouvernance du service public d'eau potable et d'assainissement en Guadeloupe », p.57, 2 mars 2021, Sénat n°394, Consulté le: juill. 03, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.senat.fr/rap/120-394/120-3941.pdf>
- [68] Les guides CEPRI « Le territoire et ses réseaux techniques face au risque d'inondation », p. 88, janvier 2016 Consulté le: juin 27, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.cepri.net/tl_files/Guides%20CEPRI/13_guide_reseau-BQ.pdf
- [69] R. Munoz, « EmergenciesWaterSupply », p. 100.
- [70] Prefecture du Nord « Un outil : le Plan de Prévention des Risques (PPR)». <https://www.nord.gouv.fr/Politiques-publiques/Prevention-des-risques-naturels-technologiques-et-miniers/Informations-generales-sur-les-risques/La-prevention-des-risques/En-quoi-consiste-la-prevention-des-risques/Un-outil-le-Plan-de-Prevention-des-Risques-PPR> (consulté le juill. 06, 2021).
- [71] « DIRECTIVE (UE) 2020/2184 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 16 décembre 2020 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (refonte) », p. 62, 23 decembre 2020, Journal officiel de l'Union européenne, Consulté le: août 03, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184&rid=1>
- [72] « Les conséquences de la récente refonte de la Directive cadre sur l'Eau », *CD2E*, févr. 22, 2021. <https://cd2e.com/actualites/consequences-refonte-directive-cadre-eau/> (consulté le août 03, 2021).
- [73] MINISTÈRE DES SOLIDARITÉS ET DE LA SANTÉ « Note d'information no DGS/EA4/2018/9 du 9 janvier 2018 relative aux plans de gestion de la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine », p.16, 15 avril 2018, Consulté le: juill. 06, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://solidarites-sante.gouv.fr/fichiers/bo/2018/18-03/ste_20180003_0000_0088.pdf
- [74] CEREMA, "*Réduire la vulnérabilité des territoires aux inondations: premiers exemples de réalisations*", p. 60, 2018
- [75] DGPR, Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie « Stratégie nationale de gestion des risques inondations », p.24, 2014
- [76] Ministère de la Transition écologique « Prévention des inondations », 27 janvier 2021, <https://www.ecologie.gouv.fr/prevention-des-inondations> (consulté le juill. 06, 2021).
- [77] DGPR, « Plans de Gestion des Risques d'Inondation à l'échelle du district : des TRI aux stratégies locales », p.45, Aout 2013
- [78] DREAL Grand Est « Territoires à risques importants d'inondation (TRI) ». <http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/territoires-a-risques-importants-d-inondation-tri-r6724.html> (consulté le juill. 06, 2021).
- [79] Géorisques « Plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN) ». <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire/plan-de-prevention-des-risques-naturels-previsibles-pprn-0> (consulté le juill. 06, 2021).
- [80] « Accueil visiteurs - Le Plan Séisme ». <http://www.planseisme.fr/-Accueil-visiteurs-.html> (consulté le juill. 06, 2021).
- [81] Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et le Ministère des Outre-mer« Plan séisme Antilles Horizon 2020, Objectifs de la deuxième phase (2016-2020) », p.20, Juillet 2016
- [82] Ministère de la Transition écologique « Mouvements de terrain », . <https://www.ecologie.gouv.fr/mouvements-terrain> (consulté le juill. 06, 2021).
- [83] Ministère de la Transition écologique et solidaire « Bilan Plan National - Prévention du risque d'effondrement de cavités souterraines 2013 - 2015», octobre 2017

- [84] Prefet de la Haute-Garonne « PPR Sécheresse », p. 22 aout 2019, <https://www.haute-garonne.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-eau-risques-naturels-et-technologiques/Risques-naturels/Plans-de-Prevention-des-Risques-Naturels-Majeurs-PPRN/PPR-Secheresse> (consulté le juill. 06, 2021).
- [85] « SÉCHERESSE », *Gouvernement.fr*. <https://www.gouvernement.fr/risques/secheresse> (consulté le juill. 06, 2021).
- [86] « Qu'est-ce qu'un SDAGE ? | Gest'eau ». <https://www.gesteau.fr/presentation/sdage> (consulté le juill. 06, 2021).
- [87] « Qu'est-ce qu'un SAGE ? | Gest'eau ». <https://www.gesteau.fr/presentation/sage> (consulté le juill. 06, 2021).
- [88] F. Haessig, « Qui est responsable de l'élaboration et du suivi du PAOT ? », p. 6, 2016.
- [89] CEPRI, Les guides du CEPRI « Gérer les inondations par ruissellement pluvial Guide de sensibilisation », p.92, octobre 2014
- [90] OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE « Des solutions fondées sur la nature pour s'adapter au changement climatique. Rapport au Premier ministre et au Parlement », p. 306, 2019, Documentation française
- [91] J. C. J. H. Aerts, W. Botzen, A. van der Veen, J. Krywkow, et S. Werners, « Dealing with Uncertainty in Flood Management Through Diversification », *E&S*, vol. 13, n° 1, p. art41, 2008, doi: 10.5751/ES-02348-130141.
- [92] Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, *Les outre-mer face au défi du changement climatique: rapport au Premier ministre et au Parlement*, p.218, 2013, ISBN : 978-2-11-009128-4
- [93] F. Pagney Benito-Espital « Vivre avec les aléas climatiques dans les Départements Français d'Amérique », p. 22.
- [94] J. E. Kharraz, A. El-Sadek, N. Ghaffour, et E. Mino, « Water scarcity and drought in WANA countries », *Procedia Engineering*, vol. 33, p. 14-29, 2012, doi: 10.1016/j.proeng.2012.01.1172.
- [95] N. Dörfliker, B. Augéard, et Office national de l'eau et des milieux aquatiques (France), *Quels outils pour caractériser l'intrusion saline et l'impact potentiel du niveau marin sur les aquifères littoraux?* Vincennes: ONEMA, 2013.
- [96] Dörfliker N., Dumon A., Aunay B., Arnaud L., BRGM « Influence de la montée du niveau de la mer sur le biseau salin des aquifères côtiers des DROM/COM - Rapport Intermédiaire », p.127, janvier 2011,
- [97] « Saur développe une solution de surveillance en continu de la ressource », *Revue EIN*, sept. 02, 2016. <https://www.revue-ein.com/actualite/saur-developpe-une-solution-de-surveillance-en-continu-de-la-ressource> (consulté le juin 15, 2021).
- [98] « Protection des captages, de la ressource en eau potable, Saur et ImaGeau », *Saur : l'entreprise dédiée aux services de l'eau*, juill. 06, 2016. <https://www.saur.com/ecoterritoire/saur-imageau-sassocient-protection-de-ressource-eau-milieu-littoral/> (consulté le mai 31, 2021).
- [99] K. B. Gedan, M. L. Kirwan, E. Wolanski, E. B. Barbier, et B. R. Silliman, « The present and future role of coastal wetland vegetation in protecting shorelines: answering recent challenges to the paradigm », *Climatic Change*, vol. 106, n° 1, p. 7-29, mai 2011, doi: 10.1007/s10584-010-0003-7.
- [100] F. G. Renaud, T. T. H. Le, C. Lindener, V. T. Guong, et Z. Sebesvari, « Resilience and shifts in agro-ecosystems facing increasing sea-level rise and salinity intrusion in Ben Tre Province, Mekong Delta », *Climatic Change*, vol. 133, n° 1, p. 69-84, nov. 2015, doi: 10.1007/s10584-014-1113-4.
- [101] J. B. Ellis et D. Butler, « Surface water sewer misconnections in England and Wales: Pollution sources and impacts », *Science of The Total Environment*, vol. 526, p. 98-109, sept. 2015, doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.04.042.
- [102] O. Raynaud, C. Joannis, L. Lebouc, et F. Billard, « Une méthodologie pour l'analyse des causes de surverse de réseaux séparatifs d'eaux usées », *TSM*, n° 11, p. 19-26, 2007, doi: 10.1051/tsm/200711019.
- [103] Sylvette Milin, Christophe Le Jallé, Colette Gènevaux, pS-Eau, Programme Solidarité-Eau « Services d'eau et d'assainissement face au changement climatique », p.34, juillet 2016
- [104] « ISO - 91.140.60 - Systèmes de fourniture d'eau ». <https://www.iso.org/fr/ics/91.140.60/x/> (consulté le juill. 01, 2021).
- [105] « ISO - 91.140.80 - Systèmes d'évacuation d'eau ». <https://www.iso.org/fr/ics/91.140.80/x/> (consulté le juill. 01, 2021).
- [106] MTES « GUIDE D'APPLICATION DE LA REGLEMENTATION relative aux travaux à proximité des réseaux - Fascicule 2 GUIDE TECHNIQUE Version 3 », p.234, septembre 2018
- [107] POULAIN Daniel & al « Referentiel technique digues maritimes et fluviales », p.191, janvier 2015, Consulté le: juin 28, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.barrages-cfbr.eu/IMG/pdf/referentiel_technique_digues_maritimes_et_fluviales.pdf
- [108] POULAIN Daniel & al « Referentiel technique digues maritimes et fluviales », p.191, janvier 2015, Consulté le: juin 28, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.barrages-cfbr.eu/IMG/pdf/referentiel_technique_digues_maritimes_et_fluviales.pdf
- [109] ZAID Nabile « Protection de la ville de Ain Trick contre la pollution et les inondations », p. 140, 28 juin 2017

- [110] Philippe Rigo, VNF « catalogue des Batardeaux », p.162, Consulté le: juin 29, 2021. [En ligne]. Disponible sur: [https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/28144/2/15%20catalogue-batardeaux-VNF\(Final\).pdf](https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/28144/2/15%20catalogue-batardeaux-VNF(Final).pdf)
- [111] « Association – AMPRI ». <https://ampri.fr/association> (consulté le juin 29, 2021).
- [112] Montpellier Méditerranée Métropole « Prescription Techniques pour la conception et la réalisation des ouvrages d'eau - Guide Technique de l'eau potable », p. 48, octobre 2014
- [113] J. STERNADEL et M. GERARD, « Galeries multiréseaux. L'expérience de Prague », *Travaux (Paris)*, n° 857, p. 29-38, 2008.
- [114] *Décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles*. 2001.
- [115] É. Desbiens, G. Duquet, C. Moquin « À la recherche des fuites ! », p. 1, juin 2018
- [116] « Inflatable Flood Barrier Video Library | HSI Services », juin 06, 2020. <https://www.hydrologicalsolutions.com/resources/videos/> (consulté le juin 30, 2021).
- [117] H. Armand, I. Stoianov, et N. Graham, « Impact of network sectorisation on water quality management », *Journal of Hydroinformatics*, vol. 20, n° 2, p. 424-439, mars 2018, doi: 10.2166/hydro.2017.072.
- [118] S. Hajebi, « Water Distribution Network Sectorisation », p. 142, aout 2015
- [119] « document.pdf ».
- [120] K. Boryczko et J. Rak, « Method for Assessment of Water Supply Diversification », *Resources*, vol. 9, n° 7, Art. n° 7, juill. 2020, doi: 10.3390/resources9070087.
- [121] C. R. Ortloff, « The Water Supply and Distribution System of the Nabataean City of Petra (Jordan), 300 BC – AD 300 », *CAJ*, vol. 15, n° 1, p. 93-109, avr. 2005, doi: 10.1017/S0959774305000053.
- [122] M. Synapse, « Captages pour l'eau potable », *Observatoire de l'Eau - Martinique*. <https://www.observatoire-eau-martinique.fr/services-d-eau-potable-et-d-assainissement/eau-potable/captages-pour-l-eau-potable> (consulté le mai 30, 2021).
- [123] ODYSSI « Rapport annuel sur le prix et la qualité du service d'eau et d'assainissement », p.82, 2019 Consulté le: mai 30, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.observatoire-eau-martinique.fr/documents/RPQS--ODYSSI-2019.pdf>
- [124] Cabinet Secretariat, Government of Japan Disaster Management Bureau, Cabinet Office, Government of Japan « Guide to disaster management measures (technologies, know-how, infrastructure, institutions etc.) in Japan».
- [125] Sénat « La qualité de l'eau et assainissement en France (annexes)Annexe 6 - LE RUISSELLEMENT DES EAUX DE PLUIE », 24 juin 2021 <https://www.senat.fr/rap/102-215-2/102-215-25.html> (consulté le juin 24, 2021).
- [126] « La France d'outre-mer », p. 2.
- [127] MTES, « Territoires à risque important d'inondation (2e cycle de la directive inondation) », p.1, 7 aout 2019
- [128] Les services de l'État dans l'Ain, « La déclinaison de la directive européenne », janv. 23, 2017. <http://www.ain.gouv.fr/la-declinaison-de-la-directive-europeenne-a4050.html> (consulté le juill. 06, 2021).
- [129] R. D. Sarkissian, M. Vuillet, et J.-M. Cariolet, « Tâche 2.2. Réseaux techniques de Saint-Martin face au passage d'IRMA: retour d'expérience. », p. 87.

Annexes

Annexe 1 :Memento sur les solutions fondées sur la nature

Ce Memento a été élaborée majoritairement à partir des guides CEPRI, du rapport de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique : « *Des Solutions fondées sur la Nature pour s'adapter au changement climatique* » ainsi que du cahier technique de l'agence de l'eau Loire-Bretagne.

- Les noues et les fossés

Les fossés et noues sont des ouvrages linéaires de collecte et/ou de stockage des eaux pluviales et de ruissellement. Ces ouvrages peuvent être implantés en bordure de chaussée, d'un bâtiment ou intégrés dans les espaces verts. Ils sont généralement non étanches, ainsi une partie de l'eau peut être directement infiltrée dans le sol. Les noues et fossés sont généralement végétalisés mais peuvent aussi être traités en habillage minéral (revêtement de galets, gabions...).

Le fossé est généralement destiné à la collecte et à l'évacuation des eaux pluviales. Il peut être assez profond avec des pentes de talus plus ou moins abruptes.

La noue est un fossé large et peu profond, avec des pentes de talus faibles. Son intégration paysagère est plus facile que celle d'un fossé classique.

On distingue deux types de noues ou de fossés :

- Les noues ou fossés d'infiltration : l'évacuation de l'eau se fait par infiltration dans le sol, dans ce cas, on peut parler de rétention/infiltration ;
- Les noues ou fossés de rétention : l'évacuation de l'eau se fait par un exutoire en bout d'ouvrage ou de tronçon d'ouvrage.

La mise en place de noues et de fossés, par exemple, est une solution de traitement et d'évacuation de l'eau de ruissellement pour les surfaces imperméabilisées comme les routes ou les parkings. Ces systèmes rustiques sont simples d'entretien et permettent une gestion de l'eau plus intégrée du petit cycle de l'eau. D'après le CEPRI, les noues et fossés font partie du système mineur de protection, Ils peuvent donc protéger et éviter les ruissellements provenant d'événements catégorisés comme mineurs. Ils font donc partie de la première ligne de défense contre le ruissellement et par extension les inondations. Ces systèmes sont aussi présents pour lisser et ralentir la propagation du ruissellement, notamment en cas de pluies intenses. Ce sont donc des systèmes dynamiques qui ont un réel impact sur l'évolution d'un événement à risque.



Exemple de noue à gauche et de fossé à droite, Source cahier technique agence de l'eau Loire Bretagne

Grâce à ces systèmes, le coefficient d'imperméabilisation global est donc réduit On rappelle que le coefficient d'imperméabilisation est le rapport entre la surface imperméabilisée et la surface totale considérée [125]. Ce coefficient, utile pour évaluer la vulnérabilité d'un espace, est un enjeu majeur dans certains plans d'aménagement comme le Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT). En effet, en prenant le SCoT du Dijonnais regroupant les deux communautés de communes de Norge et Tille, de la Plaine dijonnaise ainsi que de Dijon Métropole, il est explicitement demandé de « réduire l'imperméabilisation des sols » ; les dispositifs de gestion des eaux pluviales à la parcelle [...] seront développés ».

Il faut cependant bien prendre en compte les composants de ces noues, et donc ici des différents types de sols qui les composent. Ces différentes strates de sols peuvent avoir un rôle important dans l'infiltration du système et donc dans son rôle principal d'ouvrage d'infiltration. Comme expliqué précédemment, les noues et fossés sont des systèmes rustiques qui ont une efficacité assez bonne sans trop d'entretien, il est cependant conseillé de surveiller l'encombrement des ouvrages pour éviter de créer des décharges sur les surfaces imperméables.

Il est important de rappeler que le coût de toutes ces solutions de type SFN peut être en partie pris en charge par l'Agence de l'eau concernée, notamment dans le cas d'une politique de réduction du ruissellement ou de gestion à la source des effluents dans le cadre d'un SCOT ou d'un PPRI par exemple.

Il existe aussi des tranchées infiltrantes ou drainantes qui réalisent les mêmes fonctions que les noues et les fossés sur des largeurs d'emprises plus faibles et plus profondes. Ce sont souvent des systèmes renforcés avec une continuité écologique plus faible que les noues et les fossés, mais dont le potentiel gain d'emprise peu s'avérer pratique suivant les situations.



Exemple de tranché drainante, Source cahier technique agence de l'eau Loire Bretagne

- Les toitures végétalisées (TTV)

Tout comme la mise en place des noues et des fossés, de plus en plus de systèmes émergent dans le but de désimperméabiliser les surfaces, en particulier dans les milieux urbains. Les systèmes de toiture végétalisée, par exemple, se développent et permettent de réduire des surfaces importantes de toit qui imperméabilisent complètement certaines zones urbaines. À Paris, ce sont 70 % de la surface de la capitale qui sont totalement imperméables et cette statistique pourrait augmenter à hauteur de 80 % dans 20 ans et à 90 % dans 50 ans. En 2013, l'Atelier Parisien d'URbanisme (APUR) estimait que 80 ha pouvaient être aménagés en toiture végétalisée et 360 ha avec des aménagements plus conséquents.

Une toiture végétalisée est une toiture étanche, sur laquelle est implantée une végétation adaptée et permanente qui couvre la totalité ou la quasi-totalité de cette toiture. On parle de toiture végétalisée extensive lorsque le substrat est de faible épaisseur et lorsque la végétation est de très faible développement. On parle de toiture végétalisée semi-intensive lorsque le substrat devient plus épais et les plantes plus développées (strate arbustive possible). Une toiture végétalisée intensive, permet d'implanter sur un toit un « jardin suspendu » dont l'apparence, l'accessibilité et le développement des plantes rappellent ceux d'un jardin en pleine terre (jusqu'à la présence d'arbres).

Il existe aussi un autre type de toiture utilisant une technique alternative qui est la toiture réservoir. C'est une toiture stockante non végétalisée qui se base sur une toiture terrasse classique dont l'évacuation est équipée d'un régulateur qui limite le débit de vidange. Ce dispositif est complété par un trop-plein situé à une hauteur suffisante pour permettre le stockage.

Ces deux types de solution peuvent donc être utiles pour limiter la quantité d'eau arrivant dans le réseau. De plus, comme les solutions précédentes, ces solutions ont aussi un rôle dynamique et peuvent ralentir la propagation d'une inondation de façon significative. On estime le prix de ce type d'installation entre 10 et 100 €/m².



Exemple de toiture végétalisée à gauche et réservoir, Source cahier technique agence de l'eau Loire Bretagne

- Les chaussées drainantes et réservoirs

Les chaussées à structure réservoir sont des ouvrages dont la fonction est double : en tant que chaussées, elles supportent la circulation ou le stationnement des véhicules ; en tant que réservoir, elles retiennent temporairement les eaux de ruissellement sous la surface. Cette fonction de stockage est obtenue en utilisant des matériaux à granulométrie discontinue (graves poreuses) pour constituer le corps de chaussée.

Deux techniques peuvent être utilisées pour conduire l'eau à l'intérieur de la structure de stockage. La surface peut être poreuse, constituée d'un revêtement de surface drainant ou de pavés poreux, auquel cas l'infiltration s'effectue de façon répartie directement depuis la surface. La surface peut également être imperméable. L'eau est alors collectée par un système d'avaloirs puis répartie dans le corps de la chaussée par des drains.

De la même façon, deux types de vidange peuvent être mis en œuvre. L'eau peut être évacuée par infiltration dans un sol perméable ou drainée vers un exutoire prédéfini.

Il est important de garder à l'esprit que les chaussées à structure réservoir diffèrent des tranchées d'infiltration dans la mesure où elles doivent offrir une résistance mécanique compatible avec la circulation de véhicules. Le coût de ce type de solution est donc généralement plus élevé de par cette contrainte supplémentaire. On estime le coût de traitement de ce système entre 100 à 500 €/m³ d'eau stocké contre environ 15 à 60 €/m³ pour les fossés et les noues. Cette solution n'est pas non plus à favoriser sur tous les grands axes routiers, d'autant plus que la présence d'autres réseaux rend l'opération de mise en œuvre plus complexe. Il est donc recommandé de ne pas y avoir d'autres réseaux présents sur le site d'implantation.

- les puits d'infiltration

Dans le même principe que les chaussées drainantes, il existe les puits d'infiltration qui sont des ouvrages ponctuels permettant l'infiltration des effluents sur des petits bassins versants. Ils peuvent aussi jouer le rôle de stockage temporaire en cas d'événements plus importants.

Ces ouvrages collectent les eaux de ruissellements généralement via des systèmes d'avaloirs et permettent d'infiltrer une partie des effluents. Ils peuvent être reliés avec d'autres systèmes vus précédemment comme les noues ou les chaussées drainantes. Le puits peut alors servir d'exutoire final pour une infiltration complète des effluents venant de plusieurs systèmes avoisinants. Ils peuvent être remplis d'éléments grossiers (type cailloux) ou complètement vides.

En revanche, ces systèmes sont souvent assez sensibles aux problèmes de pollution et de colmatage, Il est alors recommandé d'installer ces systèmes dans des bassins versants non sujets à de forts dépôts sédimentaires et/ou pollués. Le coût de ce type d'installation est d'environ 5 €/m² de surfaces assainies.

- Les espaces urbains repensés

Plusieurs systèmes se développent aussi en utilisant la voirie, les espaces de stationnement ou d'aménagements paysagers comme lieux propices à l'infiltration. Là encore, le but est de désimpermeabiliser les parcelles, d'infiltrer les eaux ainsi que de stocker des volumes potentiels tout en conjuguant les enjeux sociétaux humains et la continuité écologique. C'est dans cet objectif que de grands espaces habituellement imperméabilisés ou presque se voient être modifiés grâce tout d'abord à une diversification des matériaux. Les parkings sont réaménagés grâce à des matériaux poreux ou drainants pour infiltrer le plus

possible de ruissellement. Là encore, c'est une quantité d'effluents qui ne sera pas amenée aux réseaux, ce qui les protégera et allongera leur durée de vie. La ville de Brest a ainsi aménagé le parking de sa grande salle de spectacle sportifs et événementiels avec des noues drainantes et des places de parking les moins imperméables possibles

Les jardins et les parcs peuvent aussi être mis à contribution pour réduire les volumes d'effluents. En effet, des jardins de pluie apparaissent de plus en plus dans les milieux urbains pour apporter un aménagement paysager supplémentaire tout en intégrant les problématiques de gestion de l'eau. Ces espaces servent là encore à infiltrer une partie des effluents, mais d'autres systèmes peuvent être utilisés pour servir de stockage assez conséquent. En effet, suivant la topographie et les moyens mis en œuvre, il est aujourd'hui possible de créer des espaces avec des objectifs de stockage tout en gardant l'aspect paysager et par la même occasion l'infiltration des eaux. Ces espaces urbains inondables sont de plus en plus courants et jouent un rôle majeur dans la préservation des espaces et donc du réseau face à de forts événements climatiques.



*Exemple de jardin de pluie à gauche et un exemple de parc aménagé en espace inondable à droite,
Source cahier technique agence de l'eau Loire Bretagne*

De plus ces solutions en milieu urbain ont des impacts positifs sur la qualité de l'air et sur la diminution des îlots de chaleur de plus en plus nombreux en ville.

- Les bassins

Bien que le système d'espace urbain inondable soit une avancée majeure tant sur le volet écologique que sécuritaire, ce type de solution reste limité par la topographie. Des systèmes de stockage de plus gros volumes sont parfois nécessaires dans les villes et leurs alentours. Pour la plupart, les bassins d'infiltration et de rétention permettent un stockage conséquent des effluents en cas de risques majeurs avec des spécificités suivant le type de bassin aménagé. Leur second rôle est bien souvent l'infiltration des eaux avec la possibilité d'un traitement grossier de filtration ou de décantation en amont. Les bassins d'infiltration et de rétention sont généralement accompagnés de vannes de trop-plein pour éviter une aggravation de la situation. Ce sont des systèmes extensifs qui nécessitent donc des espaces suffisamment grands pour pouvoir les aménager convenablement.

Il existe trois types de bassins :

- Les bassins secs sont généralement des bassins enherbés à ciel ouvert qui récoltent l'eau pendant les événements pluvieux. En temps sec, cet aménagement peut avoir un autre usage (zone piétonne, jardin ou air de jeu). La plupart des bassins secs ont un but l'infiltration des eaux sur place.
- Les bassins humides sont eux étanchéifiés sur leur fond et se distinguent des autres bassins par la conservation d'un niveau d'eau. Ces systèmes peuvent être utilisés comme milieux récepteurs et donc s'intégrer parfaitement dans un programme GEMAPI. Pendant un événement pluvieux ou avec un ruissellement important, le niveau dans le bassin va s'élever puis le surplus va être déversé vers une zone spécialement prévue pour l'infiltration.
- Les bassins enterrés font plus partie des solutions « grises » car ils sont généralement bétonnés puisqu'ils sont souvent positionnés dans des milieux urbains. Cette solution est moins extensive car généralement plus large mais ce volume « perdu » peut être compensé par des profondeurs de bassin plus importantes. Ils servent essentiellement à tamponner un grand volume d'eau lors d'un événement à risque. En fin

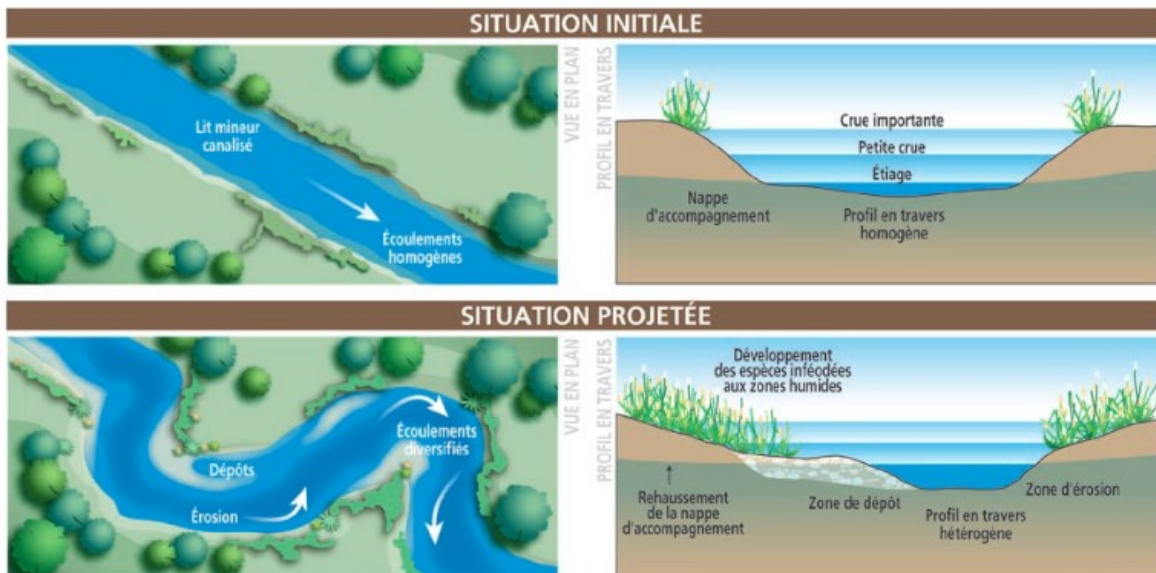
d'événement, le volume engrangé peut être pompé vers des aménagements de traitement ou remonté vers des ouvrages d'infiltration.



Exemple de bassin sec à gauche et en eau à droite, Source cahier technique agence de l'eau Loire Bretagne

Comme tous les aménagements d'infiltration, il faudra veiller à la qualité de l'eau infiltrée en amont. Cette recommandation est d'abord d'ordre sanitaire pour éviter une pollution trop importante du milieu (pour des pluies de niveau de service faible) mais surtout pour améliorer la longévité des bassins. Il est important de ne pas colmater les ouvrages d'infiltrations au risque de les rendre inefficaces. De plus, il faudra prêter attention à la prolifération de certaines espèces indésirables suivant les méthodes utilisées. Le cas des moustiques avec les bassins humides est donc à prendre sérieusement en considération par les gestionnaires.

- Reméandrer et réhabiliter les espaces pour retrouver une fonction de zones de stockage amont.



Principes et bénéfices du reméandrage, Source : EauFrance fiche restauration 7

Enfin une autre manière de réduire les impacts sur le réseau en évitant des effluents trop importants est la restauration des systèmes naturels. En effet, les écosystèmes jouent un rôle important dans la régulation du climat et dans la diminution des impacts de certains aléas. L'exemple de l'hydrodynamisme des rivières illustre bien ces services écosystémiques. Tout d'abord l'hydrodynamisme naturel des rivières va engendrer de l'érosion et du dépôt le long des cours d'eau, ce qui va mettre en place les méandres de la rivière. Ces méandres vont former des boucles qui vont délimiter dans la largeur totale du cours d'eau un lit majeur. Il servira notamment pendant les crues générées par des pluies intenses par exemple. Ce lit majeur est en réalité comme une zone d'expansion qui va servir de zone « tampon » et qui va contenir une partie de la crue en étant complètement inondé. L'onde de crues est alors ralentie et une partie de l'eau en lit majeur sera

« stockée » temporairement le temps de la crue. L'hydromorphologie naturelle de la rivière a donc diminué l'intensité de la crue ainsi que l'impact sur l'environnement urbain touché par la crue.

Pour la résistance aux cyclones et aux vagues submersives, les départements ultramarins peuvent utiliser d'autres éléments naturels comme les mangroves. En effet, les mangroves jouent le rôle de barrière naturelle aux vents lors de cyclones ainsi que contre les vagues submersives pouvant être générées par ces mêmes cyclones. En effet leurs structures assez denses avancées sur le littoral permettent des protections conséquentes pour les zones d'amarrages de bateau. De plus, cette végétation réduit l'érosion du trait de côte qui devient une priorité majeure pour les territoires en particulier dans un contexte de lutte contre les impacts du réchauffement climatique où les mangroves régulent également les inondations tout en protégeant les côtes. Cette préservation et son entretien sont aussi un enjeu économique car ils peuvent générer des retombés économiques importantes et profitables pour ces départements mais aussi d'un point de vue écologique pour la préservation des zones humides. Au Benin et au Costa Rica, une grande opération de restauration de la mangrove a été lancée en 2018. Dans ces pays, la mangrove a perdu 35 % de sa superficie et 25 % en 25 ans. Ces pertes sont essentiellement dues à la pression anthropique sur le milieu. Le problème des espèces envahissantes est aussi un problème préoccupant car ces espèces exogènes ralentissent le développement des mangroves encore présentes. Cette étude s'est basée sur un protocole de remise en fonction des conditions nécessaires pour le développement de la mangrove grâce à des canaux pour rétablir les conditions hydrologiques nécessaires.

L'ajout d'autres systèmes naturels de rétention, comme les mangroves, est de plus en plus d'actualité. Le SAGE de l'estuaire de la Loire ainsi que le SCoT du Dijonnais indique la nécessité de favoriser la mise en place de haies dans les parcelles agricoles pour limiter le ruissellement tout en bénéficiant d'une barrière naturelle contre les vents.

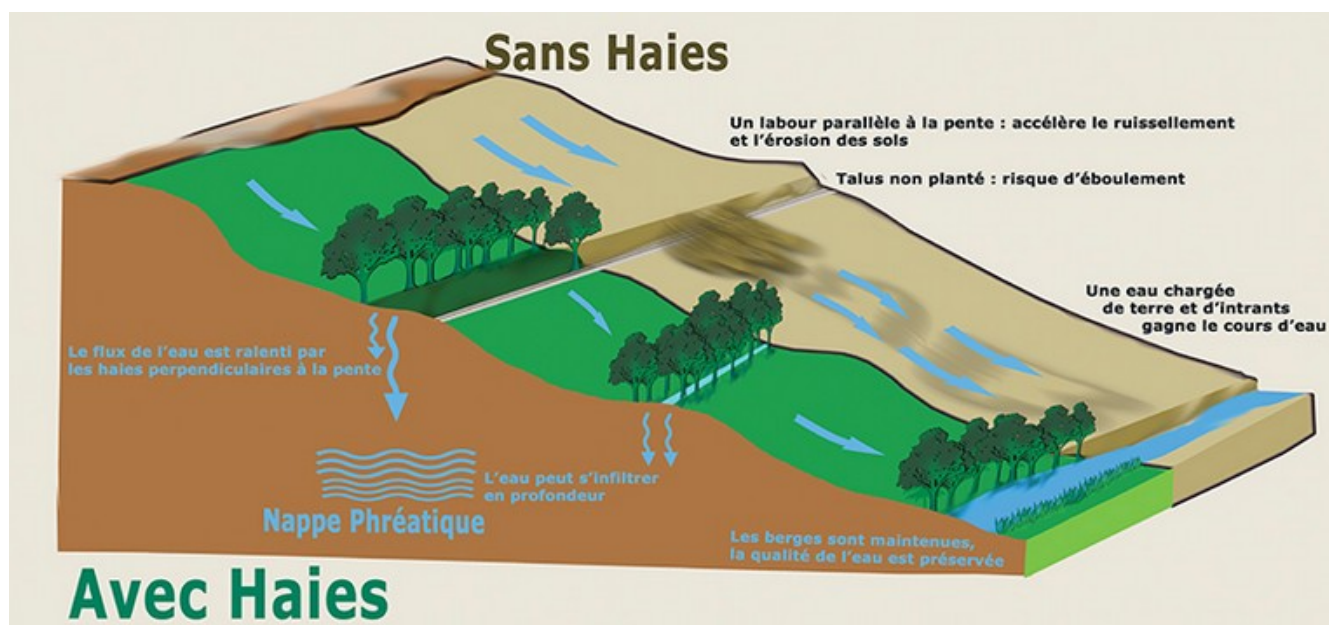


Schéma de principe des bénéfices d'une haie pour la lutte contre l'érosion, le ruissellement et les inondations, Source : Fougère agglomération

Annexe 2 : Questionnaire technique envoyé aux territoires

1. Prévention et anticipation des crises liées à des événements naturels

Planification de la gestion des eaux sur le territoire

1. Des schémas directeurs AEP et assainissement sont-ils réalisés sur le territoire ? Si oui, quelles en sont les dates de finalisation ? Le(s) programme(s) de travaux est-il / sont-ils mis en œuvre et quelles sont les principales difficultés dans sa /leur réalisation ?

→

2. Un schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) est-il en vigueur ? Si oui, est-il scrupuleusement respecté ?

→

État du système

3. Le recensement des réseaux d'eau et des installations sur le territoire est-il effectué régulièrement (ou est-il à jour) ? Quelle(s) est(sont) les méthodologie(s) pour effectuer ce recensement ?

→

4. Un SIG (ou autre) intégrant les organes structurants des réseaux est-il disponible auprès du gestionnaire ?

Eau potable	Assainissement
.....
.....

5. Les réseaux d'eau potable sont-ils majoritairement maillés, ramifiés ou mixtes ?

→

6. Quel est le niveau de pression moyen de vos réseaux d'adduction en eau potable ? (Si possible, précisez) Quelles communes et/ou villes possèdent la pression la plus basse et la plus élevée ? Quelle est la part de population qui doit se munir de surpresseur ? La pression dans les bornes incendies est-elle supérieure au 0,6 bar demandé dans la législation ?

→

.....

7. Quel est le rendement primaire moyen des réseaux d'eau potable sur le territoire ? Quelles communes et EPCI possèdent le moins bon rendement ?

→

.....

8. Les réseaux d'assainissement sont-ils conçus de manière gravitaire ou bien sous vide ? Quelles sont les parts de réseau unitaire et séparatif sur l'ensemble du territoire ? Des postes de relevages sont-ils employés ? Quelle est la capacité d'épuration en équivalents-habitants du parc d'assainissement ?

→

.....

9. Selon quels documents techniques et normes les réseaux sont-ils dimensionnés ? Rencontrez-vous des difficultés dans l'application des règles de l'art ? Si oui, précisez.

Eau potable	Assainissement
.....
.....

10. De quels matériaux sont composés les réseaux et quelle en est la part de linéaire ? Comment qualifieriez-vous leur résistance et leur vétusté (catégorie d'âge) ? Les réseaux sont-ils enterrés et/ou aériens et/ou subaquatique et quelles en sont les proportions ? Mettez-vous en place des lits de pose et un enrobage ? (Si oui, précisez) Quels sont les types de granulats utilisés ?

Eau potable	Assainissement
.....
.....

11. Le choix des équipements, des matériaux, des dispositions constructives, vous semble-t-il adapté au contexte « risques naturels » de votre territoire ? Précisez si possible.

Eau potable	Assainissement
.....
.....

12. En conditions « habituelles » de service, le système d'eau potable et le système d'assainissement présentent-ils des dysfonctionnements locaux ou généraux ? Concernent-ils les unités de production, de stockage et de distribution de l'eau potable ? Les réseaux de collecte et les stations de traitement des eaux usées ?

Eau potable	Assainissement
.....
.....

13. Les éventuels points de fragilité/vulnérabilité des réseaux et installations ont-ils été recensés ? Le cas échéant, comment ces informations sont-elles consignées ?

Eau potable	Assainissement
.....
.....

14. Les services d'eau et d'assainissement sont-ils dépendants d'autres services publics ou réseaux ? Si oui, lesquels ?

→

.....

15. Dans le cadre de la production d'eau potable, une même ressource est-elle partagée par des services adjacents ? Quelles sont les capacités de stockage dédiées aux différents services ?

→

.....

Contexte géologique et physique

16. Selon le tracé du réseau, avez-vous connaissance de points de vigilance particuliers à souligner ? (Topographie, nature du sol, ...)

→

17. Sur quel(s) type(s) de sol(s) les réseaux sont-ils majoritairement installés ? Quelle est la part de linéaire des réseaux installés par type de sol ? (Sol sableux, sol limoneux, sol argileux, sol calcaire, sol humifère, roche, si autres précisez)

Eau potable	Assainissement
.....
.....

Pour les territoires insulaires :

18. L'insularité engendre-t-elle des contraintes ou des points de vigilance particuliers en matière de construction, de réhabilitation et d'exploitation des systèmes d'eau et d'assainissement ?

→

Pour la Guyane :

19. Les faibles densités de population et l'isolement de certaines communes engendrent-ils des contraintes, des points de vigilance, en matière de construction, de réhabilitation et d'exploitation des systèmes d'eau et d'assainissement ?

→

Réduction de la vulnérabilité des services

20. Avez-vous expérimenté des dispositions techniques en vue d'améliorer la résistance (la robustesse) aux événements naturels de vos infrastructures et services ?

- en matière de construction ou de réparation (par exemple, par la solidification de certains éléments du réseau...)
- en matière d'entretien et d'exploitation

Eau potable	Assainissement
.....
.....

21. Les éléments composant le système sont-ils pourvus de capacité de redondance¹ ? (Si oui, précisez) sous quel format ?

Eau potable	Assainissement
.....
.....

22. La localisation ou la relocalisation de certaines installations est-elle choisie afin d'éviter l'exposition à certains aléas naturels ? (ex : surélévation, éloignement de zones submersibles, ...)

→

.....

23. Les sources d'approvisionnement en eau potable et les installations de stockage sont-elles diversifiées ? Existe-t-il une(des) interconnexion(s) avec une(des) collectivité(s) voisine(s) ? (Si oui, précisez) Quelle forme prend cette interconnexion ? Les interconnexions entre collectivités sont-elles représentées globalement ou localement à l'échelle du territoire ?

→

.....

24. Les systèmes d'eau et d'assainissement peuvent-ils être facilement compartimentés²(segmentés), afin d'éviter la propagation de défaillances en cas de crise ?

→

.....

1 Redondance : Elle est définie comme l'existence de plus de moyens pour exécuter une fonction spécifique, agencés de telle manière qu'une défaillance de système ne peut se produire en raison de la défaillance simultanée de tous ces moyens. [...] Dans la pratique, la redondance ingénierie Il est la duplication des composants critiques d'un système avec l'intention d'augmenter leur fiabilité et disponibilité, en particulier pour les fonctions vitales pour assurer la sécurité des humains, des plantes ou la continuité de la production. (BooWiki)

2 Compartimentation ou segmentation : Dans le cadre d'un réseau hydraulique, c'est la capacité à pouvoir isoler une partie de ce réseau sans incidence pour la fonctionnalité du système.

2. En phase de crise

État d'alerte

25. Lorsque vous êtes informé de la survenue imminente d'un événement naturel, quels moyens mobilisez-vous afin d'assurer :
- la continuité du fonctionnement des services publics d'eau et d'assainissement ?
 - la préservation des infrastructures ?

Eau potable	Assainissement
.....
.....

26. Possédez-vous des documents ou procédures à respecter ? Privilégiez-vous ou devez-vous privilégier des secteurs sensibles en priorité en accord avec le Plan d'Opération Interne (POI) ? (Si oui, précisez) Quels sont ces secteurs ?

→

.....

27. Quels sont les événements naturels (récents ou pas) survenus sur votre territoire ayant impacté les services d'eau et/ou d'assainissement ?

Événement A :

→

.....

Événement B :

→

.....

Événement C :

→

.....

Types de dégâts

28. Immédiatement après chacun de ces événements, quel(s) secteur(s) du système public de gestion des eaux a(ont) été touché(s) et selon quel degré ? Quel(s) a(ont) été les pertes d'efficacité de ce(s) secteur(s) touché(s) ?

Événement A : à précisez

Eau potable	Assainissement
.....
.....

Événement B : à précisez

Eau potable	Assainissement
.....
.....

Événement C : à précisez

Eau potable	Assainissement
.....
.....

29. Quelle a été la cinétique de perte de service du(des) secteur(s) touché(s) ? La perte a-t-elle été immédiate ou bien s'est-elle aggravée dans le temps ? (Si deuxième cas, précisez) Quelles sont les causes qui ont amené à cette aggravation dans le temps ?

Événement A : à précisez

Eau potable	Assainissement
.....
.....

Événement B : à précisez

Eau potable	Assainissement
.....
.....

Événement C : à précisez

Eau potable	Assainissement
.....
.....

30. À l'échelle territoriale, par quels moyens ont été identifiés et répertoriés les dégâts et leur localisation ? Quel a été le délai nécessaire au recueil et traitement des informations ?

→

31. À l'échelle du système, comment ont été identifiés et répertoriés les dégâts techniques, leur localisation (soudures, compteurs, STEP, postes de relèvement, réseaux, unité(s) de production, infrastructures, machinerie, ...) et leur typologie (fissure, rupture, déformation, ruine, corrosion, agression chimique, ...) ?

Eau potable	Assainissement
.....
.....

32. Quelles ont été les conséquences de ces dommages sur le système ? Sont-elles à l'origine d'une défaillance du système ? Cette défaillance a-t-elle été immédiate, de courte durée ou prolongée ?

Eau potable	Assainissement
.....
.....

33. Les pièces les plus fréquemment endommagées composant le système sont-elles facilement substituables et/ou remplaçables ? (Si oui, précisez) Disposez-vous d'un stock de pièces ?

→

Réponse immédiate

34. Les équipes d'intervention locales sont-elles formées pour intervenir en situation de crise, qu'il s'agisse de réalisation de travaux d'urgence ou de maintenance d'installations ?

→

35. Participez-vous à des exercices de gestion de crise adaptés aux phénomènes naturels se produisant sur votre territoire ?

→

36. Quelles solutions ou moyens provisoires ont été mis en place à la suite de l'événement afin de rétablir une fonctionnalité provisoire des systèmes ? Avec quelle rapidité ces moyens ont-ils pu être installés/mis en place ?

→

Mobilisation de moyens

37. Les ressources et matériels déployés ont-ils été suffisants afin de rétablir provisoirement le système des eaux ? Des commandes ont-elles dû être effectuées ? Le cas échéant, quelle a été la rapidité de réception ? Des procédures particulières de la commande publique ont-elles pu/dû être appliquées ?

→

38. Quelles entreprises ont pu être mobilisées dans le cadre de la restauration des systèmes publics des eaux ? Sont-elles à dominante locale, nationale ou internationale ? Quelles ont été les raisons de ce choix ?

→

39. Comment ces entreprises ont-elles été désignées pour effectuer les travaux ? Des procédures particulières de la commande publique ont-elles pu/dû être appliquées ? Les règles de la commande publique ont-elles permis une rapidité d'intervention ? Quel a été le délai pour l'attribution du/des marché(s) ?

→

40. Quelle part de financement par l'État ou montant a été attribué pour la restauration des systèmes ? Ce financement a-t-il été suffisant ?

→

3. Après les crises

Le rétablissement post-crise

41. En combien de temps les différents systèmes ont-ils pu retrouver un niveau de performance satisfaisant et stable ?

→

42. En combien de temps les différents systèmes ont-ils pu retrouver l'intégralité de leur fonctionnalité ?

→

Stratégie future

43. Après la survenue d'événements destructeurs sur votre territoire, les systèmes des eaux ont-ils été restaurés à l'identique « d'avant-crise » ou bien des modifications ont-elles été effectuées ? Dans le cas d'une restauration à l'identique, envisagez-vous une rénovation future ? Quelles sont les modifications prioritaires que vous avez apportées ou que vous envisagez ?

→

44. Quelles sont les conséquences tirées des événements passés pour une amélioration de la robustesse du système des eaux en cas de futures catastrophes naturelles ? Comment avez-vous amélioré ou comptez-vous améliorer l'anticipation de crises futures ?

→

45. Quelles sont les leçons tirées des événements passés en termes d'organisation des services ? Comment avez-vous amélioré ou comptez-vous améliorer l'anticipation de crises futures ?

→

4. Questions de synthèse

46. Considérez-vous que vos réseaux et vos installations sont vulnérables aux aléas naturels ? Expliquez

→

47. Considérez-vous que l'organisation de vos services est vulnérable en cas de survenue d'un événement naturel extrême (cyclone, inondation, séisme, important mouvement de terrain, ...) ? Expliquez

→

48. Une réflexion globale sur la réduction de la vulnérabilité des services d'eau et d'assainissement aux aléas naturels a-t-elle été engagée à l'échelle de votre territoire (ou est-elle envisagée) ?

→

49. Des dispositions particulières ont-elles été mises en place ou sont-elles envisagées pour faire face aux aléas naturels susceptibles de toucher votre territoire ?

→

50. La mise en place de ces dispositions entraîne-t-elle un surcoût ? (Si oui) pouvez-vous le préciser ?

→

51. D'après votre expérience, pour mieux faire face aux événements naturels extrêmes, quelles améliorations préventives seraient nécessaires ? en termes d'infrastructures et de matériels ? en termes d'entretien et d'exploitation des infrastructures ? en termes d'organisation de services ?

→

52. Les contrôles réglementaires des installations sont-ils effectués en interne par l'exploitant du service ou bien sont-ils effectués par un(des) prestataire(s) externe(s) ? Quels sont les outils et moyens dédiés à ce contrôle (exemple : télégestion) ? Comment jugeriez-vous la qualité des contrôles effectués ?

→

IV. Information sur les systèmes d'eau et leur gestion

La section ci-dessous est dédiée à recueillir vos corrections, remarques ou suggestions, concernant notre recueil d'informations sur les systèmes de gestion de l'eau potable et de l'assainissement sur votre collectivité (cf annexe).

Commentaires libres :

→

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Diplôme d'ingénieur de l'ENGEES

Spécialité : Hydrosystèmes

Auteur : Louis Bousquet

Année 2021

Titre : Étude REOM : améliorer la résilience des services d'eau potable et d'assainissement dans les DROM et à Saint-Martin

Élaboration du Livrable 2 : Parangonnage des mesures de prévention

Nombre de pages : 60 pages de texte et 17 pages d'annexe

Nombre de références bibliographiques:129

Structure d'accueil : CEREMA, Département Risques Eaux et Littoral, Plouzané, Finistère

Maître de stage : Ronan Roué

Résumé :

L'étude Résilience Eau Outre-mer porte sur l'amélioration de la résilience des réseaux d'eau potable et d'assainissement de la Guadeloupe, la Martinique, la Guyane, Mayotte, la Réunion et Saint-Martin. Ce document porte plus sur la phase de prévention de la gestion de crise et se focalise sur six aléas : pluies intenses, vagues submersives, cyclones, séismes, mouvements de terrain et sécheresse. Ce rapport est un parangonnage des mesures de prévention possibles et relevées dans le monde. L'étude conclut qu'il n'y a pas une solution universelle mais qu'une diversification des stratégies de prévention est la meilleure méthode de réduction de la vulnérabilité.

Mots-clés

Résilience, Outre-mer, Risques naturels, Prévention, Gestion du risque