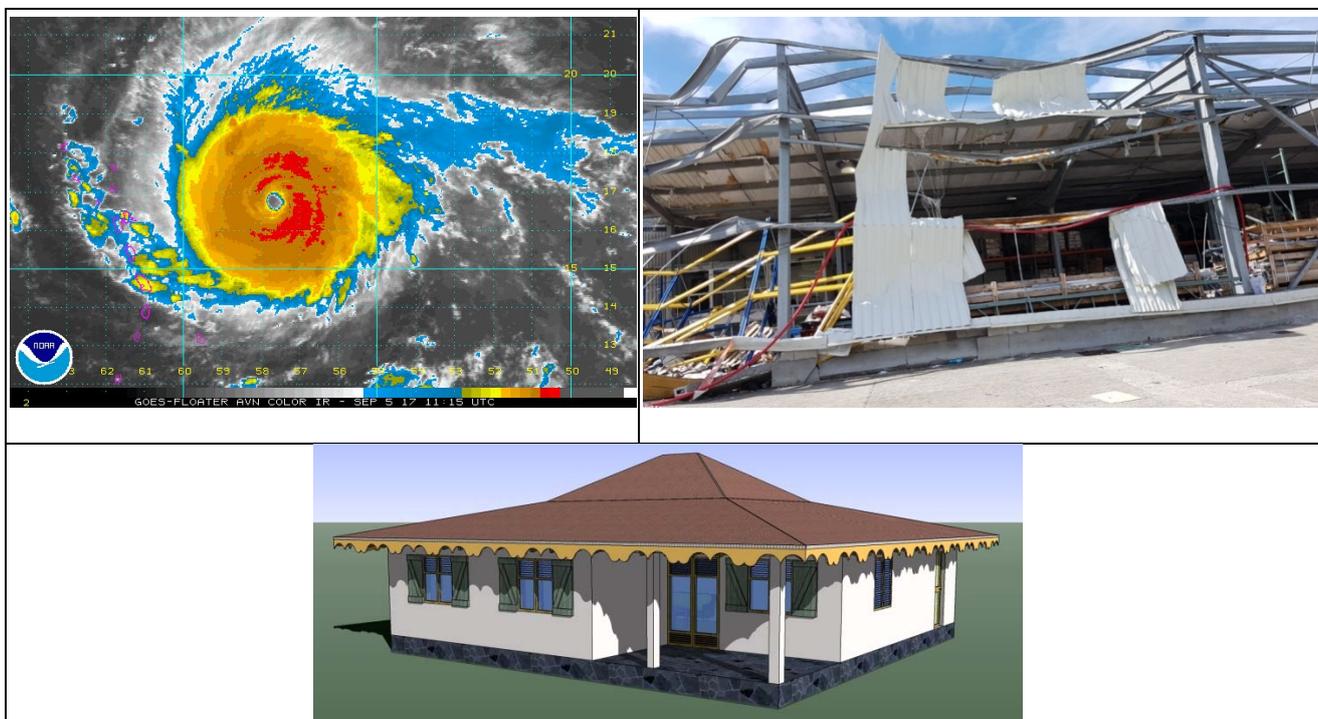


Retour d'Expérience sur les cyclones aux Antilles, Charge de vent sur les bâtiments Concept d'habitat Paracyclonique



Paul QUISTIN - Christian ANTENOR HABAZAC -Thierry LAMADON- Eric FOURNELY

| Date | Ind | Objet |
|--------------|------------|---|
| Janvier 2018 | 00 | Elaboration |
| Mars 2018 | 01 | Compléments mineurs (<i>en violet</i>) et Correction orthographique |

Sommaire

| | |
|--|----|
| Sommaire | 2 |
| 1. INTRODUCTION | 4 |
| 2. LES PHENOMENES CYCLONIQUES AUX ANTILLES..... | 5 |
| 2.1. Introduction..... | 5 |
| 2.2. Le cyclone Tropical | 5 |
| 2.3. La classification officielle | 6 |
| 2.4. Etude des phénomènes cycloniques-Historique et Bilan | 8 |
| 2.4.1. -Historique | 8 |
| 2.4.2. Bilan année 2017 | 14 |
| 2.5. Approche théorique et scientifique –Etudes CSTB et DIRAG/Météo France | 15 |
| 2.5.1. Étude CSTB (1986) | 15 |
| 2.5.2. Étude DIRAG/Météo France | 17 |
| 2.5.3. Proposition J Bietry et Comparaison des vitesses obtenues au moyen des études CSTB et DIRAG | 18 |
| 2.6. Synthèse | 20 |
| 3. APPROCHE NORMATIVE –Des Règles NV 65 à la NF-EN1991-1-4 | 21 |
| 3.1. Hypothèses générales | 21 |
| 3.1.1. Valeur de base de la vitesse de référence..... | 21 |
| 3.1.2. Vitesse moyenne et turbulence..... | 24 |
| 3.1.3. Catégorie de rugosité ou condition de site | 25 |
| 3.1.4. Coefficient d'orographie..... | 29 |
| 3.2. Pression de vent dynamique | 30 |
| 3.2.1. Structure bâtiment | 30 |
| 3.2.2. Baies et fermetures | 33 |
| 3.3. Synthèse | 39 |
| 4. REX..... | 41 |
| 4.1. REX Cyclones Irma et Maria..... | 41 |
| 4.1.1. Caractéristiques de l'ouragan Irma | 41 |
| 4.1.2. Caractéristiques de l'ouragan Maria | 45 |
| 4.2. REX dégâts occasionnés..... | 50 |
| 4.2.1. Effets de bord | 50 |
| 4.2.2. Structures | 52 |
| 4.2.3. Charpente de toiture | 53 |
| 4.2.4. Toitures et couvertures métalliques | 54 |
| 4.2.5. Menuiseries extérieures..... | 55 |
| 4.2.6. Equipements indissociables..... | 56 |

| | |
|---|----|
| 4.3. Synthèse | 57 |
| 5. HABITAT CYCLONIQUE..... | 58 |
| 5.1. Préambule | 58 |
| 5.2. Données d'hypothèses de calcul | 58 |
| 5.3. Conception architecturale | 59 |
| 6. CONCLUSION | 61 |

1. INTRODUCTION

Les événements climatiques récents qui ont frappé l'arc antillais notamment les phénomènes majeurs comme le cyclone Irma de catégorie 5 qui a détruit en grande partie les îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy, le cyclone Maria de catégorie 4 qui a frappé l'île de la Dominique et le Sud Basse-Terre y compris les Saintes ; nous rappellent notre situation insulaire et notre contexte d'île à fort aléa cyclonique, sans oublier l'aléa sismique.

Il est habituel qu'à chaque événement climatique majeur, de déclarer que de mémoire d'homme cela ne s'est jamais produit ou pas aussi fort. Il faut trouver toutes les causes possibles et stratégies, souvent pour pouvoir minimiser les raisons de la défaillance humaine, de la mauvaise conception et exécution de nos bâtis. « *L'événement était plus fort que d'habitude..., le dérèglement climatique nous frappe de plein fouet..., les règles de calcul sont obsolètes ou insuffisamment sécuritaires....* » Bref ! il faut faire la révolution ...et tout mettre à la poubelle. Mais faut-il pour autant modifier les règles en vigueur ?

Il faut rappeler qu'un aléa fort n'engendre pas forcément un risque fort, le risque étant une convolution entre l'aléa, les enjeux et la vulnérabilité, en l'occurrence la vulnérabilité de nos constructions face à ces aléas majeurs qui existent de part notre situation géographique. Mais est-ce que ces aléas notamment l'aléa cyclonique évoluent -ils au fil du temps passé ?

Notre politique de protection basée sur la mitigation du risque, c'est à dire la protection des biens et des personnes face à un aléa ou risque majeur connu, identifié et scientifiquement quantifié avec une acceptation plus ou moins forte des conséquences pour la société, passe par le jeu des statistiques et probabilités doit-on le rappeler. (Vent cinquantennal : les valeurs de référence sont des valeurs caractéristiques dont la probabilité de dépassement sur une période d'un an, est égale à 0,02, ce qui équivaut à une période moyenne de retour de 50 ans. Séisme avec période de retour de 475 ans).

Doit-on pour autant construire avec des actions estimées de façon déterministe comme auparavant et protéger **contre tout événement** tout le monde avec le fort coût qui en découlerait et comme conséquence la mauvaise (ou non) application des règles, et in fine la création de citoyens de 2^{nde} zone (ceux n'ayant pas les moyens de se payer la protection...) ou continuer à appliquer des règles accessibles à tout le monde basées sur des probabilités d'occurrence avec une forte quote-part de la conception paracyclonique (ou parasismique) des constructions, clé d'une réussite assurée en cas de dépassement par dame nature des seuils fixés par l'administration.

L'objet de ce document est d'essayer de répondre à toutes ces questions en faisant une synthèse bibliographique basée sur des textes et études scientifiques sur des phénomènes cycloniques ayant frappés les Antilles françaises principalement la Guadeloupe de mémoire d'homme et d'appareils de mesures, leur prise en compte dans la réglementation et norme et enfin d'évoquer la conception paracyclonique en se basant sur un REX des dégâts occasionnés et des solutions techniques ayant fait leur preuve ici et là, notamment la construction de l'habitat créole traditionnel.

2. LES PHENOMENES CYCLONIQUES AUX ANTILLES

2.1.Introduction

L'Arc des Petites-Antilles, dans lequel se situe l'archipel guadeloupéen, se situe dans la région tropicale de l'hémisphère Nord, entre le Tropique du Cancer (latitude 23°26' Nord), passant juste au Nord de Cuba, et l'Équateur.

La Guadeloupe et ses îles proches peuvent s'inscrire dans un rectangle ayant pour limites les latitudes comprises de 15°8 à 16,5° Nord et les longitudes de 61° à 62° Ouest.

Pour les Îles dites du Nord (Saint-Martin et Saint-Barthélemy) on a les limites suivantes :

Latitude Nord entre 17,5° et 18,5° , longitude Ouest entre 62,5° et 63,5°.

La Caraïbe et l'Arc des Petites-Antilles sont donc, chaque année et lorsque les conditions sont favorables, soumises à des perturbations météorologiques qui sont appelées, pour la zone, **Cyclones Tropicaux**.

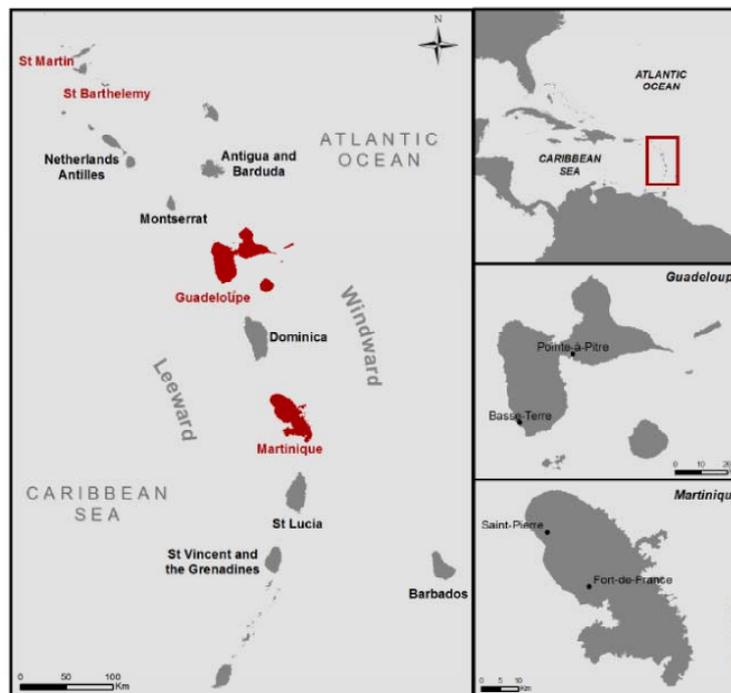


Figure 1 Situation des Petites Antilles

2.2. Le cyclone Tropical

Il s'agit d'un vortex, d'un météore ou d'un gros tourbillon, qui peut atteindre plusieurs dizaines de kilomètres de diamètre, dont les vents, dans les basses couches, tournent dans le sens contraire des aiguilles d'une montre (hémisphère Nord) autour d'un centre de BASSE pression (inférieure à 1013 hPa).

C'est une machine thermique, une sorte d'aspirateur d'air chaud et d'eau de mer, une toupie alimentée uniquement par les eaux chaudes des mers et océans.

Il existe une saison dite « *Saison Cyclonique* », décrétée officiellement par le National Hurricane Center (ou N.H.C., situé à Miami en Floride, responsable de la zone Atlantique tropicale et qui nomme les événements) qui va du 1er juin au 30 novembre.

C'est une saison statistique qui **regroupe 99% des phénomènes cycloniques**, mais il n'est pas exclu, selon les conditions météorologiques en cours, d'avoir des événements en dehors de ces dates.

Pour nos régions, on distingue les trois bassins de naissance que sont l'Atlantique Tropicale, depuis les côtes africaines jusqu'aux Antilles, la Mer des Caraïbes et le Golfe du Mexique.

Les Antilles sont en général concernées par les phénomènes nés dans l'Atlantique, soit « Cap-Verdiens » car nés près des îles du Cap-Vert (souvent dangereux), soit Barbadiens car nés dans la région de Barbades (souvent capricieux).

La formation des phénomènes cycloniques requiert au moins les conditions suivantes :

- Formation entre les latitudes 8°N et 30°N, là où la force de Coriolis est suffisante pour entraîner une rotation des vents.
- Température de la mer supérieure ou égale à 26°C, sur environ 60m d'épaisseur.
- Forte humidité et température supérieure de plusieurs degrés par rapport à celle de la surface de la mer (système à cœur chaud).
- Superposition d'une zone dépressionnaire au niveau de la mer et de haute pression en altitude. Ceci correspond à un cisaillement faible.

Depuis plusieurs années, le N.H.C. a normalisé les différents types de phénomènes essentiellement selon la vitesse des vents moyens.

2.3. La classification officielle

Les *Cyclones Tropicaux* se forment dans la majorité des cas à partir de ces *Ondes Tropicales*.

- **La Perturbation Tropicale** : pluies (ou "grains"), averses classiques.
- **L'Onde Tropicale** : c'est une sorte d'anomalie dans le champ de pression atmosphérique qui entraîne, lors de son passage, des pluies, un peu de vent, des orages plus ou moins violents. On en a une en moyenne tous les trois jours durant la saison humide (*hivernage*).

L'Onde tropicale se renforçant, nous entrons dans la catégorie des *Cyclones Tropicaux*. Les vitesses de vents indiquées **VENTS MOYENS**, à partir de maintenant, sont des **VENTS MOYENS SOUTENUS PENDANT UNE MINUTE**.

LA CLASSIFICATION OFFICIELLE DES CYCLONES TROPICAUX :

- **La Dépression Tropicale** : C'EST UN CYCLONE TROPICAL. On a une circulation fermée (les vents tournent autour d'un centre), mais avec une vitesse de vents moyens inférieure à 60 km/h (valeur arrondie). À ce stade, le phénomène porte un numéro (1, 2, 3 ...).
- **La Tempête Tropicale** : C'est le renforcement de la Dépression Tropicale. Les vents moyens sont compris entre 60 km/h et 120 km/h (valeurs arrondies). Il y a une rotation franche autour d'un centre (œil). Le phénomène est nommé à partir d'une liste de noms pré-établie.
- **L'Ouragan** (de l'amérindien « *Uracaan* ») : C'est le renforcement de la Tempête Tropicale avec des vents moyens soutenus supérieurs à 120 km/h.

L'Ouragan est le stade ultime mais cet événement est subdivisé en *CLASSES* ou *CATÉGORIES* toujours selon la vitesse de rotation des vents SOUTENUS SUR UNE MINUTE (vents moyens).

C'est l'Échelle de SAFFIR-SIMPSON :

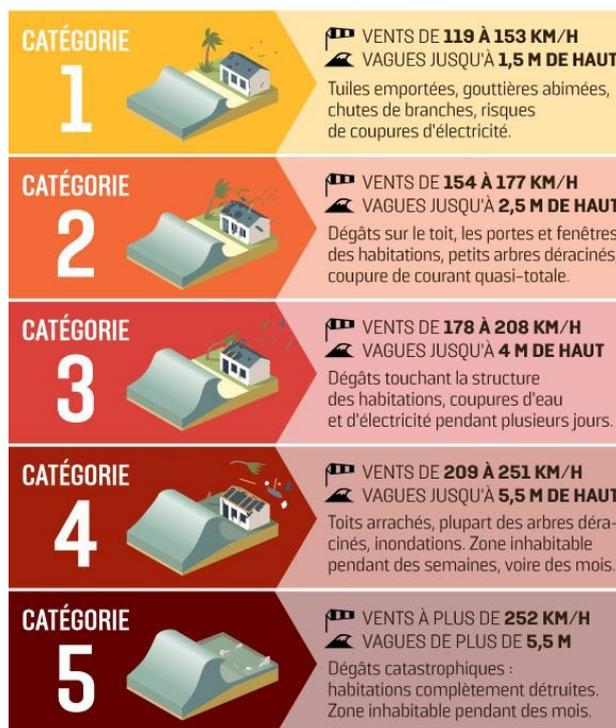
- **CLASSE 1** : vents moyens soutenus compris entre 120 et 150 km/h (valeurs arrondies) (dégâts).
- **CLASSE 2** : vents moyens soutenus compris entre 150 et 180 km/h (valeurs arrondies) (gros dégâts).
- **CLASSE 3** : vents moyens soutenus compris entre 180 et 210 km/h (valeurs arrondies) (dégâts très importants).
- **CLASSE 4** : vents moyens soutenus compris entre 210 et 250 km/h (valeurs arrondies) (catastrophe).
- **CLASSE 5** : vents moyens soutenus supérieur à 250 km/h (valeurs arrondies) (désastre).

À partir de la classe 3, l'Ouragan est considéré comme un phénomène majeur, extrêmement dangereux. Mais, compte tenu de notre relief et de la fragilité de nos sols, tout événement, dès le stade Onde Tropicale, peut générer des dégâts importants et des victimes (par fortes pluies, inondations, glissements de terrain, mer forte et effets de la foudre en particulier).

Il faut noter que nous ne devons pas confondre et assimiler nos Cyclones Tropicaux avec les Tempêtes de la zone tempérée. Nos systèmes tropicaux sont des phénomènes dits à « coeur chaud », qui prennent leur énergie uniquement au dessus des eaux tropicales chaudes, énergies colossales bien plus importantes que celles développées au sein des tempêtes des zones tempérées.

La classification des cyclones (échelle de Saffir-Simpson)

Cette échelle est utilisée pour les cyclones se déclenchant dans l'océan Atlantique et dans le nord-est de l'océan Pacifique



LP/INFOGRAPHIE - TH. SOURCE : NATIONAL HURRICANE CENTER.

Figure 2 Echelle Saffir Simpson – Classement en catégorie des Cyclones

2.4. Etude des phénomènes cycloniques-Historique et Bilan

Dès l'arrivée de Christophe COLOMB en 1492 dans les Grandes-Antilles, avec l'installation des tous premiers colons qu'il a laissés sur place, et surtout à partir des premières implantations importantes dans les grandes îles au Nord de l'Arc, dès le début du XVI^{ème} siècle, les Européens ont eu à faire face et à affronter des tempêtes météorologiques avec des violences telles qu'ils ne connaissaient pas chez eux.

Les échanges avec les Amériidiens leur ont appris qu'il s'agissait des manifestations du dieu « HURACAAN », le dieu des vents, des tempêtes et du feu de la région.

C'est ce personnage de légende qui a laissé son nom aux « Hurricanes » anglais et « Ouragans » français.

2.4.1. -Historique

Plusieurs études sur les phénomènes cycloniques issues de la littérature peuvent être analysées et présentées dans ce document pour permettre d'effectuer un historique et recensement des cyclones estimés ravageurs ou destructeurs ayant frappé l'arc antillais et ainsi donner des prémisses de réponse à la question de la survenance de phénomènes majeurs dans nos régions

La première étude réalisée par **The historic reality of the cyclonic variability in French Antilles, 1635–2007 E. Garnier, J. Desarthe, and D. Moncoulon**¹ sur la période de 1635 à 2007 nous permet de comprendre la distribution des cyclones au fil du temps

Ce document est une étude sur le nombre de phénomènes de cyclones majeurs qui ont frappé les Antilles françaises, il laisse apparaître la survenance de nombreux cyclones majeurs (catégorie 4 et 5) au 18^e, 19^e et 20^e siècle.

Nous faisons cependant des réserves sur la réalité du classement de cyclones majeurs (au delà de la catégorie 3 au cours des siècles antérieurs au 20^{ème} siècle....)

Il est à noter qu'en tout début de 21^{ème} siècle jusqu'à 2007, très peu de phénomènes ont été recensés ; ces statistiques ont forcément évolué depuis notamment avec les ouragans majeurs Maria et Irma en 2017.

Cela laisserait aussi présager qu'on est à l'aube d'un accroissement de ces phénomènes au 21^{ème} siècle, si on suit les statistiques des siècles précédents.

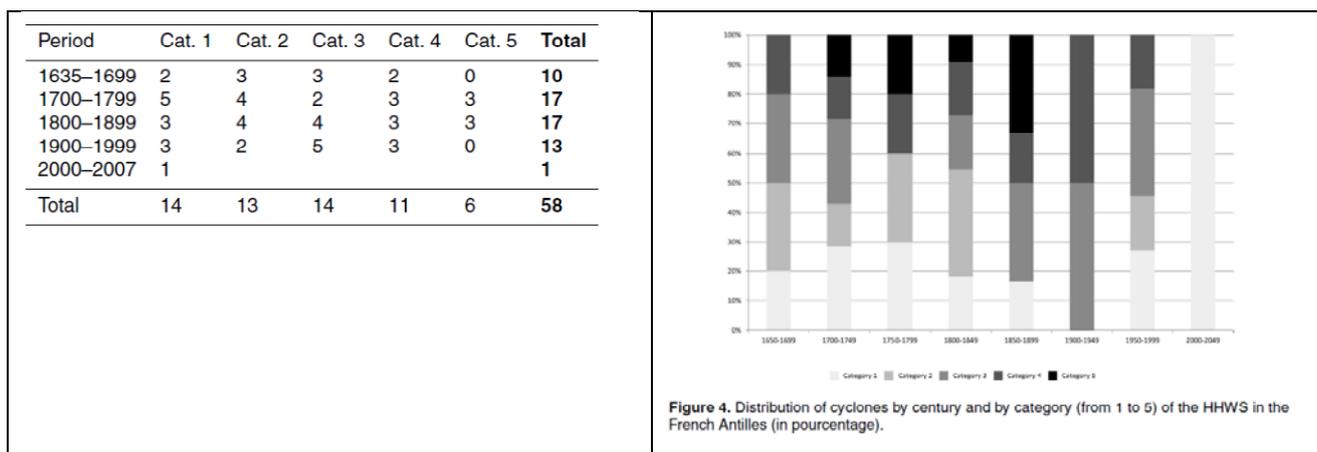


Figure 3 Répartition des Cyclones dans le temps par catégorie aux Antilles françaises

¹ *The historic reality of the cyclonic variability in French Antilles, 1635–2007 E. Garnier, J. Desarthe, D Moncoulon*

Le deuxième document « **ÉCLATS DE TEMPS, Antologie des évènements climatiques extrêmes de la Guadeloupe** » de Messieurs Jean-Claude HUC et Max ETNA, aux éditions Petit-Lebrun et produit par le Conseil Régional de la Guadeloupe., qui est une étude de spécialistes locaux sur les cyclones ayant frappé principalement la Guadeloupe.

Il recense les événements climatiques extrêmes qui ont touché la Guadeloupe entre 1635 et 2015 ; les caractéristiques techniques des cyclones traités dans l'ouvrage à partir de 1851

Pour aller plus loin, nous ne pouvons que recommander la consultation de l'ouvrage dont les annexes sont disponibles librement, sur le site :

http://www.plbeditions.com/images/pdf/annexes_eclats_de_temps.pdf

des annexes extrêmement riches de ce volume (*attention, les espaces apparents sont des underscores, c'est à dire le tiret du 8*).

Voici, tout de même, un bref historique des phénomènes ayant impactés la Guadeloupe et son Archipel, à un degré ou un autre, depuis 1846.

- 11 septembre 1846 puis 15 années sans cyclone.
- 6 juillet 1861.
- 6 septembre 1865, ouragan majeur (classe III, proche de la classe IV) (80 morts à Marie-Galante, 300 pour toute le Guadeloupe), puis 24 ans sans cyclone.
- 12 septembre 1889.
- 7 août 1899, ouragan majeur (classe IV) (69 morts).
- 19 juillet 1903 et 21 août 1909.
- 10 août 1915 puis 13 années sans cyclone.
- **12 septembre 1928 ouragan majeur (classe V et classe IV sur la Guadeloupe) qui aurait fait plus de 1500 victimes.**
- 1er septembre 1930 puis 20 ans sans cyclone.
- 22 août 1950 : BAKER.
- 1er septembre 1950 : DOG, ouragan sur la Guadeloupe et tempête sur les Iles du Nord.
- 14 septembre 1953 : EDMA, tempête sur les Iles du Nord.
- 2 octobre 1955 : ALICE, ouragan sur les Iles du Nord.
- 11 août 1956 : BETSY, ouragan majeur (classe III, mais classe I sur la Guadeloupe)(6 morts et dommages importants).
- 30 août 1958 : ELLA, tempête sur la Guadeloupe.
- 18 août 1959 : EDITH, tempête sur la Guadeloupe et sur les Iles du Nord.
- 4 et 5 septembre 1960 : DONNA, ouragan majeur (classe IV) sur Saint-Barthélemy et Saint-Martin.
- 1er octobre 1961 : FRANCES, tempête sur la Guadeloupe.
- 26 octobre 1963 : HELENA, tempête tropicale responsable de très fortes inondations en Côte Sous le Vent (5 morts).
- **22 août 1964 : CLEO, ouragan majeur (classe IV, mais classe III en Guadeloupe) responsable de 14 morts et dommages très importants.**
- 26 août 1966 : FAITH, ouragan sur les Iles du Nord.
- **27 septembre 1966 : INEZ, ouragan majeur (classe III, proche de la classe IV) responsable de 25 à 33 morts selon les sources et de dommages matériels considérables.**
- 28 août 1979 : DAVID, ouragan majeur (classe IV) passant sur la Dominique et touchant la Côte Sous le Vent de la Basse-Terre avec dommages considérables.
- 17 juillet 1979 : CLAUDETTE, tempête sur les Iles du Nord.

- 4 septembre 1979 : FREDERIC, avec des dommages importants sur les Iles du Nord.
- 3 et 4 août 1980 : ALLEN, ouragan majeur passant au sud de la Martinique mais responsable de dommages matériels en Guadeloupe. C'EST L'OURAGAN LE PLUS FORT DU POINT DE VUE DE LA VITESSE DES VENTS MOYENS (305 km/h) JAMAIS ENREGISTRÉ DEPUIS 1970, DANS LA CARAÏBE, DATE DU DÉBUT DES OBSERVATIONS PAR SATELLITES.
- 8 septembre 1981 : GERT, tempête sur la Guadeloupe.
- **16 et 17 septembre 1989 : HUGO, ouragan majeur (classe V, mais classe IV sur la Guadeloupe) responsable de 6morts directs (+ un accident d'hélicoptère qui a suivi : 9 morts) et surtout de dommages considérables en Guadeloupe.**
- 5 et 6 octobre 1990 : KLAUS, tempête sur la Guadeloupe et sur les Iles du Nord.
- 25 août 1995 : IRIS, tempête sur la Guadeloupe et sur les Iles du Nord.
- **5 septembre 1995 : LUIS, ouragan majeur (classe IV), 1 mort en Guadeloupe, de très nombreuses victimes à Saint-Martin et des dommages considérables dans les Iles du Nord.**
- **14 et 15 septembre 1995 : MARILYN, ouragan (classe III, mais I en Guadeloupe) responsable de graves inondations sur la Côte Sous le Vent de Basse-Terre (maisons et véhicules emportés à la mer).**
- 8 juillet 1996 : BERTHA, ouragan sur les Iles du Nord.
- 8 septembre 1996 : HORTENSE, tempête tropicale sur la Guadeloupe.
- 20 et 21 septembre 1998 : GEORGES, ouragan majeur, quelques dégâts, mais évite la Guadeloupe, dégâts plus importants dans les Iles du Nord.
- 21 octobre 1999 : JOSE, responsable de pluies exceptionnelles dans les Iles du Nord.
- 17 au 19 novembre 1999 : LENNY, ouragan majeur (classe IV, mais tempête tropicale sur la Guadeloupe), phénomène très tardif et atypique par sa trajectoire d'OUEST en EST générant une puissante houle d'OUEST occasionnant d'importants dégâts sur la Côte Sous le Vent de la Basse-Terre. Effets périphériques sur la Guadeloupe avec des pluies exceptionnelles et de très importantes inondations.
- 21 et 22 août 2000 : DEBBY, passage sur les Iles du Nord, occasionnant peu de dégâts.
- 14 septembre 2004 : JEANNE, ouragan majeur (classe IV) passage au stade dépression tropicale sur la Guadeloupe, occasionnant peu de dégâts.
- 2 août 2006 : CHRIS, tempête tropicale qui frôle les Iles du Nord, occasionnant peu de dégâts.
- 2 septembre 2009 : ERIKA, tempête tropicale qui passe au Nord de la Guadeloupe, occasionnant peu de dégâts, mais des pluies impactant fortement le Sud de la Dominique.
- 7 et 8 septembre 2010 : GASTON, dépression tropicale qui passe entre la Guadeloupe et les Iles du Nord, sans conséquences particulières.
- 21 août 2011 : IRENE, ouragan majeur (classe III), mais tempête tropicale au passage du Nord de la Guadeloupe, sans conséquences notables.
- 22 août 2012 : ISSAC, tempête tropicale qui passe sur le Sud de la Guadeloupe, sans conséquences notables.

| Intensité ressentie sur la Guadeloupe moyenne à forte intensité | | | | |
|---|--------|---------------------------------|---|---|
| Siècle | Nombre | Date | Observations – Commentaires des auteurs ² | Remarques |
| XVIIIe | 7 | 4 octobre 1713 | <i>Ou septembre selon certains auteurs (on a retenu la date proposée par A. Lebel) : fut moins destructeur qu'en Martinique mais qualifié de « terrible et ruineux » pourtant. On le classe donc dans les cyclones d'intensité moyenne</i> | |
| | | 29 août 1738 | <i>Référencé parfois au 12 septembre... Marée cyclonique spectaculaire en baie de Pointe-à-Pitre (au moins 85 esclaves tués) ; Marie-Galante aurait subi de très sévères destructions, avec nombreuses victimes</i> | |
| | | 10 septembre 1740 | <i>Cyclone plus ravageur encore que celui de 1738, auquel la population commençait juste de se remettre, premières récoltes attendues et toutes détruites de nouveau ; désastre humain et économique sur toute la Basse-Terre et Pointe-à-Pitre</i> | |
| | | 6 octobre 1766 | <i>Ouragan aux pluies abondantes et inondations meurtrières sur la Basse-Terre, accompagné d'un « raz-de-marée » (sic) : 29 bateaux et goélettes détruits (source A. Lebel)</i> | |
| | | 6 septembre 1776 | 4 cyclones en 4 ans de 1772 à 1776 | |
| | | 23 août 1787 | | |
| | | 1er août 1792 | Soit 5 cyclones en l'espace de 2 ans ! | |
| XIXe | 4 | 26 juillet 1825 | <i>Ouragan intense sur moitié sud Basse-Terre et Marie-Galante : probablement 500 morts environ</i> | |
| | | 21 août 1848 | <i>Sur la Désirade et Anse-Bertrand où il est qualifié de « terrible » (993 mb à la Désirade)</i> | |
| | | 6 septembre 1865 | <i>Ouragan majeur : 300 morts peut-être dont 59 à Marie-Galante</i> | |
| | | 7 août 1899 | <i>Ouragan majeur passant sur la Grande-Terre, avec une intensité de classe 4 probablement (la base de données américaine indique une pression centrale voisine de 930 mb à ce moment-là et des vents soutenus pouvant avoisiner les 240 km/h) : 69 morts</i> | |
| XXe | 9 | 28 août 1924 | Ouragan modéré sur la Désirade et moitié nord-est Grande-Terre (pression 965 mb au centre) | |
| | | 12 septembre 1928 | <i>Le « grand siklon » de la 1re moitié du siècle, a traversé l'île d'est en ouest, du sud de la Désirade jusqu'à Sainte-Rose, l'oeil passant sur Pointe-à-Pitre et sa rade. On parle de 1200 à 1500 morts, de dégâts exceptionnels (plus que ceux de HUGO en 1989 en raison de l'habitat plus fragile et d'un territoire plus vulnérable à l'époque). Les vents ont été estimés à 220/240 km/h en vent soutenu (ouragan de classe 4, pression minimale voisine de 940 mb sur Pointe-à-Pitre), avec des rafales supérieures à 270 km/h et une marée de tempête meurtrière de 2 à 3 mètres sur les îlets du Petit Cul-de-Sac marin, à l'époque très habités</i> | |
| | | 11 août 1956 BETSY | 6 morts . Centre passant sur Marie-Galante et sud Basse-Terre : fortes pluies. | |
| | | 22 août 1964 CLÉO | Impact violent sur moitié sud de l'archipel : 14 morts | |
| | | 27 septembre 1966 INEZ | Impact violent (vent, pluie, mer) et dégâts extrêmement importants : 25 (ou 33 ?) morts | |
| | | 29 août 1979 DAVID | <i>Ouragan de classe 4, passé à une cinquantaine de kilomètres au sud de la Guadeloupe. Vents d'ouragan ressentis sur le sud de l'archipel avec une houle très importante qui a causé de gros dégâts aux infrastructures portuaires de Basse-Terre ainsi que des pertes agricoles</i> | |
| | | 16/17 septembre 1989 HUGO | Impact très violent (vent, pluie,) | |
| | | 4/5 septembre 1995 LUIS | <i>Ouragan intense de grande taille affectant par ses vents forts et ses pluies abondantes le territoire, bien que passé assez loin au nord-est. 1 mort</i> | A affecté essentiellement l'île de St Martin |
| | | 14/15 septembre 1995 MARILYN | <i>Ouragan intéressant de plein fouet les Saintes et la moitié sud de la Basse-Terre par ses vents, sa houle et ses fortes pluies sur le relief notamment</i> | A affecté essentiellement le Sud Basse Terre |
| XXI | 2 | 06 septembre 2017 Irma | | A affecté essentiellement l'île de St Martin |
| | | 15 septembre 2017 Maria | | A affecté essentiellement l'île des Saintes et le Sud Basse Terre |

Tableau 1 Synthèse des phénomènes moyens à forts

² « ÉCLATS DE TEMPS, Antologie des événements climatiques extrêmes de la Guadeloupe » de Jean-Claude HUC et Max ETNA

Un Cyclone Tropical est un phénomène dangereux qu'il ne faut pas sous-estimer sous toutes ses composantes (les vents forts, les pluies, la houle, la marée de tempête, et plus rarement les orages). Les alertes sont à prendre au sérieux. D'énormes progrès ont été faits sur la connaissance de cet aléa. Depuis les années 1970, les satellites nous permettent de le voir, de mieux le suivre, de le caractériser. Les prévisions des trajectoires et d'intensité sont de plus en plus fiables, mais il reste encore beaucoup d'incertitudes pour avoir une fiabilité complète. Il faut, pour le moment, toujours se méfier des prévisions de trajectoires des phénomènes non mûres, en pleine formation tout près de nos côtes.

On se rappellera l'Ouragan Marilyn en 1995 et plus récemment, en août 2011, la Tempête Tropicale Irène et leurs trajectoires capricieuses. Le public peut penser à tort que les spécialistes se trompent mais il s'agit tout simplement d'un travail aux limites des connaissances actuelles.

| Ouragan | Caractéristiques générales | Caractéristiques au moment du passage sur l'île | Commentaires |
|----------------------|--|---|--|
| HUGO 16 Sept 1989 | <p>Huitième cyclone de la saison cyclonique 1989, qui en a compté au total 11.</p> <ul style="list-style-type: none"> Intensité : ouragan de classe 5 (intensité la plus forte observée durant son existence). Vents maximaux soutenus : 145 noeuds, soit 270 km/h - pression minimale : 918mb. Ces valeurs sont estimées alors que l'ouragan est situé à près de 1 000 km à l'est-sud-est de la Guadeloupe le 15 septembre. Durée de vie : 15 jours, du 10 au 25 septembre. Distance totale parcourue : environ 10 000 kilomètres | <p>Intensité d'ouragan de classe 4.</p> <ul style="list-style-type: none"> Passage du centre de l'oeil : sur Saint-François le 17 septembre vers 00 h 00 ; sur Pointe-à-Pitre Abymes à 1 h 30 ; sur l'îlet Fajou vers 1 h 45 - 2 h 00. Pression dans l'oeil : 940 mb (estimée par avion de reconnaissance). Pressions minimales relevées dans l'oeil : 943,4 mb au centre du Raizet ; 945 mb au Gosier ; 987 mb à Basse-Terre. Diamètre estimé de l'oeil : 37 km. Vitesse de déplacement : 26 km/h (vitesse observée uniquement au passage sur la Guadeloupe, alors qu'elle est de 19 km/h avant et après). Vents maximaux soutenus : estimés entre 120 et 125 noeuds (soit 220/230 km/h). Extension des vents de force ouragan : environ 200 km autour du centre, surtout dans la partie nord. Durée des vents forts sur l'archipel (à moduler selon la progression de l'oeil) : Force tempête : entre 18 h 00 (la Désirade) le 16 septembre et 07 h 00 - 9 h 00 le 17 (pointe nord de la Basse-Terre), soit une durée d'environ 17 heures. Force ouragan : à partir de 19 h 30 - 20 h 00 le 16 septembre (en commençant par la Désirade) et jusque vers 06 h 00 le 17 (nord-ouest de la Guadeloupe), soit environ 10 heures. Une marée de tempête (surcote marine) estimée à environ 3 mètres a été observée dans le Petit Cul-de-sac marin. Le cumul des précipitations est important (entre 150 et 300 mm selon les postes), sans toutefois être exceptionnel pour un cyclone. | <p>Facteur de rafale estimé : ~ 1,40</p> |
| LUIS 05 sept 1995 | <p>Douzième cyclone de la saison cyclonique qui en a compté au total dix-neuf.</p> <ul style="list-style-type: none"> Intensité : ouragan de classe 4 (intensité la plus forte observée durant son existence). | <p>Intensité d'Ouragan cat 4</p> <ul style="list-style-type: none"> Vents maximaux soutenus : 120kt noeuds, soit 220 km/h – rafales à 270 km/h. (Une rafale de vent aurait été mesurée à l'aéroport de Grand-Case à 325 km/h) pression minimale de 942 hPa. 165 mm de pluies en 48 heures sur l'île. | <p><i>A comparer avec IRMA 05/09/2017</i></p> <p>Facteur de rafale calculé : 270/(0,88*220)=~1,40</p> |

| | | | |
|-------------------------------|---|---|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> Vents maximaux soutenus : 120Kt à 130 kt noeuds, soit 220 à 240 km/h - pression minimale, de 936 hPa. Durée de vie : du 27 au 12 septembre. Distance parcourue : kilomètres | <p>Durée des vents force Tempête : 21 heures.</p> <ul style="list-style-type: none"> Durée des vents force Ouragan : 8 heures. Passage au plus près du mur de l'oeil entre 25 et 30 km dans le Nord-Est de St-Martin du 5 sept, 8h au 6 sept 2h locales . Vitesse de déplacement entre 11 et 15 km/h. En 1995, LUIS fut l'ouragan le plus dévastateur pour St-Martin, avec presque 2 milliards de dollars de dégâts cumulés sur les deux parties, depuis l'Ouragan DONNA en 1960. | |
| MARYLIN 14-15 sept 1995 | <p>Treizième cyclone de la saison cyclonique qui en a compté au total dix-neuf.</p> <ul style="list-style-type: none"> Intensité : ouragan de classe 3 (intensité la plus forte observée durant son existence). Vents maximaux soutenus : 100 noeuds, soit 185 km/h - pression minimale, de 950 mb. Durée de vie : 20 jours du 12 septembre au 1er octobre. Distance parcourue : 6 300 kilomètres | <p>Intensité d'ouragan de classe 1.</p> <ul style="list-style-type: none"> Passage de l'oeil dans le canal des Saintes vers 19 h 45, puis à 15 kilomètres à l'ouest de la ville vers 20 h 00. Pression minimale dans l'oeil : 983 mb. Pression enregistrée dans le bourg de Basse-Terre (observateur) : 989 mb. Diamètre estimé de l'oeil : 15 kilomètres. Vitesse de déplacement : 11 noeuds, soit environ 20 km/h. Vents maximaux soutenus : 70 à 75 noeuds (130 à 140 km/h), rafales jusqu'à 160 km/h. Extension des vents d'ouragan : jusqu'à 45 kilomètres, surtout dans les parties nord et est. (*) Extension des vents de tempête : jusqu'à 150 kilomètres, principalement au nord et à l'est du centre (*graphiques 1 et 2). Durée des vents forts sur le sud Basse-Terre <ul style="list-style-type: none"> - force tempête : de 19 h 00 à minuit soit environ 5 heures - force ouragan : de 20 h 00 à 21 h 40, soit environ 1 heure 40 | <p><i>A comparer avec MARIA 12/09/2017</i></p> <p>Facteur de rafale calculé : 160/114≈1,40</p> |

Tableau 2 Caractéristiques des récents ouragans ayant frappés fortement l'archipel³

| CYCLONES | Année | Date au plus proche de la Guadeloupe | Dimension ŒIL (diamètre) | Vitesse de déplacement | Pression relevée dans la ville de Basse Terre | Rayon Vents > 64 nœuds (vers le nord de l'œil) | Rafales mesurées à Basse-Terre | Rafales estimées à Basse-Terre |
|----------|-------|--------------------------------------|--------------------------|------------------------|---|--|--------------------------------|--------------------------------|
| BETSY | 1956 | 11-août | 18 km | 30 km/h | 979 hPa | 25 km | | 165 km/h |
| CLEO | 1964 | 22-août | 10 km | 39 km/h | 966 hPa | 60 km | | 220 km/h |
| DAVID | 1979 | 29-août | 30 km | 25 km/h | 996 hPa | 90 km | 180 km/h | |
| MARILYN | 1995 | 14-sept | 15 km | 20 km/h | 989 hPa | 45 km | | 160 km/h |
| MARIA | 2017 | 19-sept | 20 km | 15 km/h | 985 hPa | 45 km | | 200 km/h |

Tableau 3 Comparaison des caractéristiques des ouragans lors de leur passage au plus près de la Guadeloupe⁴

³ Source ECLATS DE TEMPS J-C HUC & M. ETNA (PLB Editions)

⁴ Source L'ouragan MARIA en Guadeloupe 18 et 19 septembre 2017 J-C. HUC-R. MAZURIE -F. BOREL

2.4.2. Bilan année 2017

En 2017, le bassin de l'Atlantique Nord a vu une activité cyclonique très active courant septembre ; quatre cyclones tropicaux se sont formés et ont tous évolué en ouragan et trois d'entre eux ont atteint le stade d'ouragan majeur. L'ouragan IRMA est né fin août et a sévit courant septembre en atteignant la catégorie 5, tout comme MARIA ce même mois. **En tenant compte des observations comprises entre 1981 et 2010, le nombre de phénomènes nommés durant ce mois de septembre est resté proche de la moyenne, mais les nombres d'ouragans et d'ouragans majeurs ont tous deux été au dessus de la moyenne.**

En terme d'Énergie Cyclonique Accumulée (ECA ou ACE en anglais), qui mesure à la fois la puissance et la durée d'un cyclone tropical, septembre 2017 est devenu le mois le plus actif, battant largement le dernier record établi en septembre 2004. Globalement, ce mois de septembre a été environ 3,5 fois plus actif que les moyennes observées en septembre durant la période 1981–2010. **L'ensemble de la saison 2017 est aussi au dessus de la moyenne et est la troisième saison la plus active avec celle des années 1933 et 2004.**

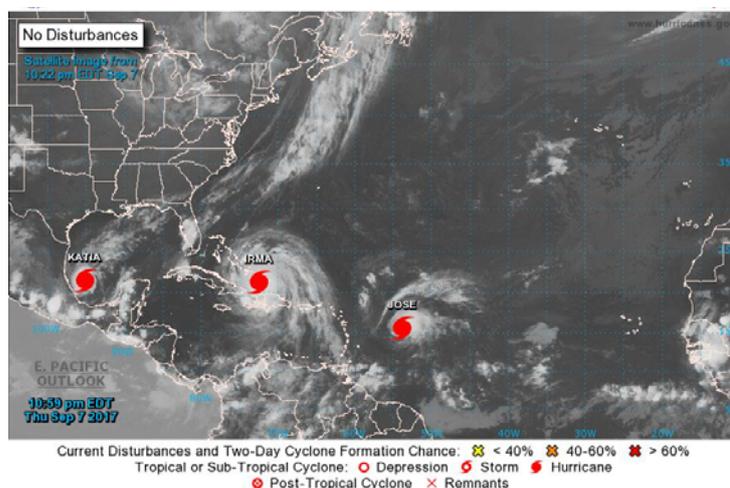


Figure 4 Photo satellite des 3 cyclones du mois de septembre 2017 (Source NHC)

Il est par ailleurs frappant, de constater qu'en l'an 1995, 2 cyclones majeurs frappent l'arc antillais (comme en 2017) le premier Luis ravageant l'île de St Martin le 05 septembre 1995 , le deuxième Marylin frappe le 12/09/17 le Sud Base Terre.

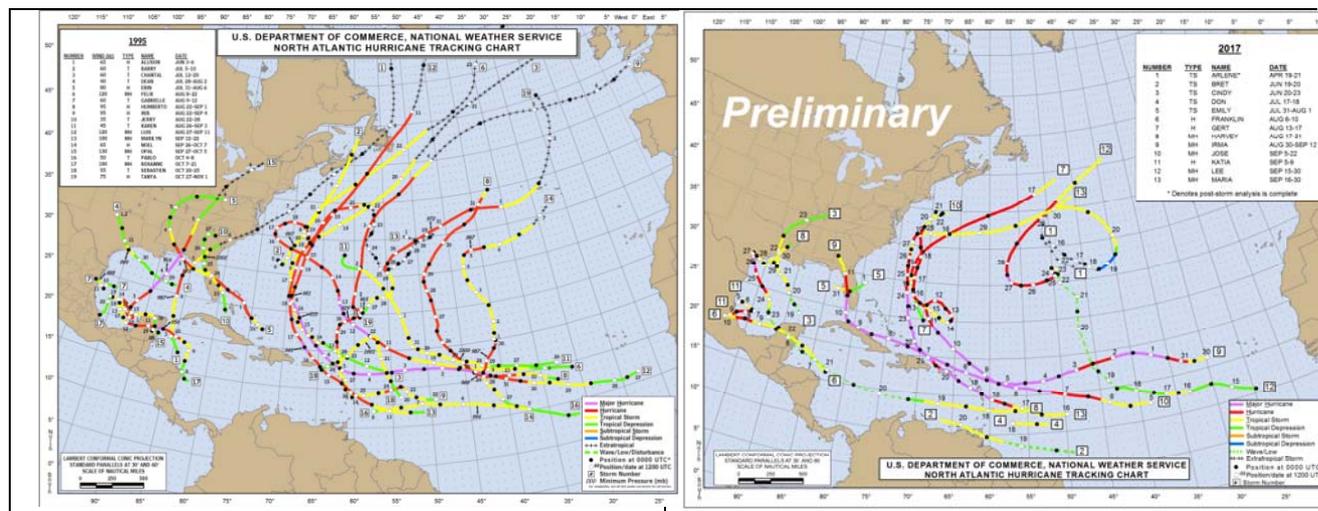


Figure 5 Activité cyclonique et Trajectoires des cyclones en 1995 et en 2017 (Source NHC)

2.5.Approche théorique et scientifique –Etudes CSTB et DIRAG/Météo France

Les informations principales de ce chapitre sont tirées du mémoire de **Jacques BIETRY** en réponse aux critiques émises au cours de l'enquête probatoire sur l'annexe nationale de la norme NF EN1 991-1-4: **Annexe nationale à la norme NF EN 1991-1-4 :éléments d'information pour la réunion de dépouillement de l'enquête probatoire**

Pour permettre de retenir une vitesse de vent de référence dans l'Eurocode pour la Martinique et La Guadeloupe, Jacques Bietry s'est appuyé sur les études climatologiques suivantes :

- **Etude de D. Delaunay au CSTB** datée de 1986.
- **Etude DIRAG / Météo France** , non datée mais postérieure à 1998.

2.5.1. Étude CSTB (1986)

L'objet de cette étude est de déterminer les distributions du vent maximal annuel dans les DOM-TOM sujets aux cyclones tropicaux

L'étude CSTB utilise une méthode de simulation (méthode de Monte-Carlo) à partir des statistiques de caractéristiques observées ou facilement mesurées telles que le nombre de cyclones approchant le site chaque année, la pression atmosphérique dans l'oeil, les trajectoires et la vitesse de déplacement du cyclone, l'extension horizontale, etc.

Cette simulation utilise une modélisation physique de la vitesse du vent en un lieu donné en fonction des caractéristiques précédentes ; cette modélisation de la vitesse du vent a été confrontée à un ensemble de mesures réelles, sélectionnées, dans diverses stations. Les statistiques des caractéristiques des cyclones ont été établies, pour les Antilles, à partir des cyclones observés sur la période 1915-1984. Après tirage au sort d'un grand nombre de cyclones (virtuels) répondant aux distributions statistiques précédentes, est obtenu, avec le modèle physique, un échantillon de vitesses de vent sur un site donné. Les méthodes statistiques habituelles sont ensuite utilisées pour déterminer les valeurs de la vitesse du vent correspondant aux périodes de retour visées, notamment la valeur cinquantennale.

Les vitesses de vent moyen sur **10 minutes**, à 10m de hauteur au dessus de la mer, de période de retour comprise entre 10 et 1000 ans sont ainsi estimées.

| Station | Nombre d'années de mesures | Fréquence minimale | Fréquence maximale | Phénomènes |
|-----------------|----------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|
| Raizet (*) | 33 | 0 | 1 | Inez 66 |
| Gustavia (*) | 37 | 0 | 2 | Dog 50/ Donna 60 |
| Caravelle (*) | 21 | 1 | 1 | David 79 |
| Lamentin | 21 | 0 | 1 | Edith 63 |
| Desaix | 33 | 0 | 0 | |
| Saint-Denis(*) | 31 | 1 | 1 | Jenny 62 |
| Saint-Pierre | 28 | 0 | 0 | |
| Nouméa | 36 | 0 | 1 | 14 mars 1948 |
| Koumac | 32 | 0 | 0 | |
| Tontouta (*) | 36 | 1 | 2 | 14 mars 1948/ 26 février 1951 |
| Faaa (*) | 25 | 1 | 1 | Veena 83 |

Tableau 4 Fréquences des pointes de vent avec $V_{mer} \geq 35m/s$

Les vitesses de vent moyennes à 10 mètres de hauteur au-dessus de la mer estimées pour les périodes de retour de 25 ans à 1000 ans sont indiquées dans le document de D Delaunay.

| Période de retour (années) | Probabilité de dépassement en 50 années (%) | Vitesses du vent (m/s) | | | | | |
|----------------------------|---|------------------------|------------|------------|---------|--------------------|--------|
| | | St-Barthélemy | Guadeloupe | Martinique | Réunion | Nouvelle-Calédonie | Tahiti |
| 25 | 87 | 32 | 32 | 29 | 38 | 38 | 30 |
| 50 | 64 | 37 | 37 | 35 | 40 | 40 | 34 |
| 100 | 40 | 41 | 40 | 39 | 43 | 43 | 39 |
| 225 | 20 | 46 | 44 | 44 | 46 | 45 | 43 |
| 500 | 10 | 49 | 47 | 48 | 48 | 48 | (47)* |
| 1 000 | 5 | 52 | 50 | 51 | 50 | 49 | (52)* |

* Estimation peu fiable

Tableau 5 vitesse de vent moyen sur 10minutes à 10m au dessus de la mer pour diverses périodes de retour

La valeur du facteur de rafale défini comme étant le rapport entre la vitesse maximale du vent, moyennée sur 2 à 3s, enregistrée pendant une période de 10min, et la vitesse moyenne du vent sur cette période, estimée par le CSTB serait de l'ordre de **1,40 sur mer et 1,60 sur terre**.⁵

Les conclusions tirées de cette étude par J Bietry dans son document du 13 septembre 2006 *Vent de référence en France : propositions pour l'Annexe nationale de l'Eurocode NF EN 1991-1-4*, sont :

- Le vent cinquantennal est sensiblement inférieur à la Martinique par rapport à la Réunion, mais les vitesses de période de retour égale à 1000 ans, sont quasiment identiques aux Antilles et à la Réunion. Autrement dit, les vitesses de vent exceptionnellement fortes (dépassant en valeur, et en rareté, le vent de référence cinquantennal) sont à peu près identiques dans les DOM.
- **La vitesse de référence du vent (vitesse de vent moyenne à 10 mètres de hauteur au-dessus d'un terrain dégagé) proposée pour les Antilles et la Réunion est de 34m/s (fondée sur l'étude de D. Delaunay au CSTB)**
- au calcul le coefficient partiel γ appliqué aux actions du vent dans les vérifications aux Etats Limites Ultimes, qui est censé couvrir, entre autres, le risque de dépassement de la vitesse de référence, ne dépend pas du lieu.
- En outre, en comparant $\sqrt{\gamma} = \sqrt{1,5} = 1,23$ au rapport des vitesses de périodes de retour égales à 1000 ans et 50 ans (V_{1000}/V_{50}) donné dans le tableau ci-dessous : le coefficient partiel γ « couvrirait » sensiblement le vent « millennial » à la Réunion, mais pas en Guadeloupe ni surtout en Martinique.

| Période de retour (années) | Vitesse moyenne à 10 mètres au dessus de la mer (Catégorie 0) (m/s) | | | Vitesse moyenne à 10 mètres au dessus d'un terrain dégagé (Catégorie II) (m/s) | | |
|----------------------------|--|------------|---------|--|------------|---------|
| | Guadeloupe | Martinique | Réunion | Guadeloupe | Martinique | Réunion |
| 50 | 37 | 35 | 40 | 30,1 | 28,5 | 32,5 |
| 1000 | 50 | 51 | 50 | 40,7 | 41,5 | 40,7 |
| Rapport V_{1000}/V_{50} | 1,35 | 1,46 | 1,25 | 1,35 | 1,46 | 1,25 |

Tableau 6 -Vitesse moyenne du vent à 10m dans les DOM à 50ans et 1000ans

⁵ Il est à noter qu'en France hexagonale le facteur de rafale serait plutôt de l'ordre de 1,10

2.5.2. Étude DIRAG/Météo France

L'étude DIRAG / Météo France est plus récente que la précédente ; elle ne concerne, par construction, que la région des Antilles. Elle utilise en effet la base de données américaine HURDAT du NHC qui rassemble les caractéristiques principales de chaque cyclone, toutes les 6 heures, en Atlantique Nord à partir de 1886 : nom du cyclone, position, vitesse et direction du déplacement, pression dans l'oeil, « force du vent » c'est-à-dire la vitesse moyenne sur 1 minute en surface au « rayon des vents maximaux » (RVM).

À partir des caractéristiques de chaque cyclone répertorié dans la base, dans la période 1886-1996, la DIRAG a estimé la vitesse moyenne du vent à Fort-de-France, Pointe-à-Pitre et Gustavia (Saint Barthélemy, au Nord-Ouest de la Guadeloupe) en utilisant des modèles expérimentaux donnant le RVM et la décroissance de la vitesse du vent au-delà du RVM.

L'étude DIRAG porte donc sur des cyclones réels (et non pas simulés comme dans l'étude CSTB) sur une période d'observation plus grande (111 ans, contre 70 ans dans l'étude CSTB).

Estimation de la vitesse de référence du vent à partir de l'étude DIRAG

L'étude DIRAG considère la vitesse moyenne sur 1 minute, en surface au-dessus de la mer, qu'il faut donc transposer aux conditions conventionnelles de l'Eurocode (vitesse moyenne sur 10 minutes, à 10 m de hauteur, en rugosité II « rase campagne »).

Pour son étude de validité des méthodes employées, par comparaison avec des vitesses mesurées dans des stations de Météo France lors du passage de certains cyclones, la DIRAG utilise un coefficient égal à 0,8 pour passer de la vitesse moyenne sur 1 minute à une moyenne sur 10 minutes, sans précisions sur les conditions de rugosité et donc de turbulence dans les stations considérées.

Il faut distinguer deux étapes dans la transposition visée :

- a) d'abord le passage d'un vent moyenné sur 1 minute à un vent sur 10 minutes, au-dessus de la mer ;
- b) puis le passage du vent moyenné sur 10 minutes au-dessus de la mer au vent sur 10 minutes à 10 m de hauteur sur un terrain de rugosité II ($z_0 = 0,05$ m).

Concernant la phase a) de la transposition, J.M. Moisselin (Météo France) rassemble, dans un rapport de 2004, les facteurs de conversion que l'on trouve dans la littérature :

- 0,871 selon E. Simiu (1978),
- 0,88 pour les besoins opérationnels de l'US Navy,
- 0,9 pour le CMRS (Centre météorologique régional spécialisé) de Fidji,
- 0,88 ou 0,90 en Australie,
- 0,8 pour le CMRS de La Réunion jusqu'en 1999.

Pour la phase b) de la transposition, c'est-à-dire la conversion de la vitesse moyenne sur 10 minutes, à 10 m de hauteur, de la rugosité 0 (mer) à la rugosité II (rase campagne), il suffit d'utiliser le « coefficient de rugosité » $cr(z)$ de l'Eurocode. Le coefficient de réduction pour passer de la rugosité 0 à la rugosité II est égal à $1 / 1,23 = 0,81$.

J.M. Moisselin retient la valeur de 0,88, qui sera également utilisée dans le document de J Bietry.

Au total, à 10 m de hauteur, on passe de la vitesse moyenne sur 1 minute au-dessus de la mer (rugosité 0), à la vitesse moyenne sur 10 minutes en rugosité II (rase campagne) au moyen du coefficient : $0,88 / 1,23 = 0,715$.

L'étude DIRAG DUREES DE RETOUR DES VENTS CYCLONIQUES (sur les Antilles françaises) conclue entre autre qu'il apparaît clairement que les îles du Nord et la Guadeloupe sont soumises aux mêmes risques de forts vents cycloniques et que la Martinique est moins exposée. Ainsi, les vents de force tempête sont aussi fréquents sur les trois îles et les vents associés à des ouragans de classe 2 sont deux fois plus fréquents en Guadeloupe et à St-Barthélémy qu'en Martinique.

Définition Météo France

- En météorologie, le **vent** désigne le **mouvement horizontal de l'air**. Sa mesure comprend deux paramètres : sa **direction** et sa vitesse ou **force**. La vitesse est exprimée communément en km/h ou m/s. Marins et pilotes utilisent les nœuds (1 nœud = 1,852 km/h). La mesure du vent est toujours une moyenne sur une période donnée. L'anémomètre permet de mesurer la vitesse du vent
- Vent instantané, vent moyen et rafale : La variabilité du vent (force, direction) en un endroit donné est généralement forte. C'est pourquoi les météorologues mesurent le vent « **instantané** » et le vent « **moyen** ».
 - Le vent instantané est mesuré sur une période de 3s,
 - alors que le vent moyen est calculé sur une période de 10 minutes.
 - Une **rafale** est une brusque augmentation du vent instantané, dépassant le vent moyen de plus de 10 nœuds (18 km/h). Lors d'une rafale, la direction du vent peut également varier, tournant quelquefois de plus de 45° par rapport à celle du vent moyen. Les rafales sont d'autant plus vigoureuses que l'air est instable (orages ou giboulées), le vent moyen est fort ou l'écoulement de l'air est perturbé par le relief (ou les constructions urbaines).

2.5.3. Proposition J Bietry et Comparaison des vitesses obtenues au moyen des études CSTB et DIRAG

Dans son mémoire Jacques Bietry fait une comparaison des deux études; la figure suivante illustre les valeurs de la vitesse moyenne sur 10 minutes, à 10 m au-dessus de la mer, pour des périodes de retour allant de 20 à 500 ans:

- -en Guadeloupe et Martinique selon l'étude DIRAG,
- -en Guadeloupe, Martinique et Réunion selon l'étude CSTB,
- -en Région 2 (la plus étendue) en Métropole, à titre de comparaison.

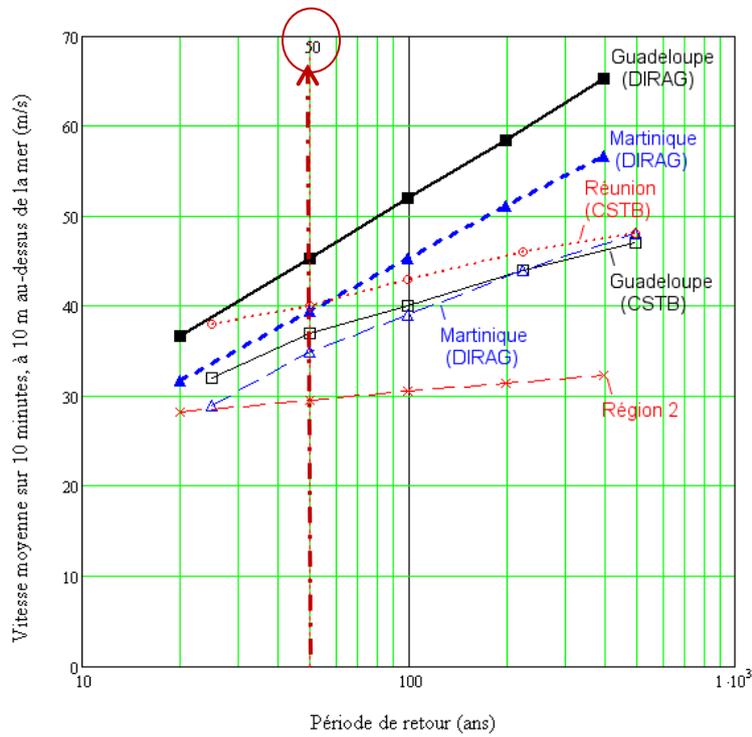


Figure 6 Comparaison des vitesses obtenues au moyen des études pour diverses périodes de retour au dessus de la mer

Par rapport à l'étude CSTB (1986), l'étude récente menée par Météo France / DIRAG à partir de la base HURDAT de données cycloniques sur une période de plus d'un siècle, conduit donc à des vitesses sensiblement supérieures, pour toutes les périodes de retour considérées, et notamment pour la période de retour 50 ans.

Sur ces bases, J Bietry conclue donc sur les valeurs de vitesse de référence du vent V_b (m/s) à retenir pour les Antilles en proposant :

| | Vitesse de référence du vent v_b [m/s] | | |
|--|--|------------|------------|
| | St Barthélémy | Guadeloupe | Martinique |
| Étude CSTB (1986) | 30,1 | 30,1 | 28,5 |
| Étude DIRAG | 36,6 | 36,6 | 31,7 |
| Proposition J Bietry pour NF EN 1991-1-4/NA | 36 | 36 | 32 |

Tableau 7 -Vitesse moyenne du vent à 10m au dessus d'un terrain dégagé (Cat II) dans les DOM

Il conclue qu'il est clair que, si on adopte les vitesses de référence proposées ci-dessus qui répondent strictement aux prescriptions de la norme européenne NF EN 1991-1-4, la fiabilité des constructions serait moindre aux Antilles qu'en Métropole.

Ces valeurs sont celles qui sont adoptées dans l'annexe nationale de la norme NF EN 1991-1-4 qui a remplacé les Règles NV65.

A noter que ces valeurs sont plus fortes pour la Guadeloupe que celles adoptées initialement dans le projet de norme NF EN1991-1-4/NA soumis à enquête public.

2.6.Synthèse

SYNTHESE REX Cyclone

- a) Les cyclones sont des phénomènes météorologiques naturels qui participent aux transferts d'énergie dans l'atmosphère entre les zones subtropicales et les régions tempérées, et concourent ainsi à l'équilibre thermodynamique de la planète. Par leur violence et leur capacité de destruction, ils peuvent ébranler les économies des pays exposés, entraîner des pertes matérielles et, menacer directement ou pas, la vie des habitants de ces îles. Devant de tels phénomènes, la prévision et la prévention constituent la seule parade
- b) Les prévisions des trajectoires et d'intensité sont de plus en plus fiables, mais il reste encore beaucoup d'incertitudes pour avoir une fiabilité complète. Il faut, pour le moment, toujours se méfier des prévisions de trajectoires des phénomènes non mûres, en pleine formation tout près de nos côtes.
- c) En tenant compte des observations comprises entre 1981 et 2010, le nombre de phénomènes nommés durant ce mois de septembre 2017 est resté proche de la moyenne, mais les nombres d'ouragans et d'ouragans majeurs ont tous deux été au dessus de la moyenne
- d) **Les vitesses de vents indiquées *VENTS MOYENS pour classer les cyclones, sont des VENTS MOYENS SOUTENUS PENDANT UNE MINUTE***
- e) Le vent instantané est mesuré sur une période de 3s, alors que le vent moyen est calculé sur une période de 10 minutes à dix mètres de hauteur
- f) **Une rafale** est une moyenne des vents les plus forts mesurés sur un temps inférieur à une seconde. C'est un vent instantané, à l'inverse de ce qu'on appelle le vent moyen, mesuré sur dix minutes
- g) L'énergie libérée est proportionnelle au carré de la vitesse du vent. Ainsi, des vents de 240 km/h(ouragan de classe 4) disposeront d'une énergie et donc d'un potentiel de destruction 14 fois supérieurs à ceux générés par des vents de 64 km/h (tempête tropicale). **Pour un vent de 250 km/h, la pression exercée est équivalente à une masse de 300 kg par mètre carré. Le vent soufflant en rafales exerce des effets de percussion et de vibration très destructeurs**
- h) **Les effets des rafales ne sont pas pris en compte dans la norme pour les ouvrages courants**
- i) **Les vitesses de vents indiquées dans la norme Eurocode « VENT DE REFERENCE Vb »servant de base pour le calcul de structures, sont des VENTS MOYENS PENDANT DIX MINUTES A 10 METRES au dessus d'un terrain dégagé type rase campagne**
- j) A 10 m de hauteur, on passe de la vitesse moyenne sur 1 minute au-dessus de la mer (rugosité 0), à la vitesse moyenne sur 10 minutes en rugosité II (rase campagne) au moyen du coefficient :=0,715 (selon J.M. Moisselin)

3. APPROCHE NORMATIVE –Des Règles NV 65 à la NF-EN1991-1-4

3.1.Hypothèses générales

Il est à noter que depuis le 1^{er} janvier 2014 le corpus normatif a changé notamment à cause de l'obligation réglementaire d'utiliser les règles parasismiques Eurocode dans les zones sismiques imposées par l'arrêté du 22/10/2010. Les normes Eurocodes étant indivisibles et faisant état d'un seul référentiel, cela rend donc applicable les autres normes Eurocodes de calcul notamment la norme NF EN 1991-1-4 définissant les actions du vent sur les constructions.

3.1.1. Valeur de base de la vitesse de référence

3.1.1.1. NV65

Les règles NV 65 fixent les valeurs des charges de la neige et du vent et permettent d'évaluer les efforts correspondant agissant sur la structure d'une construction. Rédigées en 1965, elles ont fait l'objet d'annexes, de révisions, d'addenda en 1967, 1970, 1975, 1976, 1985 (carte neige), 1996 (carte neige), 1999 (carte vent) et 2000 (accumulation de la neige).

Les modifications n° 2 et 3 des règles NV 65 sont une approche d'harmonisation de ces différents textes aussi bien au niveau du zonage du territoire français et des DOM-TOM pour les actions de la neige et du vent qu'à celui de la prise en compte des phénomènes d'accumulation de la neige sur les toitures

Les bases sont les mêmes que celles des Règles NV 46 avec une nuance sur le calcul de la pression de base:

- pression dynamique à 10 mètres s'exerçant sur un élément dont la plus grande dimension est de 0,50 m;
- loi moyenne de variation avec la hauteur ;
- classement en régions ;
- coefficients mesurés au tunnel dans un courant de vitesse uniforme.

Par convention, comme pour les relevés météorologiques, les pressions dynamiques de base normales et extrêmes sont celles qui s'exercent à une hauteur de 10 m au-dessus du sol pour un site normal sur un élément dont la plus grande dimension est égale à 0,50 m.

Les Règles NV65 prennent donc comme base de calculs non pas la vitesse du vent de laquelle on déduirait son action, mais la pression qu'il exerce sur une surface plane, normale a sa direction au point frappé par le filet d'air dont la vitesse s'annule. Cette pression, dite pression dynamique, est donc indépendante de la nature, de la position et des dispositions de la construction.

Dans ce document sont définies deux pressions dynamiques correspondant à des vitesses de vent différentes :

- La vitesse normale (correspondant à la pression dynamique normale) est la vitesse de pointe instantanée (pointe de rafale) qui n'est atteinte ou dépassée que 3 jours sur 1000.
- La vitesse extrême (correspondant à la pression dynamique extrême) est la plus grande vitesse instantanée à laquelle la construction peut être soumise durant sa vie.

Par ailleurs, le rapport entre la pression extrême et la pression normale est de 1,75.

La carte des zones de vent pour les DOM-TOM, classe la Martinique et la Guadeloupe en zone 5 avec les pressions suivantes (les vitesses en sont déduites).

| Exposition | Valeurs normales | | Valeurs extrêmes | |
|-------------|---------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| | Pression dynamique de base W_n (Pa) | Vitesse de vent | Pression dynamique de base extrême W_e (Pa) | Vitesse de vent |
| Site normal | 1 200 | 44,2 m/s (159,2 Km/h) | 2 100 | 58,6 m/s (210,6 Km/h) |
| Site exposé | 1 440 | 48,5 m/s (174,6 km/h) | 2 520 | 64 m/s (231 km/h) |

Tableau 8 Définition des valeurs de pressions aux Antilles selon NV65

3.1.1.2. NF EN1991-1-4

Tout d'abord, il est à noter l'apparition dans cette nouvelle de norme de plusieurs vitesses de vent dont les définitions données dans la NF EN 1991-1-4 sont les suivantes :

- **valeur de base de la vitesse de référence du vent**
vitesse moyenne du vent observée sur une période de 10 min, avec une probabilité de dépassement sur une période d'un an égale à 0,02, toutes directions de vent confondues, à une hauteur de 10 m au-dessus d'un terrain plat de type " rase campagne " et compte tenu des effets d'altitude (le cas échéant)
- **vitesse de référence du vent**
valeur de base de la vitesse de référence du vent modifiée afin de tenir compte de la direction du vent pris en considération et de la saison (le cas échéant)
- **vitesse moyenne du vent**
vitesse de référence du vent modifiée afin de tenir compte de l'effet de la rugosité du terrain et de l'orographie

Les bases de l'Eurocode 1 partie 1.4 sont différentes de celles des NV 65 et font appel au vent « cinquantennal » (de période de retour égale à 50 ans) et à la rugosité du terrain. Les vitesses de référence sont les moyennes sur 10 min caractéristiques, indépendamment de la direction du vent et de la période de l'année, à une hauteur de 10 m au-dessus du sol en terrain dégagé, de type " rase campagne ", à végétation basse telle que de l'herbe et des obstacles isolés séparés les uns des autres d'au moins 20 fois leur hauteur.

Les pressions de référence issues de ces vitesses sont ensuite pondérées par un coefficient d'exposition fonction de la hauteur de la paroi exposée et de la rugosité du terrain sur lequel est implantée la construction.

Les vitesses de vent à prendre en compte sont données pour chaque zone par l'annexe nationale de la norme NF EN 1991-1-4 (Eurocode) qui inclut une nouvelle carte de vent établie sur la base d'une nouvelle étude statistique, achevée en 2005, des relevés météorologiques disponibles.

Il y est noté en préambule que les séries de mesures utilisées ont été sélectionnées et homogénéisées par Météo-France. Ce travail de sélection a conduit à éliminer toutes les mesures faites avec l'anémomètre à quatre coupelles utilisé à partir de 1946 et progressivement remplacé dans les années 1960 à 1970 par un appareil plus performant à trois coupelles. Enfin, l'analyse n'a porté que sur les stations disposant d'au moins 15 années de mesures.

La précision suivante est donnée pour éviter toute velléité de contestation des valeurs proposées :
« *Malgré ces précautions, l'incertitude, inévitable et inhérente au processus statistique, est de l'ordre de 10 % sur la vitesse de référence en un lieu donné. C'est pourquoi les études statistiques entreprises*

spécifiquement pour un projet ne sont pas recommandées, dans la mesure où elles peuvent sous-estimer, voire méconnaître les problèmes de qualité des données météorologiques et les incertitudes liées aux méthodes employées. »

Comme vu au paragraphe précédent, dans son rapport **Annexe nationale à la norme NF EN 1991-1-4 : éléments d'information pour la réunion de dépouillement de l'enquête probatoire**, Jacques Biétry explique que dans les régions exposées aux cyclones, les statistiques ne portent pas sur des vitesses effectivement mesurées dans les stations météorologiques, car les mesures de vents cycloniques, dans une station donnée, sont assez peu nombreuses en outre, par vents très forts, la qualité des mesures n'est pas assurée (mauvais fonctionnement éventuel, voire arrêt de la chaîne de mesure...).

De ce fait, les démarches adoptées par le CSTB en 1986 et Météo France plus récemment, sont très différentes de celles réalisées pour la Guyane et la métropole. Elles portent sur des vitesses de vent « en surface » au-dessus de la mer, calculées à partir des caractéristiques facilement observables des cyclones (trajectoire, pression, etc.). Une correction finale permet de passer à la vitesse de référence répondant aux conditions d'exposition conventionnellement adoptées dans l'Eurocode (vents moyens sur 10 minutes, à 10 m de hauteur, en site de rugosité II).

La nouvelle étude servant de base à l'annexe nationale française de la NF EN 1991-1-4 permettant de définir les vitesses **valeur de base de la vitesse de référence du vent** peut être synthétisée comme suit

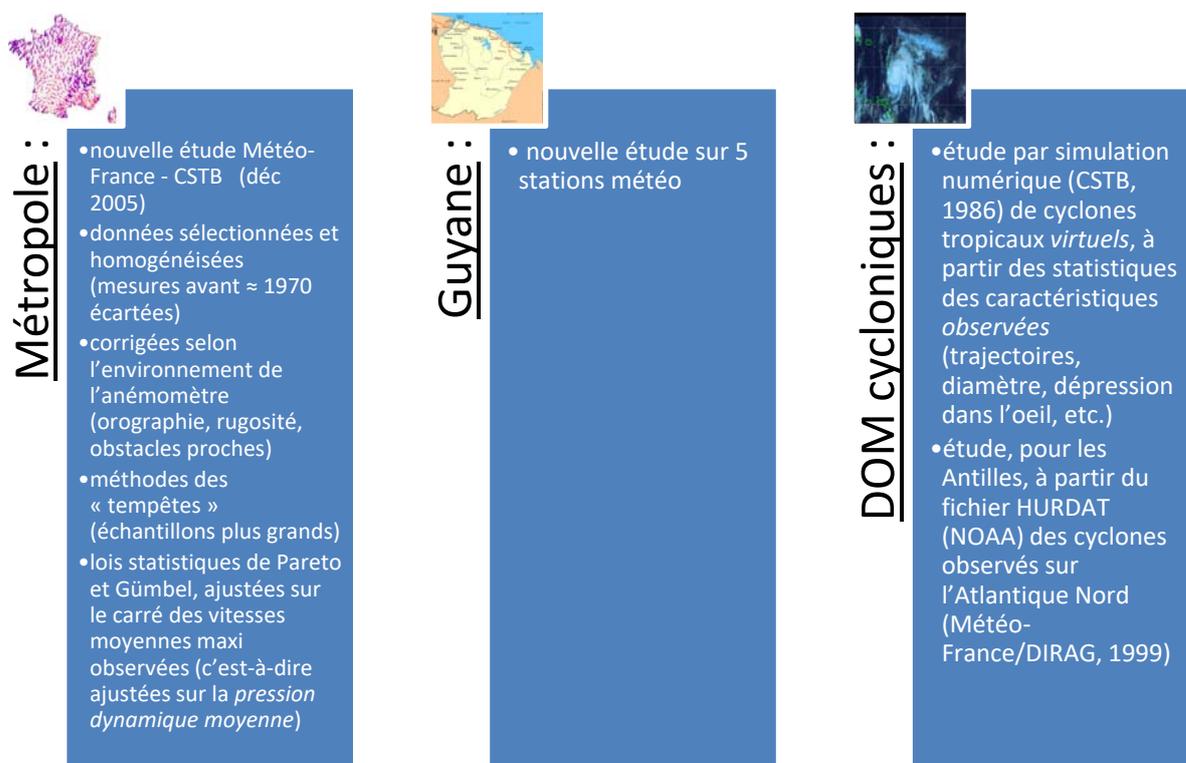


Figure 7 Illustration des méthodes d'étude du vent de référence selon NF EN 1991-1-4/NA

3.1.1.3. Comparaison NV65 et NF EN1991-1-4

Les pressions dynamiques de référence de l'Eurocode et de «base» des Règles NV 65 diffèrent profondément par leur définition : la référence des Règles NV 65 correspond à une vitesse de **pointe** alors que V_{ref} de l'ENV correspond à une vitesse **moyenne** sur 10 minutes.. Il y a un rapport de l'ordre de 2,35, dans les conditions normales de mesures météorologiques, entre les pressions dynamiques correspondant, pour la même tempête, à la vitesse de pointe d'une part et à la vitesse moyenne d'autre part.

L'Eurocode et les Règles NV 65 diffèrent également par la définition même de l'événement météorologique considéré. La NF EN 1991-1-4 considère la tempête « cinquantennale ». Les Règles NV 65 définissent le vent « normal » à partir d'une statistique des vitesses maximales journalières.

Si l'on compare la carte du vent « cinquantenal » établie pour l'Eurocode et la carte des vents forts des Règles NV 65 on peut établir, sur la base de l'analyse statistique du CSTB, que, en moyenne géographique sur l'ensemble de la France :

- le vent « normal » des Règles NV 65 correspond à une « période de retour » de l'ordre de 5 ans (probabilité annuelle de l'ordre de 0,20),
- le vent « extrême » correspond à une « période de retour » de l'ordre de 100 ans (probabilité annuelle de l'ordre de 0,01).

Par ailleurs, dans l' Eurocode 1990 qui donne les combinaisons de calcul, pour les vérifications à l'ELU quel que soit le matériau composant l'élément à dimensionner, le vent est considéré comme une action variable à multiplier par un coefficient de pondération 1,5.

Il est aussi prévu le cas d'une situation de projet accidentelle avec le vent comme action accidentelle, pour traiter l'effet de l'ouverture des baies fermées en situation normale.

3.1.2. Vitesse moyenne et turbulence

La NF EN 1991-1-4 définit une vitesse moyenne du vent $v_m(z)$ à une hauteur z au-dessus du sol dépend de la rugosité du terrain et de l'orographie, ainsi que de la vitesse de référence du vent, v_b définie ci-dessus.

Le coefficient de rugosité, $c_r(z)$, tient compte de la variabilité de la vitesse moyenne du vent sur le site de la construction due à :

- la hauteur au-dessus du niveau du sol ;
- la rugosité du terrain en amont de la construction dans la direction du vent considérée.

L'intensité de la turbulence $I_v(z)$ à la hauteur z est définie comme l'écart type de la turbulence divisé par la vitesse moyenne du vent.

Il en résulte une pression dynamique de pointe $q_p(z)$ à la hauteur z , qui est induite par la vitesse moyenne et les fluctuations rapides de vitesse.

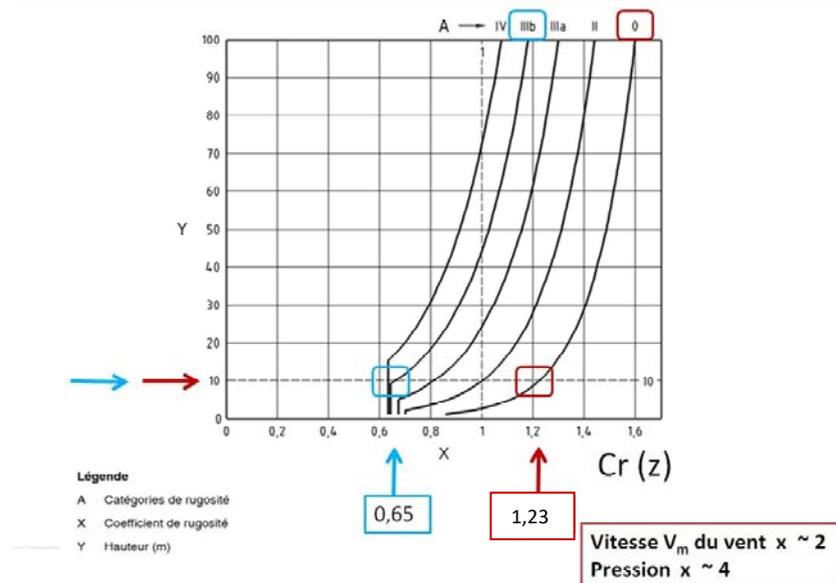


Figure 8 Illustration NF EN1991-1-4 coefficient de rugosité

3.1.3. Catégorie de rugosité ou condition de site

3.1.3.1. NV65

La nature du site d'implantation en comparaison avec celui des relevés météo peut conduire à une diminution ou une augmentation de la vitesse du vent et donc des pressions correspondantes.

Les règles NV 65 considèrent trois types de site :

- site **protégé** : par exemple, fond de cuvette bordée de collines sur tout son pourtour ou site urbain dense ;
- site **normal** : par exemple, plaine de grande étendue avec des dénivellations peu importantes, de pente inférieure à 10 % ;
- site **exposé** : par exemple, littoral en général sur une profondeur de 6 km, sommet des falaises, îles ou presqu'îles étroites, vallées étroites.

En fonction du site, les pressions de base normales et extrêmes doivent être pondérées par un coefficient de site K_s .

| | Zone 1 | Zone 2 | Zone 3 | Zone 4 | Zone 5 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Site protégé | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | (1) |
| Site normal | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Site exposé | 1,35 | 1,30 | 1,25 | 1,20 | 1,20 |

(1) La notion de site protégé n'est pas prise en compte dans cette zone.

Tableau 9-NV 65 -Coefficient de site K_s en fonction de l'implantation

La catégorie de site protégé (ou abrité) n'est pas valable en zone 5 (Antilles)

3.1.3.2. NF 1994-1-4

La NF EN 1991-1-4 définit 5 classes de rugosité :

| Catégorie de terrain | z_0 [m] | z_{min} [m] |
|---|--------------|------------------|
| 0 Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer | 0,003 | 1 |
| I Lacs ou zone plate et horizontale à végétation négligeable et libre de tous obstacles | 0,01 | 1 |
| II Zone à végétation basse telle que de l'herbe, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments) séparés les uns des autres d'au moins 20 fois leur hauteur | 0,05 | 2 |
| III Zone avec une couverture végétale régulière ou des bâtiments, ou avec des obstacles isolés séparés d'au plus 20 fois leur hauteur (par exemple des villages, des zones suburbaines, des forêts permanentes) | 0,3 | 5 |
| IV Zone dont au moins 15 % de la surface sont recouverts de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m | 1,0 | 10 |

Tableau 10 – NF EN1991-1-4 –Catégories de rugosité

3.1.3.3. Annexe Nationale NF 1994-1-4

L'annexe nationale française de la NF EN 1991-1-4 ne retient pas la classe intermédiaire I et subdivise la classe III en 2 sous classes IIIa et IIIb.

| Catégorie de terrain | z_0 [m] | z_{min} [m] |
|--|--------------|------------------|
| 0 Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer ; lacs et plans d'eau parcourus par le vent sur une distance d'au moins 5 km | 0,005 | 1 |
| II Rase campagne, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, etc.) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur | 0,05 | 2 |
| IIIa Campagne avec des haies ; vignobles ; bocage ; habitat dispersé | 0,20 | 5 |
| IIIb Zones urbanisées ou industrielles ; bocage dense ; vergers | 0,5 | 9 |
| IV Zones urbaines dont au moins 15 % de la surface sont recouverts de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m ; forêts | 1,0 | 15 |

Tableau 11 – NF EN1991-1-4 /NA– Catégorie de rugosité

3.1.3.4. Choix de la catégorie de rugosité

3.1.3.4.1. NV65

Dans les règles NV 65, la définition des sites est claire et tranchée pour la zone 5 comme suit :

- Site exposé : . Exemples. Au voisinage de la mer : le littoral en général (sur une profondeur d'environ 6 km) ; le sommet des falaises ; les îles ou presqu'îles étroites.
- Site abrité non valide pour la zone 5
- La nature du site doit être définie par le cahier des charges d'après les données locales, et des coefficients intermédiaires entre les valeurs extrêmes peuvent être adoptés pour tenir compte des atténuations de protection ou d'exposition existant en réalité par rapport aux cas limites

3.1.3.4.2. NFEN1991-1-4 et annexe nationale

Le choix de la catégorie de terrain à appliquer est à réaliser en prenant en compte la rugosité la plus faible sur une distance égale au rayon R autour du bâtiment : « La distance au vent, ou rayon R du secteur angulaire dans lequel la rugosité du terrain est à qualifier, dépend de la hauteur h de la construction. Les zones de faible surface (inférieure à 10 % de la zone considérée) présentant une rugosité différente peuvent être ignorées »

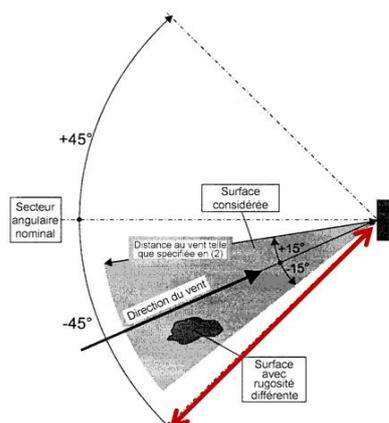


Figure 9 Illustration NF EN1991-1-4 Choix de la rugosité

L'Eurocode dit clairement que lorsque la définition d'une zone donnée laisse le choix entre au moins deux catégories de terrain, il convient alors d'utiliser la catégorie ayant la plus faible longueur de rugosité.

Par contre, il décrit comment se calcule la distance R dans l'annexe informative A2 comme suit

Deux procédures sont recommandées, à savoir la Procédure 1 et la Procédure 2, :

Procédure 1

Si la structure est située à proximité d'un changement de rugosité du terrain à une distance :

- de moins de 2 km d'un terrain de catégorie 0 ;
- de moins de 1 km d'un terrain moins rugueux appartenant aux catégories I à III,

il convient d'utiliser la catégorie du terrain le moins rugueux dans la direction d'où vient le vent.

Les petites étendues (d'aire inférieure à 10 % de la zone considérée) présentant une rugosité différente peuvent être ignorées. ...

L'Annexe Nationale AN prévoit d'utiliser la procédure 1 et donne la formule de calcul du rayon R en fonction de la hauteur h du bâtiment.

$$R = 23 \cdot h^{1,2} \text{ avec } R > 300 \text{ m} \quad (4.11-NA)$$

Par ailleurs, un calcul issu du DTU 39 donne les valeurs suivantes en fonction de h:

Définition du Rayon de la zone de catégorie de terrain

| Hauteur H du Bâtiment | $H \leq 9 \text{ m}$ | $9 < H \leq 18 \text{ m}$ | $18 < H \leq 28 \text{ m}$ | $28 < H \leq 50 \text{ m}$ | $50 < H \leq 100 \text{ m}$ |
|-----------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Rayon R | R = 320 m | R = 750 m | R = 1250 m | R = 2500 m | R = 5800 m |

Tableau 12 – DTU39 –Définition catégorie de terrain/rugosité

Et indique une distance par rapport au littoral pour laquelle une construction serait soumise à l'effet du vent cat 0. (distance par rapport au rivage égale à 20fois la hauteur de la construction)

Il existe malgré tout, une zone d'ombre sur la délimitation exacte de la zone d'influence de la catégorie 0. On sait quand elle commence (bord littoral) mais pas où elle s'arrête...

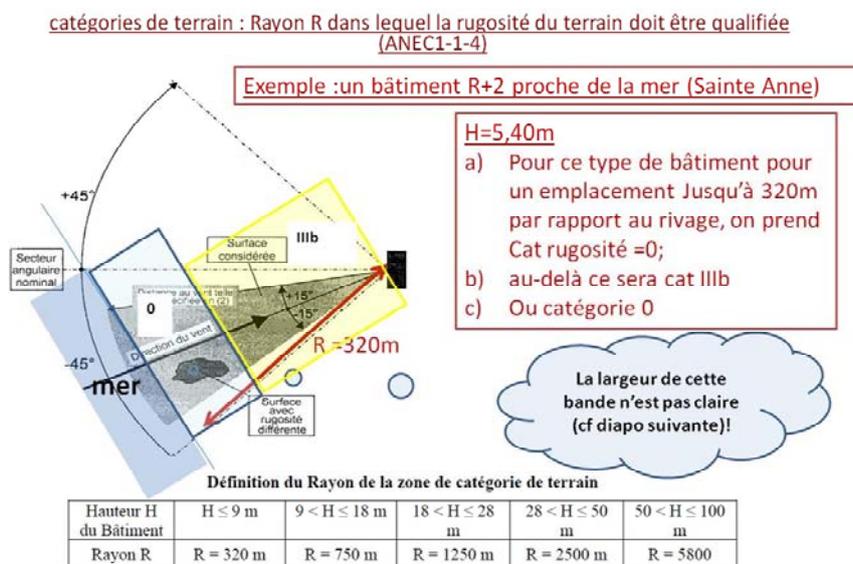


Figure 10 Illustration du choix de la rugosité

3.1.4. Coefficient d'orographie

Il est à noter qu'une notion d'orographie a été introduite par la NF EN 1991-1-4 pour tenir compte de l'influence des collines, falaises, etc. sur la vitesse de vent et sur la turbulence engendrée au contournement de ces obstacles par l'écoulement de l'air.

Sur les collines isolées ou en chaîne, ou les falaises et les escarpements la vitesse du vent varie en fonction de la pente, dans la direction du vent.

Des survitesses dues à l'obstacle orographique, sont donc à prendre en compte via des calculs selon les procédures décrites dans la NF EN 1991-1-4 NA ou par simulation numérique ou essais en soufflerie

Ce phénomène ne doit pas être ignoré, il peut être très marqué sur des implantations de constructions à proximité de falaises ou sur des versants de collines longs à proximité de la crête (majoration de plus de 15 à 30%).

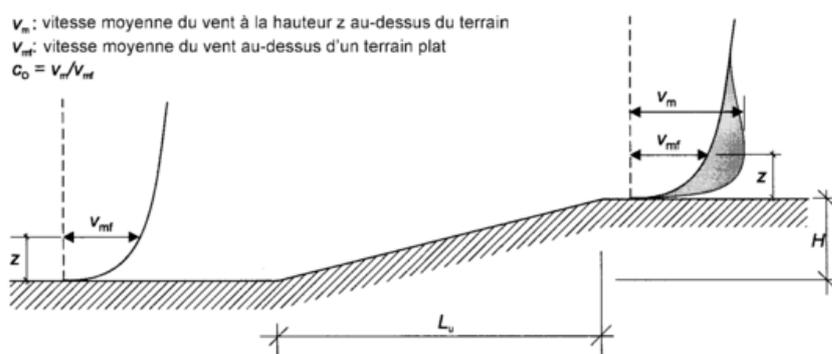


Figure 11 Illustration de l'augmentation des vitesses du vent due à l'orographie (NF EN 1991-1-4 Annexe A)

3.2.Pression de vent dynamique

3.2.1. Structure bâtiment

3.2.1.1. Situation ancienne NV65

La pression dynamique pour les Antilles (Guadeloupe , Martinique, île sud Nord) issue des règles NV65 est donnée pour 10m de hauteur dans le tableau suivant :

| Exposition | Vitesse de vent extrême (m/s) | Pression dynamique de base W_n (Pa) | Pression dynamique de base extrême W_e (Pa) |
|-------------|-------------------------------|---------------------------------------|---|
| Site normal | 58,6 m/s | 1 200 | 2 100 |
| Site exposé | 64 m/s | 1 440 | 2 520 |

Tableau 13 Pression de vent aux Antilles zone 5 selon NV65 à 10m de hauteur

3.2.1.2. Approche NF EN1991-1-4

La pression dynamique de pointe pour l'archipel de la Guadeloupe et l'île de la Martinique issue de l'annexe nationale de la norme NF EN191-1-4/NA est donnée pour 10m de hauteur dans le tableau suivant :

| Exposition | Vitesse de vent moyen (m/s) | Pression dynamique moyenne (Pa) | Pression dynamique de pointe (vent cinquantennal) q_p (Pa) |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------------|--|
| Cat rugosité 0 | 44,25 | | 2 304 |
| Cat rugosité II | 36,24 | | 1 862 |
| Cat rugosité IIIa | 29,50 | | 1 457 |

Tableau 14 Pression de vent en Guadeloupe selon NF EN1991-1-4/NA à 10m de hauteur

| Exposition | Vitesse de vent moyen (m/s) | Pression dynamique moyenne (Pa) | Pression dynamique de pointe (vent cinquantennal) q_p (Pa) |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------------|--|
| Cat rugosité 0 | 39,33 | | 1 820 |
| Cat rugosité II | 32,2 | | 1 471 |
| Cat rugosité IIIa | 26,2 | | 1 151 |

Tableau 15 Pression de vent en Martinique selon NF EN1991-1-4/NA à 10m de hauteur

3.2.1.3. Comparaison des pressions dynamiques de calcul

Pour comparer les pressions caractéristiques Eurocode et NV 65, il faut se rappeler que la vérification et le dimensionnement d'une structure se basent sur la détermination de sollicitations de calcul selon des états limites :

- Etat limites Ultime (ELU)
- Etat limite de service (ELS)

La différence notable entre les 2 règles est le fait que dans l' Eurocode 1990 qui donne les combinaisons de calcul, le vent est considéré comme une action variable à multiplier par un coefficient de pondération 1,5 pour les vérifications à l'ELU quel que soit le matériau composant l'élément à dimensionner.

Or pour appliquer le vent NV 65 pour le calcul d'un ouvrage, il n'existait pas d'uniformité dans les combinaisons selon le type de matériau ; il fallait donc selon le matériau appliquer un coefficient de pondération différent.

| Matériau | Combinaison Norme DTU | | Combinaison Eurocode | |
|--------------|---------------------------------|---|---------------------------------|---|
| | ELU (pour un vent ascendant) | Coeff pondération (par rapport à W_n) | ELU (pour un vent ascendant) | Coeff pondération (par rapport à q_p) |
| Béton | $G + 1,2 * 1,5 * W_n$ | 1,80 | $0,9G + 1,5 * W_p$ | 1,5 |
| Métal | $G + W_e$ | 1,75 | $0,9G + 1,5 * W_p$ | 1,5 |
| Bois | $0,9 * G + 1,1 * W_e$ | 1,925 | $0,9G + 1,5 * W_p$ | 1,5 |

q_p est égale à la pression dynamique moyenne du vent augmentée de la contribution des fluctuations rapides de pression

Tableau 16 Coefficient partiel de sécurité selon matériau et référentiel appliqué

Pour estimer la différence de l'effet d'action du vent (niveaux de pression dynamique) sur une structure entre ces 2 règles, on doit donc comparer les valeurs pondérées à l'ELU soit (approximativement):

$$1,5 * q_b \text{ Eurocode et } W_{\text{« extreme » NV 65}}$$

| Hauteur de référence z(m) | NV65 | | | NF EN 1991-1-4 | | | Ratio Pression EC/NV65 |
|---------------------------|------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|
| | Exposition | Pression de calcul ELU (Pa) | Vitesse de vent associée (Km/h) | Exposition Cat rugosité | Pression de calcul ELU (Pa) | Vitesse de vent associée (Km/h) | |
| 10m | Exposé | 2 520 | 231 | 0 | 3 456 | 270 | 1,37 |
| | | | | II | 2 793 | 243 | 1,11 |
| | Normal | 2 100 | 211 | IIIa | 2 185 | 215 | 1,04 |
| 5m | Exposé | 2 520 | 231 | 0 | 2 991 | 252 | 1,09 |
| | | | | II | 2 290 | 220 | 0,91 |
| | Normal | 2 100 | 211 | IIIa | 1 680 | 188 | 0,89 |

Tableau 17 : Guadeloupe - comparaison de la pression pour une hauteur de 5m et 10m par rapport au sol

| Hauteur de référence z(m) | NV65 | | | NF EN 1991-1-4 | | | Ratio Pression EC/NV65 |
|---------------------------|------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|
| | Exposition | Pression de calcul ELU (Pa) | Vitesse de vent associée (Km/h) | Exposition Cat rugosité | Pression de calcul ELU (Pa) | Vitesse de vent associée (Km/h) | |
| 10m | Exposé | 2 520 | 231 | 0 | 2 730 | 240 | 1,03 |
| | | | | II | 2 210 | 216 | 0,87 |
| | Normal | 2 100 | 211 | IIIa | 1 730 | 191 | 0,82 |
| 5m | Exposé | 2 520 | 231 | 0 | 2 360 | 224 | 0,93 |
| | | | | II | 1 810 | 196 | 0,72 |
| | Normal | 2 100 | 211 | IIIa | 1 330 | 168 | 0,63 |

Tableau 18 Martinique - comparaison de la pression pour une hauteur de 5m et 10m par rapport au sol

Si on compare les résultats pour deux catégories de rugosité les plus employées de l'Eurocode avec le site Exposé NV65 anciennement utilisé sur tout le territoire de la Guadeloupe, on obtient :

| Hauteur de référence z(m) | NV65 | | NF EN 1991-1-4 | | Ratio EC/NV65 |
|---------------------------|------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------|
| | Exposition | Pression de calcul ELU (Pa) | Exposition Cat rugosité | Pression de calcul ELU (Pa) | |
| 10m | Exposé | 2 520 | 0 | 3 456 | 1,37 |
| | | | IIIa | 2 185 | 0,87 |
| 5m | Exposé | 2 520 ⁶ | 0 | 2 991 | 1,09 |
| | | | IIIa | 1 680 | 0,66 |

Tableau 19 : Guadeloupe - Zoom : Comparaison de la pression avec site Exposé pour une hauteur de 5m et 10m par rapport au sol

GADELOUPE

*A 10m de hauteur, à implantation égale zone exposée côtière, la valeur de pression NF EN 1991-1-4 est ~40% plus forte que celle donnée par les Règles NV 65.

*A 5m de hauteur, à implantation égale zone exposée côtière, la valeur de pression NF EN 1991-1-4 est quasiment identique à celle donnée par les Règles NV 65.

*La zone IIIa de la NF EN 1991-1-4 donne des valeurs de pression de calcul entre 13 à 34% plus faibles que les valeurs issues des Règles NV65

*Les zones III_b et IV de la NF EN 1991-1-4 donne des valeurs de pression de calcul 4 fois plus faibles que les valeurs issues des Règles NV65

⁶ Il est à noter que les Règles NV 65 ne permettent pas de faire de réduction de pression pour une hauteur inférieure à 10m pour une construction en bordure immédiate du littoral ; ce qui a été étendu à l'ensemble de l'archipel par les Règles Antilles . La pression dynamique de base est donc celle à 10 m de hauteur.

3.2.2. Baies et fermetures

Les exigences sur les fermetures extérieures type fenêtres, portes, rideaux..vis à vis de l'action du vent sont données dans les DTU (document technique unifié) qui ont été révisés pour correspondre aux préconisations des normes Eurocodes.

Ces différents DTU indiquent des pressions de vent minimales pour la tenue ou un classement de performance dénommé AEV (Air Eau Vent) et sont associés à des normes d'essais donnant une méthode d'essais pour déterminer les pressions limites à appliquer aux corps d'épreuve, ou renvoient à la NF EN 1991-1-4.

- Fenêtres et portes extérieures :
 - FD DTU 36.5 P1 à P3 (octobre 2010) Travaux de bâtiment - Mise en oeuvre des fenêtres et porte extérieures
 - NF EN 12210 (mai 2016) : Fenêtres et portes - Résistance au vent - Classification (Indice de classement : P20-508)
- Vitrage :
 - NF DTU 39 P1 à P4 (juillet 2012) : Travaux de bâtiment - Travaux de vitrerie-miroiterie (*La partie 4 du NF DTU 39 définit les règles de calculs pour le dimensionnement des produits verriers mis en oeuvre sur chantier dans tout type de bâtiment.*)
 - FD DTU 39 P5 (juillet 2017) : Travaux de bâtiment - Choix des vitrages en fonction de l'exposition aux risques de blessures - Partie 5 : Mémento pour les maîtres d'oeuvre
- Stores et volets roulants métalliques :.
 - NF DTU 34.4 P1-1 (septembre 2013) Travaux de bâtiment - Mise en oeuvre des fermetures et stores (*Le DTU 34.4 concerne les travaux d'exécution de fermetures et stores posés isolément ou de façon juxtaposée dans la construction*)
 - NF EN 13659 (août 2015) Fermetures et stores vénitiens extérieurs - Exigences de performance y compris la sécurité
 - NF EN 1932 (août 2013) Fermetures pour baies équipées de fenêtres et stores extérieurs - Résistance aux charges de vent - Méthodes d'essai et critères de performance
- Portes industrielles et commerciaux.
 - FD DTU 34.3 (octobre 2011) Travaux de bâtiment - Choix des portes industrielles, commerciales et de garage en fonction de leur exposition au vent - Mémento pour les maîtres d'oeuvre (*Ce document s'applique aux portes destinées à être installées dans des zones accessibles aux personnes et dont l'utilisation principale prévue est de permettre l'accès des marchandises et des véhicules accompagnés ou conduits par des personnes, en toute sécurité, dans des locaux industriels et commerciaux ou des garages dans les zones d'habitation. Il traite également des portes commerciales comme les rideaux à lames installés en baie libre, utilisés dans les zones de vente au détail et dont l'utilisation principale prévue est de permettre l'accès des personnes plutôt que des véhicules ou des marchandises.*)
 - NF EN 13241+A2 (novembre 2016) Portes et portails industriels, commerciaux et de garage - Norme de produit, caractéristiques de performance
- Façade rideaux :
 - NF DTU 33.1 P1-1 (mai 2008) Travaux de bâtiment - Façades rideaux
 - Application NF EN 13830 de juillet 2015 Critères de dimensionnement des ossatures des façades-rideaux vis-à-vis du vent

3.2.2.1. Fenêtres et portes extérieures

Il est important de noter que les DTU et Normes d'essais associées donnent des « **Exigences de sécurité** » ; par ailleurs en préambule du DTU 36-5 et **NF EN 12210** il est indiqué :

« Quelle que soit sa destination, la fenêtre ne doit pas présenter un comportement dangereux pour l'usager sous une pression nette de vent, calculée selon l'Annexe Nationale **NF EN 1991-1-4/NA**, avec une vitesse de référence du vent correspondant à une probabilité annuelle de dépassement égale à 0,02 (événement de période de retour égale à 50 ans) : W50 et sans que cette pression ne puisse être inférieure à 1 200 Pa.

NOTE : Ce choix se justifie par le fait que les fenêtres sont des éléments ne participant pas à la stabilité de l'ouvrage. »

La pression de vent donnée dans le DTU 36-5 pour la performance vis-à-vis du vent des menuiseries extérieures (portes et fenêtres) est donc une pression :

- nette de vent (pas de coefficient de pondération Cpe) W50
- ELS (sans majoration par coefficients partiels de sécurité)

Le tableau suivant compare les différentes valeurs de pression données par les DTU concernés selon l'ouvrage étudié à celles utilisées pour le calcul non pondéré d'une structure selon la NF EN1991-1-4.

| Pression nette de vent (Pa) (Guadeloupe) | | | | | | |
|---|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| Rugosité | | 0 | II | IIIa | IIIb | Commentaires |
| Hauteur du bâtiment | DTU ou Norme <i>Ratio</i> | | | | | |
| 9m | NF EN1991-1-4 (ELS) | 2 255 | 1 810 | 1 404 | 1 069 | |
| | DTU 36-5 P3-Fenêtre portes | 2 700 | 2 200 | 1 750 | 1 300 | |
| | <i>DTU36-5 / EC1-1-4</i> | <i>1,2</i> | <i>1,2</i> | <i>1,2</i> | <i>1,2</i> | |
| 18m | NF EN1991-1-4 | 2580 | 2137 | 1770 | 1424 | |
| | DTU 36-5 P3-Fenêtre portes | 3150 | 2650 | 2100 | 1750 | |
| | <i>DTU36-5 / EC1-1-4</i> | <i>1,2</i> | <i>1,2</i> | <i>1,2</i> | <i>1,2</i> | |
| | NF EN 12210 (classement) | VAE2100 | VA5 | VA4 | VA3 | |
| | P3 | 3150 | 3000 | 2400 | 1800 | |
| | <i>Ratio NF12210/DTU</i> | <i>1.0</i> | <i>1.1</i> | <i>1.1</i> | <i>1.0</i> | |
| | <i>Ratio NF12210/ EC1-1-4</i> | <i>1.2</i> | <i>1.4</i> | <i>1.4</i> | <i>1.3</i> | |

Tableau 20 Guadeloupe : comparaison de la pression d'essai pour porte selon le référentiel

3.2.2.2. Vitrage

La pression de vent donnée dans le DTU 39 pour le calcul est une pression P_{vent} identique à l'approche donnée par le NF EN1994-1-4 :

- **Vitesse de vent avec période de retour de 50ans W_{50}**
- **application d'un coefficient partiel de sécurité $\gamma_q = 1,5$**
- **application d'un coefficient $C_p (C_{pe} - C_{pi}) = -1,5$**
- **pas de coefficient d'orographie C_o**

Le tableau suivant compare les différentes valeurs de pression données par les DTU concernés selon l'ouvrage étudié à celle utilisée pour le calcul non pondéré d'une structure selon la NF EN1991-1-4.

| Pression nette de vent (Pa) (Guadeloupe) | | | | | | |
|---|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| Rugosité | | 0 | II | IIIa | IIIb | Commentaires |
| Hauteur du bâtiment | DTU ou Norme <i>Ratio</i> | | | | | |
| 9m | NF EN1991-1-4 (ELS) | 2 255 | 1 810 | 1 404 | 1 069 | |
| | DTU 39 Vitrage | 5 050 | 4 050 | 3 150 | 2 400 | |
| | <i>DTU39 / EC1-1-4</i> | <i>2,23</i> | <i>2,24</i> | <i>2,23</i> | <i>2,24</i> | <i>ratio= 2,25=1,5*1.5 = $\gamma_q*(C_{pe}-C_{pi})$</i> |
| 18m | NF EN1991-1-4 | 2580 | 2137 | 1770 | 1424 | |
| | DTU 39Vitrage | 5800 | 4900 | 4000 | 3200 | |
| | <i>DTU39 / EC1-1-4</i> | <i>2,25</i> | <i>2,29</i> | <i>2,26</i> | <i>2,25</i> | <i>ratio= 2,25=1,5*1.5 = $\gamma_q*(C_{pe}-C_{pi})$</i> |

Tableau 21 Guadeloupe : Vitrage comparaison de la pression d'essai selon le référentiel

3.2.2.3. Portes industrielles

Le DTU 34.3 donne aux maîtres d'œuvre des indications permettant « de les guider dans le choix des classes de résistance au vent, des portes industrielles, commerciales et de garage dites « courantes », (c'est-à-dire celles dont la diagonale est inférieure ou égale à 8 m et la surface inférieure ou égale à 30 m²) compte tenu de l'exposition au vent du bâtiment dans lequel elles sont installées, :

Il s'applique aux:

- *aux portes destinées à être installées dans des zones accessibles aux personnes et dont l'utilisation principale prévue est de permettre l'accès des marchandises et des véhicules accompagnés ou conduits par des personnes, en toute sécurité, dans des locaux industriels et commerciaux ou des garages dans les zones d'habitation.*
- *aux portes commerciales comme les rideaux à lames installés en baie libre, utilisés dans les zones de vente au détail et dont l'utilisation principale prévue est de permettre l'accès des personnes plutôt que des véhicules ou des marchandises. ».*

Il est indiqué que la NF EN1991-1-4, établie essentiellement pour le calcul de la stabilité des ouvrages, n'est pas directement adaptée aux problèmes d'éléments de dimensions relativement faibles relevant plutôt de notions d'actions locales

En conséquence, l'approche de calcul de la pression de vent donnée est comparable à l'approche donnée par le DTU 36-5 pour les portes et fenêtres.

La valeur de pression nette W déterminée d'après la méthode de calcul présentée dans le DTU suit cette approche pour une porte dont la performance doit être répondre à la classe 5:

- **Vitesse de vent avec période de retour de 30ans (application d'un coefficient de probabilité pour calculer sur 30ans)**
- **application d'un coefficient $C_p(C_{pe}-C_{pi})=-1,2$ pour porte de surface inférieure ou égale à $6m^2$ et $1,1$ au-delà**
- **pas de coefficient d'orographie C_o**
- **pas de coefficient partiel de sécurité (Calcul ELS)**

Le tableau suivant compare les différentes valeurs de pression données par les DTU concernés selon l'ouvrage étudié à celle utilisée pour le calcul non pondéré d'une structure selon la NF EN1991-1-4.

| Pression d'essai de rupture nette de vent (Pa) pour une hauteur $\leq 6m$ (Guadeloupe) | | | | | | |
|---|------------------------------|-------------|-------------|-------------|------|---|
| Rugosité | | 0 | II | IIIa | IIIb | Commentaires |
| Surface porte | DTU ou Norme <i>Ratio</i> | | | | | |
| $\leq 6m^2$ | NF EN1991-1-4 (ELS) | 2 074 | 1 613 | 1 206 | | |
| | DTU 34-3 | 2 370 | 1 850 | 1 380 | | |
| | <i>DTU34-3 / EC1-1-4</i> | <i>1,14</i> | <i>1,15</i> | <i>1,15</i> | | <i>ratio= 1,2*0,951 = Coeff prob*Cp</i> |
| $>6m^2$ | NF EN1991-1-4 | 2 074 | 1 613 | | | |
| | DTU 34-3 Porte | 2 170 | 1 690 | | | |
| | <i>DTU34-3 / EC1-1-4</i> | <i>1,04</i> | <i>1,04</i> | | | <i>ratio= 1,1*0,951 = Coeff prob*Cp</i> |

Tableau 22 :Guadeloupe : comparaison de la pression d'essai selon le référentiel Porte industrielle

3.2.2.4. Stores et volets roulants métalliques

Le DTU 34.4 s'applique à toutes les fermetures et à tous les stores vénitiens extérieurs, quelles que soient leur conception et la nature des matériaux utilisés... :

- store vénitien extérieur,
- volet roulant,
- volet battant, persienne,
- persienne coulissante,
- jalousie accordéon ou volet coulissant,
- projetables ou non projetables.

La norme NF EN 13659 définit les méthodes d'essai permettant d'évaluer les performances de résistance au vent des fermetures et des stores extérieurs destinés à être installés dans les

bâtiments **devant** des fenêtres, des portes ou des façades et livrés sous la forme d'ensembles complets. **ATTENTION, a contrario la norme NF EN13651 ne concerne que les stores repliables**, elle prend en compte le fait qu'un store extérieur rétractable n'est pas supposé être en position déployée en permanence et doit être replié si la vitesse du vent dépasse la valeur précisée dans les instructions techniques du fabricant correspondant à la classe de résistance au vent du store!

La valeur de pression de sécurité p_s déterminée d'après la méthode de calcul présentée dans le DTU 34.4 et la nouvelle norme NF EN13659 d'août 2015 suit cette approche:

- **Vitesse de vent avec période de retour de 20ans (application d'un coefficient de probabilité pour calculer sur 20ans)**
- **application d'un coefficient $C_p=0,18$ pour un volet roulant**
- **application d'un coefficient partiel de sécurité $\gamma q=1,5$ (Calcul ELU)**
- **pas de coefficient d'orographie C_o**

Le tableau suivant compare les différentes valeurs de pression données par les DTU concernés selon l'ouvrage étudié à celle utilisée pour le calcul non pondéré d'une structure selon la NF EN1991-1-4 ; les fermetures sont considérées en position déployée et fermée, associées à des fenêtres en position fermée et de perméabilité à l'air largement supérieure à celle de la fenêtre.

| Pression nette de vent p_s (Pa) (Guadeloupe) | | | | | | |
|---|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---|
| Rugosité | | 0 | II | IIIa | IIIb | Commentaires |
| Hauteur du bâtiment | DTU ou Norme <i>Ratio</i> | | | | | |
| 9m | NF EN1991-1-4 (ELS) | 2 255 | 1 810 | 1 404 | 1 069 | |
| | DTU 34.4 VR | 400 | 400 | 250 | 250 | |
| | <i>DTU34.4 / EC1-1-4</i> | <i>0,17</i> | <i>0,22</i> | <i>0,18</i> | <i>0,24</i> | <i>ratio= 0,24=1,5*0,18 *0.912= $\gamma q * C_p * CoeffProb$</i> |
| 18m | NF EN1991-1-4 | 2 580 | 2 137 | 1 770 | 1 424 | |
| | DTU 34.4 VR | 600 | 400 | 400 | 250 | |
| | <i>DTU34.4 / EC1-1-4</i> | <i>0,24</i> | <i>0,18</i> | <i>0,23</i> | <i>0,18</i> | <i>ratio= 0,24=1,5*0,18 *0.912= $\gamma q * C_p * CoeffProb$</i> |

Tableau 23 Guadeloupe : comparaison de la pression d'essai selon le référentiel Volet Roulant

3.2.2.5. *Façade rideaux*

Le DTU 31.1 indique que les valeurs de pressions induites par le vent sur les façades d'un bâtiment sont soit calculées par application des règles en vigueur définissant les effets du vent sur les constructions soit déterminées par des essais en soufflerie dans le cas où les conditions d'exposition, la hauteur et/ou la forme du bâtiment les nécessitent.

Il s'applique aux:

- aux façades rideaux,;
- aux façades semi-rideaux ;
- aux façades constituées d'une association de différentes fenêtres, portes ou ensembles composés et dont leurs liaisons ne sont pas limitées à des bandes horizontales ou verticales, qui relèvent du [NF DTU 36.5](#) ;
- aux façades verticales et celles dont l'inclinaison sur la verticale tant vers l'extérieur que vers l'intérieur n'excède pas 15°.

L'action du vent peut donc être calculée selon la [NF EN 1991-1-4](#), on obtient les valeurs caractéristiques à utiliser :

- sans majoration pour les vérifications à l'état limite de service. Ce qui donne W50 ;
- majorées de 50 % pour les vérifications à l'état limite ultime.

3.3.Synthèse

SYNTHESE NF EN 1991-1-4

- a) La Norme NF EN1991-1-4 est moins contraignante que les NV65 sur certains points :
- Pas de définition de largeur de la bande de littoral à classer en catégorie de rugosité 0
 - elle n'impose pas de classer une île « étroite » en site exposé de catégorie de rugosité 0. (exposition aux vents de mer).
 - Réduction de pression possible en dessous de 10m de hauteur en catégorie de rugosité 0; (pas de réduction de pression en dessous de 5m pour une catégorie IIIa)
- b) En finalité, en Guadeloupe en tenant compte de ces hypothèses la Norme NF EN 1991-1-4 donne une pression pondérée (ELU)
- pour une construction de hauteur respectivement 5m et 10m en bordure littoral (Site de rugosité 0) plus forte d'environ 10% et 37% que celle équivalente des Règles NV65 (site exposé) ,
 - pour une construction de hauteur respectivement 5m et 10m à l'intérieur des terres (situation courante d'un Site de rugosité IIIa), plus faible d'environ 34% et 13% que celle équivalente des Règles NV65 (site exposé),
- c) **Le choix de la catégorie de rugosité II correspondrait à peu près ($\pm 10\%$) aux valeurs de pression pondérées utilisées en Guadeloupe avec la NV65 avant les Eurocodes ; en donnant une sécurité équivalente**
- d) **Le choix de la catégorie de rugosité 0 correspondrait aux valeurs de pression pondérées utilisées en Martinique avec la NV65 avant les Eurocodes ; en donnant une sécurité équivalente**
- e) La nouveauté importante dans l'EC1-1-4 est le calcul des effets du vent sous 2 combinaisons ELU :
- ❖ Situation de projet durable (ELU) : dans le cas courant de baies considérées fermées dans la situation de calcul
 - ❖ Situation de projet accidentelle (ELU accidentel) : dans le cas exceptionnel de baies extérieures, telle qu'une porte ou une fenêtre, (dominante en position ouverte mais considérée fermée à l'état limite ultime) ouvertes lors de vents violents extrêmes
- f) Il est à noter que les coefficients de pression C_{pe} sur les bandes de charges de toitures et parois verticales sont plus précis et défavorables que ceux donnés dans la NV65 (uniformisation par linéarisation des coefficients de pression).
- g) La notion de survitesses due à la topographie (collines, escarpements falaises...) est prise en compte par le biais de coefficient d'orographie (C_0) à part.

SYNTHESE Menuiseries, fermetures et vitrages –DTU

- a) **La prise en compte de l'action du vent sur les fermetures de baies est très variée selon le type de fermetures étudié et ne correspond pas forcément à la pression de calcul prise pour un élément structural.**
- b) La pression de vent à prendre en compte est toujours celle calculée pour la hauteur du bâtiment H et non pour la hauteur de la fermeture dans l'ouvrage par rapport au sol sauf rideaux
- c) Les performances de résistance au vent des **portes et fenêtres** sont basées sur des pressions de vent minorées par rapport à celles prises pour une structure selon la NF EN1991-1-4 :
- ❖ Utilisation d'une pression W50 sur la base d'une vitesse de vent de période retour 50ans mais sans majoration ELU
 - ❖ Pas d'application de coefficient Cp
- d) Les performances de résistance au vent des **portes industrielles** sont basées sur des pressions de vent minorées par rapport à celles prises pour une structure selon la NF EN1991-1-4 :
- ❖ Utilisation d'une pression W30 sur la base d'une vitesse de vent de période retour 30ans sans majoration ELU
 - ❖ application d'un coefficient Cp = 1,20
- e) Les performances de résistance au vent des **volets roulants et stores extérieurs devant fenêtres et portes** sont basées sur des pressions de vent minorées et très faibles par rapport à celles prises pour une structure selon la NF EN1991-1-4 :
- ❖ Utilisation d'une pression W20 sur la base d'une vitesse de vent de période retour 20ans
 - ❖ majoration ELU $\gamma_q=1,5$
 - ❖ application d'un coefficient Cp = 0,18
- f) Les performances de résistance au vent des **portes industrielles et des locaux commerciaux** sont basées sur des pressions de vent identiques à celles prises pour une structure selon la NF EN1991-1-4 :
- ❖ Utilisation d'une pression W50 sur la base d'une vitesse de vent de période retour 50ans
 - ❖ majoration ELU $\gamma_q=1,5$
 - ❖ application de coefficient Cp=1,5
- g) Les performances de résistance au vent **du vitrage des portes et fenêtres** sont basées sur des pressions de vent identiques à celles prises pour une structure selon la NF EN1991-1-4 :
- ❖ Utilisation d'une pression W50 sur la base d'une vitesse de vent de période retour 50ans
 - ❖ majoration ELU $\gamma_q=1,5$
 - ❖ application de coefficient Cp=1,5
- h) Les performances de résistance au vent **des façades rideaux** sont basées sur des pressions de vent identiques à celles prises pour une structure selon la NF EN1991-1-4 :
- ❖ Utilisation d'une pression W50 sur la base d'une vitesse de vent de période retour 50ans
 - ❖ majoration ELU $\gamma_q=1,5$
 - ❖ application de coefficient Cp=1,5
- i) Les vitrages équipant les baies doivent être protégés physiquement par des volets ou être de sécurité

4. REX

4.1.REX Cyclones Irma et Maria

4.1.1. Caractéristiques de l'ouragan Irma

4.1.1.1. Données générales

L'**ouragan Irma** est le plus puissant enregistré dans l'[Atlantique nord](#), par la vitesse de ses vents soutenus (295 [km/h](#)), depuis [Allen](#) en 1980 et depuis que l'on fait des mesures par satellites (1970). Le dixième cyclone tropical de la [saison cyclonique 2017 dans l'océan Atlantique nord](#) s'est développé du 30 août au 12 septembre 2017. Il est le deuxième [ouragan majeur](#) (catégorie 3 ou plus), ayant atteint la catégorie 5 sur l'[échelle de Saffir-Simpson](#), après l'ouragan [Harvey](#) de catégorie 4 survenu une semaine auparavant. Il est le premier ouragan à rester classé en catégorie 5 pendant une longue période en continue. Il cause des dégâts catastrophiques dans les îles de [Barbuda](#), [Saint-Barthélemy](#), [Saint-Martin](#), [Anguilla](#) et les [Îles Vierges](#), éprouve sévèrement la côte nord de [Cuba](#) et oblige la [Floride](#) à mettre en place une évacuation de plus de six millions d'habitants. Les dégâts sont évalués à près de cent milliards de dollars.

| | |
|-----------------------------------|--|
| Apparition | 30 août 2017 |
| Dissipation | 12 septembre 2017 |
| Catégorie maximale | Ouragan catégorie 5 |
| Pression minimale | 914 hPa |
| Vent maximal (soutenu sur 1 min.) | 295 km/h (rafales à 360 km/h). |
| Dommages confirmés | ≥ 63 milliards \$ US |
| Morts confirmés | 125 |
| Blessés confirmés | Plus de 1000 |
| Zones touchées | Nord des Petites Antilles , Puerto Rico , République dominicaine , Haïti , Cuba , Îles Turks-et-Caïcos , Bahamas , Floride , Géorgie , |

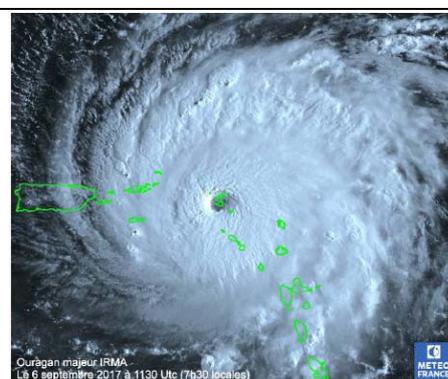
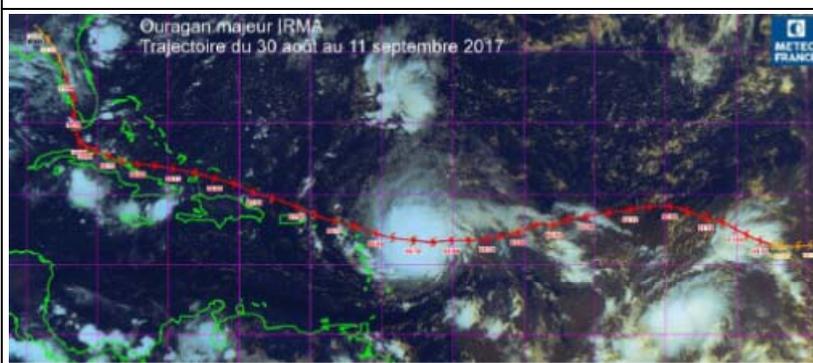


Tableau 24 Caractéristiques Ouragan Irma ⁷

⁷ Source Météo France et NHC

Une semaine après *Harvey*, Irma se forme le 30 août 2017 au large de l'Afrique, à partir d'une onde tropicale comme une classique tempête tropicale, puis devient un ouragan capverdien rapidement classé en catégorie 3, sur l'échelle de Saffir-Simpson.

Le 5 septembre 2017, Irma est désormais classé en catégorie 5, le niveau le plus élevé sur l'échelle de Saffir-Simpson. Il s'approche des îles Saint-Martin et Saint-Barthélemy, qui sont placées en alerte violette, le niveau le plus élevé. Les météorologues l'annoncent comme particulièrement puissant, considéré comme un « supercyclone [...] dévastateur [...] car lent ». Le 6 septembre, l'œil du cyclone, d'environ 50 km de diamètre, entraînant des vagues de 6 à 8 mètres de haut, touche vers 2 heures du matin le nord des Petites-Antilles et passe directement sur Antigua-et-Barbuda, frappant principalement l'île de Barbuda, puis se dirige successivement vers les îles Saint-Barthélemy, Saint-Martin, Anguilla et les Îles Vierges britanniques, qu'il dévaste.

Le 6 septembre, sa trajectoire estimée le porte vers le Nord de Porto Rico, de la République Dominicaine et d'Haïti puis entre Cuba et les Bahamas, pour atteindre la Floride et Miami aux alentours du 10 septembre. Les autorités des différents pays lancent des alertes à leurs populations. En Floride, l'évacuation obligatoire des touristes et des 80 000 résidents des Florida Keys est déclenchée.

Les autorités de Cuba déclarent l'état d'alerte dans toutes les provinces orientales du pays tandis que de l'évacuation de six îles du Sud de l'archipel des Bahamas (Mayaguana, Inagua, Crooked Island, Acklins, Long Cay et Ragged Island) se fait vers Nassau, ce qui constitue la plus grande opération de ce type dans l'histoire du pays.

Le 7 septembre, après avoir longé l'île d'Hispaniola à environ 100 km au nord des côtes, Irma, toujours en catégorie 5, après plus de 48h, passe sur les îles Turks & Caïcos puis remonte l'ensemble des îles des Bahamas. Les modélisations des nouvelles trajectoires établies par le National Hurricane Center poussent les autorités du comté de Miami-Dade — le plus peuplé de la Floride — à décréter l'évacuation obligatoire d'environ 650 000 personnes vivant dans les zones côtières ou inondables avant l'arrivée du cyclone, le gouverneur de la Géorgie ordonne l'évacuation de 500 000 personnes situées en zone à risque.

Après 72 heures en continu en catégorie 5, soit une durée record absolue depuis le suivi scientifique des systèmes tropicaux, l'ouragan est déclassé en catégorie 4 (avec des vents à 240 km/h).

Le 8 septembre au matin, il passe sur le Sud-Est des îles [Bahamas](#), entraînant la décision des autorités de [Cuba](#) d'ordonner l'évacuation de plus de 50 000 touristes des zones Nord de l'île. Les autorités de Floride ordonnent l'évacuation supplémentaire de 155 000 personnes vivant dans le [comté de Palm Beach](#), portant l'ensemble des évacués dans l'État à plus d'un million de personnes.

Irma continue son parcours vers l'Ouest-Nord-Ouest dans le couloir entre les Bahamas et Cuba. L'ouragan infléchit sa trajectoire vers la côte cubaine, ce qui déclenche l'évacuation obligatoire d'un million d'habitants des provinces de [Camagüey](#) et de [Villa Clara](#), qu'il longe au plus près.

Le 9 septembre, l'ouragan *Irma*, reprenant de la vigueur, avec une énergie emmagasinée (évaluée à 112 [térajoules](#)) similaire à celle de l'[ouragan Katrina](#), est de nouveau classé en catégorie 5. En conséquence, les [autorités de la Floride](#) étendent désormais l'ordre d'évacuation à près de 6 millions d'habitants de l'État.

L'ouragan continue à se décaler vers l'ouest de Cuba, parcourant toute la province de Villa Clara et de [Matanzas](#), qu'il noie sous des trombes d'eau avant de s'orienter vers le Nord. Au contact des eaux du [Golfe du Mexique](#), il regagne en intensité pour repasser en catégorie 4.

Au matin du 10 septembre, il aborde le Sud de la Floride, en frappant les [Keys](#) à [Cudjoe Key](#) avec des vents allant jusqu'à 215 km/h puis l'ouragan se déplace vers le Nord-Nord-Ouest atteignant les côtes occidentales de la péninsule floridienne, pour toucher Fort Myers et Naples, mais évite le cœur de la Floride. Les dégâts sont moins importants qu'initialement redoutés.

Le 11 septembre *Irma*, rétrogradé en tempête tropicale, touchait le Sud de la Géorgie avec des vents faiblissant à 85 km/h, et finissait sa route le mardi 12 septembre en Alabama.

[En Guadeloupe](#), l'ouragan – dont le centre est passé à environ 100 km au nord de la Grande-Terre provoque une très forte houle marine avec submersion des zones les plus proches de la côte, mais l'île, qui est restée en alerte rouge durant une douzaine d'heures, ne subit pas de dommages matériels et humains importants. Après le passage d'*Irma*, 8000 foyers sont toutefois privés d'électricité et certaines routes sont coupées. Cependant, l'essentiel des réseaux électriques, téléphoniques et routiers sont rétablis moins de 48 h après le passage du cyclone et toutes les écoles et les administrations rouvrent le lendemain.

Au soir du 8 septembre 2017, la Guadeloupe repasse en alerte cyclonique orange avec l'arrivée de l'ouragan Jose qui doit passer le lendemain à 150 km au nord de ses côtes avec des vents attendus de 130 à 150 km/h.

[Saint-Barthélemy](#) et [Saint-Martin](#), qui se trouvaient sur la trajectoire directe de l'[œil du cyclone](#) et avaient été placées en alerte maximale (violette) ordonnant le confinement des populations, sont durement touchées à quelques heures d'intervalle par des vents soutenus à 300 km/h pendant plusieurs heures.

Les dégâts matériels sont également majeurs sur les bâtiments en dur, dont des hôtels de luxe à Saint-Barthélemy et l'effondrement du [clocher suédois](#) à [Gustavia](#). Des réserves d'eau sont détruites, l'eau courante n'arrive plus aux robinets. les communications téléphoniques ne sont possibles qu'en se rapprochant de l'île britannique voisine [Anguilla](#), à 13 km au nord de Saint-Martin. Les capteurs de météo France sont détruits [par les vents lorsqu'ils atteignent une vitesse de 244 km/h](#), et d'importantes inondations touchent les routes et l'[aéroport de Saint-Barthélemy](#) en raison de la submersion de la houle avec des vagues d'environ 10 mètres. Les secours (pompiers, gendarmerie et administrations) des deux îles étant eux-mêmes sinistrés, l'aide aux populations est inexistante. Les communications et l'électricité sont totalement coupées sur les deux îles en raison des dégâts importants sur les deux centrales thermiques au fioul et, en conséquence, les usines de désalinisation de l'eau, en plus de leurs dégâts propres, sont à l'arrêt ce qui entraîne une absence totale d'eau potable. Au soir du passage de l'ouragan, 85% des maisons sont détruites ou endommagées et 10000 personnes, 35% de la population, sont recensées sans toit à Saint-Martin. La situation de l'habitat à Saint-Barthélemy est nettement moins dramatique. [A Saint Martin, Il est proposé aux sinistrés des abris \(1 600 places\)](#).

Le principal aéroport de Saint-Martin, l'aéroport Princess-Juliana situé dans la partie néerlandaise de l'île, est sévèrement endommagé et devient impraticable pour acheminer l'aide matérielle, mais l'aéroport de Grand-Case Espérance (dans la partie française), après déblaiement de la piste, reste praticable. Les ports des parties néerlandaise et française sont inaccessibles au lendemain du

passage du cyclone, mais sont remis en activité sommaire le 8 septembre après le déblaiement d'urgence des accès nautiques et des quais.

Après diverses annonces contradictoires, le bilan est désormais de neuf morts (aucun à Saint-Barthélemy), sept disparus et 112 blessés dans les Antilles françaises, un total porté le lendemain à dix morts, sept disparus et 247 blessés. Dans la partie néerlandaise de l'île, on dénombre provisoirement deux tués et quarante-trois blessés dont onze gravement.

Au soir du 8 septembre 2017, avec l'arrivée de l'ouragan Jose (force 4), les deux îles sont de nouveau en alerte rouge puis violette, interrompant le travail des secours. L'ouragan passe finalement nettement plus au nord que prévu et aucun dégât supplémentaire n'est constaté.

4.1.1.2. Vitesse de vent et facteur de rafale

Nous avons étudié les relevés de vitesses de vent mesurées par Météo France et les documents, relatant sous forme de bilan le phénomène, rédigés par la DIRECTION INTERREGIONALE ANTILLES-GUYANE.

Afin de comparer aux vitesses de vent normées « Eurocode », nous avons utilisé la passerelle donnée par le DIRAG dans document et développée au chap 2.5.2 avec le passage d'un vent moyenné sur 1 minute à un vent sur 10 minutes, au-dessus de la mer en appliquant un coefficient 0,88. De cette manipulation en découle le *facteur de rafale calculé* défini comme étant le rapport entre la vitesse maximale du vent, moyennée sur 2 à 3s, enregistrée pendant une période de 10min, et la vitesse moyenne du vent sur cette période.

| Stations MF | Alt (m) | Distance Station/littoral mer (m) | Vitesse de vent mesurée par Météo France ⁸ | | | Vitesse calculée | |
|---------------------|---------|-----------------------------------|---|---|--|---|---------------------------|
| | | | Vitesse vent moyenné sur 1min (km/h) | Vitesse vent moyen sur 10min maxi horaire (km/h) FXY | Vitesse vent rafale (km/h) FXI | Vitesse vent moyen sur 10min à 10 m d'altitude sur mer (km/h) | Facteur de rafale calculé |
| LE RAIZET AERO | 11 | 4 500 | | 40 km/h | 66 km/h | | 1,50 |
| ST-BARTHELEMY METEO | 44 | <100 | Estimée: 275 km/h (76,4m/s) | Estimée: ? Mesurée ⁹ : 107 km/h (associée à une rafale à 191km:/h) | Estimée: 300 km/h Mesurée : 244 km/h ¹⁰ (A noter que la valeur à 4h00 donnée par MF sur son site est 193km/h) | 242 km/h (67,2m/s) | 1,24 (estimé) |

Tableau 25 Vitesse de vent IRMA mesurée par Météo France et calculée selon Hypothèse NF EN1991-1-4

⁸ Source Météo France

⁹ Avant arrêt mesure capteur

¹⁰ Arrêt mesure capteur à 4h07 du matin le 06/09/17

4.1.2. Caractéristiques de l'ouragan Maria

4.1.2.1. Données générales

L'**ouragan Maria** est le quatorzième cyclone tropical, le septième ouragan dont le quatrième ouragan majeur de la saison cyclonique 2017 dans l'océan Atlantique nord et le deuxième ouragan de catégorie 5 après l'ouragan Irma survenu une semaine auparavant. Formé à partir d'une onde tropicale ayant traversé l'Atlantique tropical depuis l'Afrique de l'ouest, il a pris beaucoup de temps à devenir une dépression tropicale mais s'est intensifié ensuite rapidement près des Petites Antilles qu'il a traversé à la catégorie 5.

Maria fait partie des catastrophes environnementales de cette saison 2017. Il s'agit du plus puissant ouragan à frapper Porto Rico depuis celui de *San Felipe Segundo de 1928*.

| | |
|--------------------------------------|---|
| Apparition | 16 septembre 2017 |
| Dissipation | 3 octobre 2017 |
| | (Tempête post/extra-tropicale à partir du 30 septembre) |
| Catégorie maximale | Ouragan catégorie 5 |
| Pression minimale atteinte | 908 hPa |
| Vent maximal (soutenu sur 1 min.) | 280 km/h (rafales à 350 km/h) |
| Dommages confirmés | 50 à plus de 91 milliards \$US (estimé) |
| Morts confirmés | 97 directs (32 indirects) |
| Blessés confirmés | Plus de 100 |
| Zones touchées | Nord des Petites-Antilles (dont la Guadeloupe) et dévastation totale de la Dominique, des Îles Vierges des États-Unis et surtout de Porto-Rico. Hispaniola . Îles Turks-et-Caïcos , côte des Carolines (USA) |

11

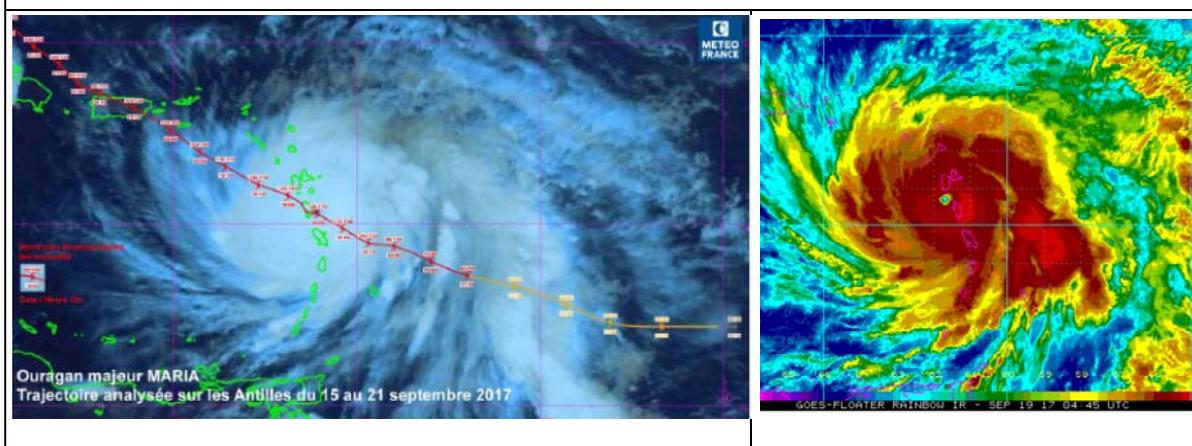


Tableau 26 Caractéristiques Ouragan Maria

¹¹ Source Météo France et NHC, NOAA

Le 13 septembre, le National Hurricane Center (NHC) repère une zone orageuse au sud-ouest des îles du Cap-Vert avec un faible potentiel de développement en cyclone tropical. Le système dérive vers l'ouest sans trop de changement mais entre finalement dans une zone favorable au développement le 16 septembre pour devenir la dépression tropicale n°15 à 14h locales et la tempête tropicale Maria à 17h, à 1000 km à l'est-sud-est des Petites Antilles.

Maria est devenue un ouragan de catégorie 1 le 17 septembre en milieu de journée à 225 km à l'Est-Nord-Est de la Barbade et se dirigeant directement vers la partie nord des Petites Antilles tout en se creusant. Après un creusement rapide, à 11h locales le 18 septembre, Maria devient un ouragan de catégorie 3, soit un ouragan majeur, avec des vents de 195 km/h et une pression centrale de 959 hPa. Maria est alors à seulement 95 km à l'est de la Martinique qu'elle épargne.

Maria passe à la catégorie 4 en soirée du 18 septembre selon le bulletin de 17h locales du NHC. Ses vents atteignent alors 215 km/h alors que l'œil de l'ouragan est à 75 km à l'Est de la Dominique. Sa course ralentit lors de son passage sur l'île et l'ouragan s'intensifie grâce à une mer très chaude et des cisaillements de vents très faibles avant de frapper le Sud-Ouest de la Basse-Terre en Guadeloupe vers 2h locales du matin le 19 septembre.

En arrivant sur la Guadeloupe, Maria est réévalué en catégorie 5, soit aussi puissant que l'ouragan Hugo. Après un léger affaiblissement à la catégorie 4, Maria repasse en catégorie 5 vers 5h du matin toujours au dessus de l'Archipel de La Guadeloupe en direction nord-ouest. En dépit de la formation de deux yeux concentriques, un œil externe de diamètre compris entre 40 à 56 km et celui interne de seulement 8 km, le centre intérieur de Maria est resté présent en permanence durant l'après-midi alors que normalement ceci indique le début d'un cycle de remplacement du mur de l'œil.

L'ouragan atteint son intensité maximale vers 23h locales le 19 septembre, à environ 45 km au Sud de Sainte-Croix (Îles Vierges des États-Unis). Les vents soutenus atteignaient alors 280 km/h et sa pression centrale était inférieure à 908 hPa, faisant de Maria le dixième plus intense des cyclones de l'Atlantique depuis la création d'archives fiables.

Le centre de l'ouragan est passé à moins de 30 km de Sainte-Croix vers 1h locales le 20 septembre, le mur de l'œil externe frappant l'île mais celui intérieur, plus violent, restant au large des côtes. Quelques heures plus tard, vers 4h locales, le mur d'œil extérieur toucha l'île de [Vieques](#) au large de la côte orientale de [Porto Rico](#). À ce moment, l'œil externe devient dominant dans le cycle de remplacement du mur de l'œil, ce qui affaiblit *Maria* à la catégorie 4.

Maria touche ensuite la côte de Porto Rico au sud de [Yabucoa](#) vers 6h15 locales avec des vents soutenus de 250 km/h. Il s'agit du plus puissant ouragan à frapper ce pays depuis celui de [San Felipe Segundo](#) de 1928 (notre cyclone de 1928). Il poursuit la traversée de toute l'île dans une trajectoire d'Ouest-Nord-Ouest et émerge sur l'océan Atlantique peu avant 14h locales. L'interaction avec le terrain montagneux affaiblit considérablement *Maria* qui en ressortit avec des vents soutenus de 175 km/h et une pression centrale de 957 hPa.

Grâce à des conditions environnementales favorables, *Maria* s'est constamment réorganisée alors qu'il s'éloignait de Porto Rico. Un grand œil de 75 km de diamètre s'est redéveloppé et tôt le 21 septembre, le système a retrouvé l'intensité de la catégorie 3. Après avoir quitté Porto Rico, *Maria* est passé au Nord de la côte d'[Hispaniola](#), affectant surtout la [République dominicaine](#) mais également la partie nord d'[Haïti](#).

Le centre de l'ouragan est passé ensuite à 50 km l'Est-Nord-Est de [Grand Turk](#), dans les [îles Turks-et-Caïcos](#), le 22 septembre à 12h UTC. Toujours à la catégorie 3, il donna des vents soutenus de 250 km/h, une *marée de tempête* de 4 mètres et des pluies diluviennes. Se déplaçant lentement vers le Nord-Ouest puis le Nord, il affecte l'Est des [Bahamas](#) avant de graduellement se diriger entre les Bahamas et les [Bermudes](#) tout en faiblissant. Le matin du 25 septembre, *Maria* est retombé à la catégorie 1 de l'échelle de Saffir-Simpson à 540 km au Sud-Sud-Est du [Cap Hatteras](#) en [Caroline](#) en s'éloignant vers le Nord-Est. Poursuivant de plus en plus rapidement dans cette direction, *Maria* va rencontrer des eaux plus froides et un cisaillement des vents en augmentation de telle sorte que le système s'affaiblira graduellement.

Le 30 septembre à 21h UTC, le NHC note que la [convection profonde](#) avait disparue et que *Maria* avait effectuée sa transition post-tropicale à 895 km à l'est-sud-est de [Cap Race](#), [Terre-Neuve](#). Elle est ainsi devenue une [dépression frontale](#) se dirigeant vers les [îles Britanniques](#) tout en faiblissant encore plus.

Antilles françaises

[Martinique.](#)

Passant à 50 au nord de la Martinique, *Maria* y a provoqué des pluies torrentielles et de fortes rafales mais l'île échappa aux vents les plus forts qui s'étendaient à 35 km du centre de l'œil. La commune de Le Marigot a enregistré 170 mm de pluie sur une période de 24 heures. Le 19 septembre, 70 000 foyers, soit environ 20% de la population, étaient sans électricité. La distribution d'eau potable était coupée pour 50 000 clients, en particulier dans les communes de Le Morne-Rouge et Gros-Morne.

De nombreuses routes et rues, en particulier le long de la côte Nord, étaient impraticables à cause des éboulis, des arbres tombés et des poteaux électriques renversés. Les rues de Fort-de-France furent inondées. Dans la commune balnéaire du Carbet, l'océan a poussé d'énormes roches sur le rivage et démolit certaines structures côtières. Des bateaux se sont échoués dans la baie de la commune de Schœlcher. Le secteur agricole de la Martinique a subi des pertes considérables : environ 70% des cultures de bananes ont subi des dégâts de vent, presque tous les arbres furent abattus le long de la côte nord. Aucun décès ne fut signalé sur l'île, bien que quatre personnes fussent blessées, dont deux sérieusement.

[Guadeloupe.](#)

À la Guadeloupe, les plus forts vents de *Maria* soufflèrent sur le Sud de l'archipel durant des heures du 18 au 19 septembre. Les vents soutenus les plus forts furent signalés le long de la côte Sud de l'île de Basse-Terre à Gourbeyre (162 km/h) et Baillif (148 km/h). L'ouragan a donné également des vagues de 6 mètres. La combinaison de l'onde de tempête et des vents violents fut responsable de dommages structurels et d'inondations dans tout l'archipel, en particulier à Pointe-à-Pitre, le long de la côte Sud-Ouest de l'île Grand-Terre, jusqu'à Petit-Bourg et la côte Sud de l'île de Basse-Terre. Les pluies furent également importantes car en 24 heures, l'ouragan laissa l'équivalent de près d'un mois de précipitations à certains endroits. Les quantités enregistrées furent de 191 mm à Pointe-à-

Pitre, de 163 mm dans l'unité urbaine de Basse-Terre et jusqu'à 459 mm à Matouba dans la localité montagneuse de Saint-Claude.

Dans tout l'archipel, l'ouragan a laissé 20 % de la population (80 000 foyers) sans électricité et coupé 25 % des lignes téléphoniques. Le vent causa de lourds dégâts aux structures et à la nature sur les îles de Marie-Galante, La Désirade, et surtout l'archipel des Saintes. Elles furent isolées du reste de l'archipel durant plusieurs jours. Les maisons à Terre-de-Haut ont perdu leurs toits et/ou furent inondées, comme certaines à Marie-Galante. Le littoral de Grand-Bourg à Capesterre sur Marie-Galante fut pratiquement détruit. On estime que 80 % des littoraux Guadeloupéens ont été endommagés ou détruits par l'ouragan Maria.

Sur l'île principale de la Guadeloupe, des sections de Pointe-à-Pitre se retrouvèrent sous plus d'un mètre d'eau et l'hôpital de la ville subit des dégâts considérables. La région de Basse-Terre a subi de graves dommages et près de 100 % de ses cultures de bananes, sur une superficie totale de plus de 2 000 hectares, furent complètement anéanties selon les agriculteurs. Au-delà de leur impact sur les terres agricoles, les vents forts ravagèrent une grande partie de la végétation de l'île : les arbres et les branches tombés couvraient pratiquement toutes les routes et furent responsables d'un mort. Une autre personne fut tuée après avoir été entraînée en mer. Deux personnes, disparues en mer après que leur navire ait chaviré au large de La Désirade, à l'est de la Grande-Terre ont été retrouvées mortes. Le total des personnes décédées est donc de quatre. Les dommages causés par Maria dans l'archipel de la Guadeloupe s'élevèrent à au moins 100 millions d'euros (120 millions de dollars US).

4.1.2.2. Vitesse de vent et facteur de rafale

Nous avons étudié les relevés de vitesses de vent mesurées par Météo France et les documents, relatant sous forme de bilan le phénomène, rédigés par la DIRECTION INTERREGIONALE ANTILLES-GUYANE.

Afin de comparer aux vitesses de vent normées « Eurocode », nous avons utilisé la passerelle donnée par le DIRAG dans document et développée au chap 2.5.2 avec le passage d'un vent moyenné sur 1 minute à un vent sur 10 minutes, au-dessus de la mer en appliquant un coefficient 0,88. De cette manipulation en découle facteur de rafale calculé **défini comme étant le rapport entre la vitesse maximale du vent, moyennée sur 2 à 3s, enregistrée pendant une période de 10min, à la vitesse moyenne du vent sur cette période.**

| Stations MF | Alt (m) | Distance Station/littoral mer (m) (approximative) | Vitesse de vent mesurée par Météo France ¹² | | | Vitesse calculée | |
|-------------------------------|---------|--|--|--|----------------------------|---|---------------------------|
| | | | Vitesse vent moyennée sur 1min (km/h) | Vitesse vent moyen sur 10min maxi horaire (km/h) | Vitesse vent rafale (km/h) | Vitesse vent moyen sur 10min à 10 m d'altitude sur mer (km/h) | Facteur de rafale calculé |
| LE RAIZET AERO | 11 | 4 500 | 90 | 75 | 125 | 79 | 1,58 |
| BAILLIF AERO | 6 | 550 | 120 | 89 | 148 | 107 | 1,38 |
| CAPESTERRE-B-EAU | 253 | 4 300 | 125 | 71 | 136 | 110 | 1,23 |
| GOURBEYRE GROS-MORNE | 477 | 4 300 | 110 | 87 | 162 | 97 | 1,67 |
| POINTE-NOIRE BELLEVUE | 213 | 1 400 | 130 | 68 | 160 | 114 | 1,40 |
| POINTE NOIRE COL DES MAMELLES | 510 | 5 800 | nd | 65 | 146 | nd | nd |
| STE-ROSE VIARD | 10 | 1 500 | 105 | 64 | 119 | 92 | 1,29 |

Tableau 27 Vitesse de vent MARIA mesurée par Météo France et calculée selon Hypothèse NF EN1991-1-4

¹² Source Météo France

4.2. REX dégâts occasionnés

Les dégâts occasionnés par les cyclones Maria et Irma sur des constructions indiquées dans ce document ne sont pas exhaustifs mais reflètent les principaux désordres rencontrés à Saint-Martin et en Guadeloupe.

Par ailleurs, nos remarques et commentaires sur les quelques photos illustrant des dégâts ne rentrent pas dans un cadre d'expertise ni d'avis technique et ne préjugent en rien les causes des défaillances. Il s'agit seulement de lister des dégâts constatés.

4.2.1. Effets de bord

Les différents dégâts relevés sur sites montrent l'importance des effets de bord avec des ruptures localisées ou ayant démarré en bordure de toiture ou de façade.

Cela illustre les zones d'augmentation de pression ou succion données dans la NF EN1991-1-4 à partir des coefficients de pression extérieure donnant l'effet du vent sur les surfaces extérieures des bâtiments.

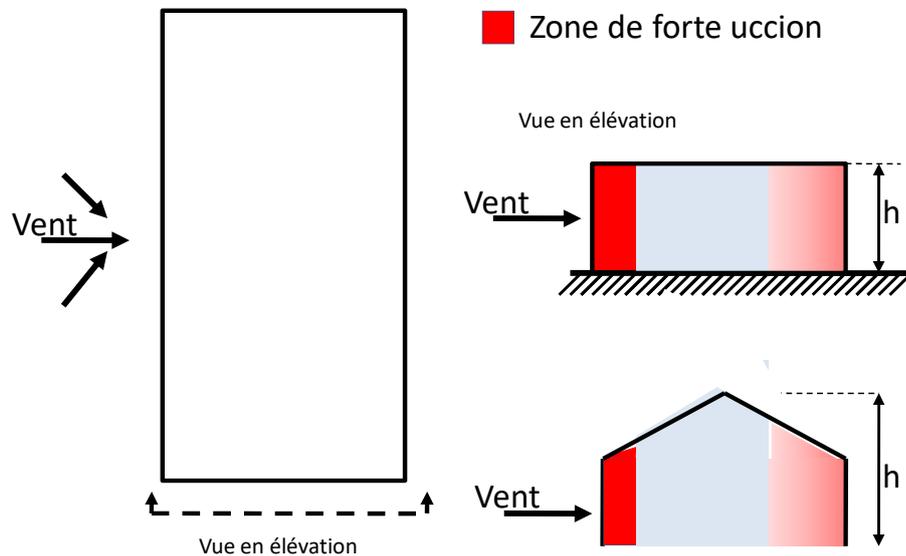


Figure 12 NF EN1991-1-4 Exemple de zones forte dépression extérieure pour une façade

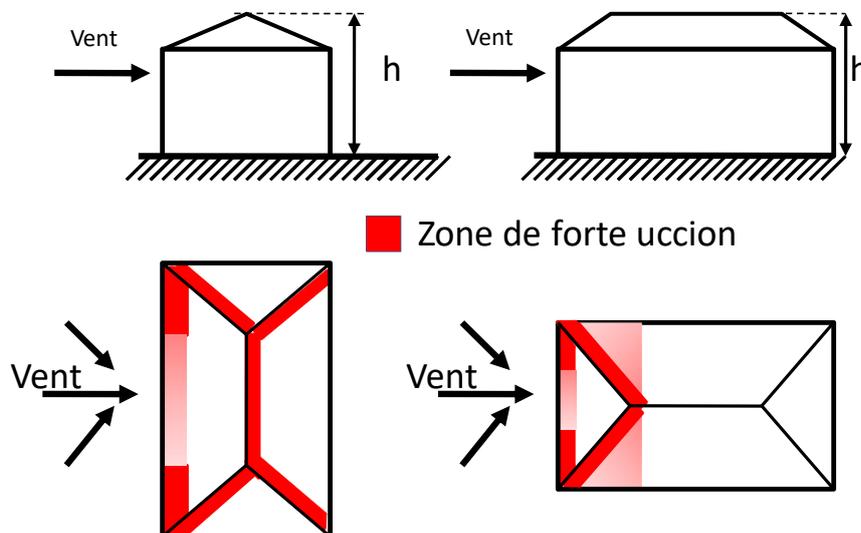


Figure 13 NF EN1991-1-4 Exemple de zones forte dépression extérieure pour une toiture



Figure 14 Illustrations par photos des zones de succions exacerbées¹³

¹³ Photos : Source :L Cador, JM Conord, G Nouel, P Quistin

4.2.2. Structures

Les principaux désordres constatés sur les structures bois, métalliques et béton sont dus soit à un défaut de dimensionnement ou un manque de « réserve » en terme de résistance pour faire face à un phénomène exceptionnel accentué par des dispositions constructives ou ancrage insuffisantes :

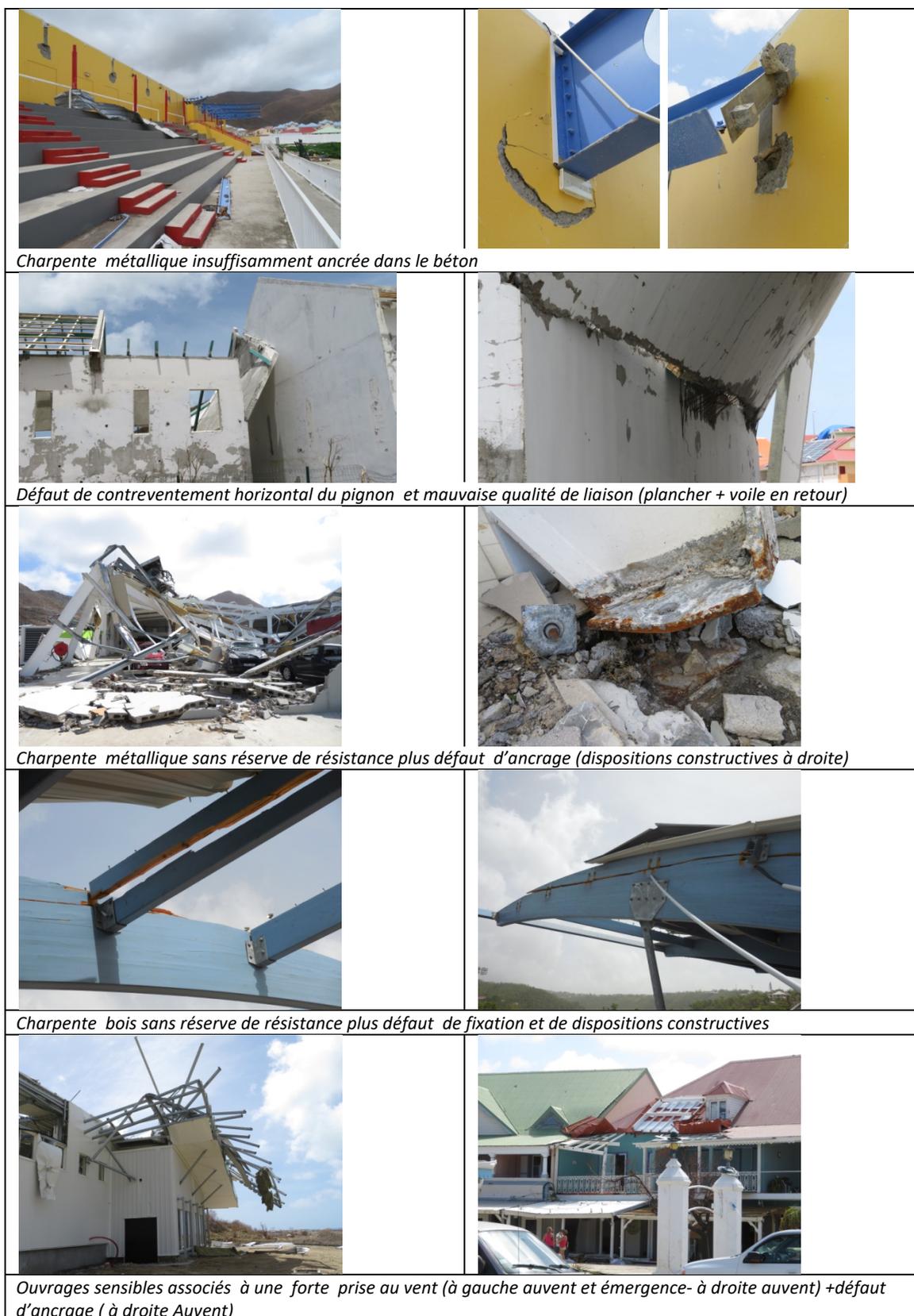


Figure 15 Illustrations par photos des dégâts sur structures

4.2.3. Charpente de toiture

Les principaux désordres constatés pour les charpentes bois et métalliques sont les suivants :

- Défaut d'ancrage ou mauvaise qualité
- Dimensionnement insuffisant *par rapport à l'action subie*
- Défaut de conception
- Dispositions constructives insuffisantes



Figure 16 Illustrations par photos des dégâts de charpente de toiture

4.2.4. Toitures et couvertures métalliques

Les toitures avec couvertures métalliques ont subi de lourds dommages principalement à cause d'un sous dimensionnement, *par rapport à l'action subie*, des fixations, du support ou de la tôle elle-même:

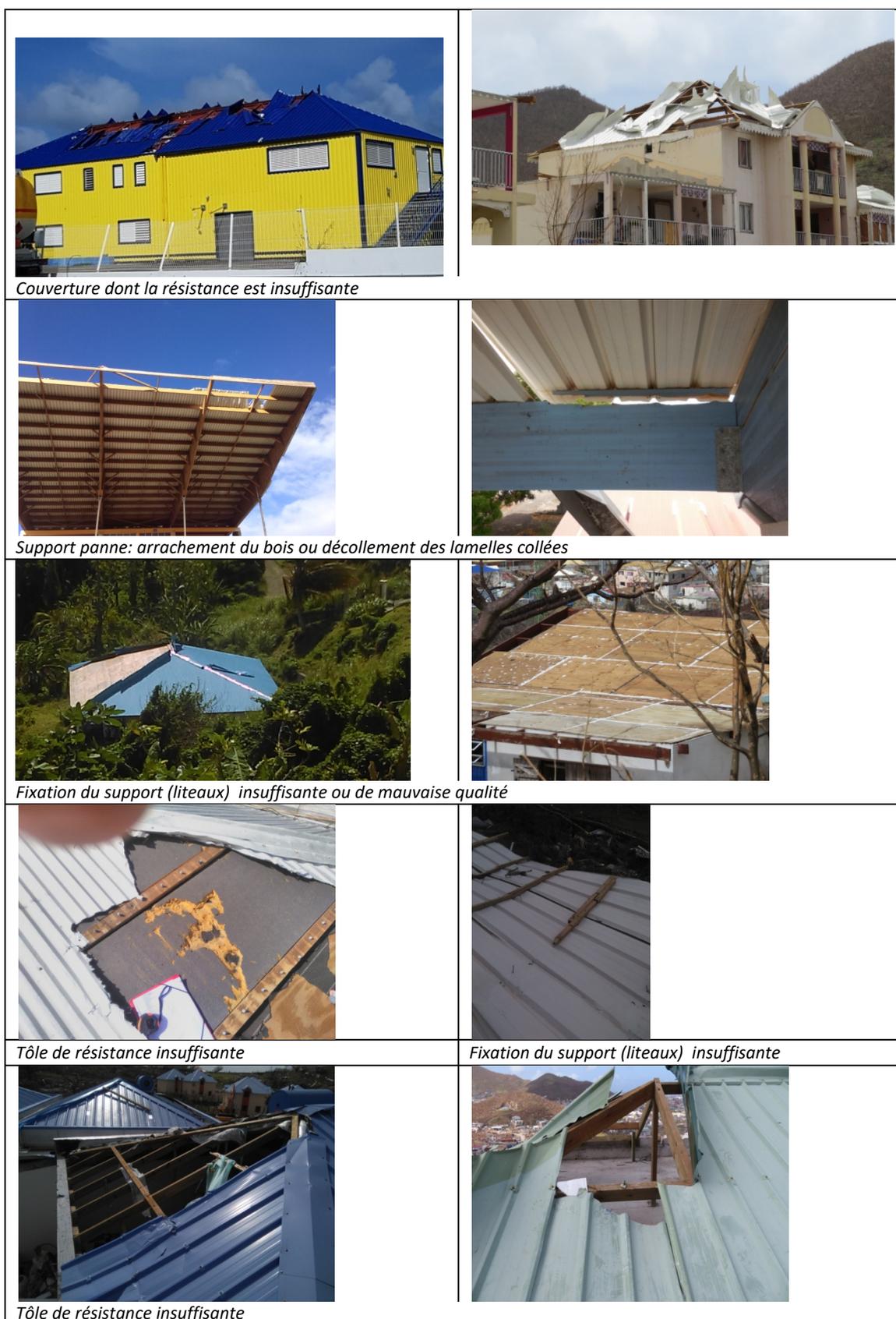


Figure 17 Illustrations par photos des dégâts de couverture

4.2.5. Menuiseries extérieures

Certaines menuiseries extérieures ont été arrachées, ou cassées principalement à cause de défaut de fixation ou d'un dimensionnement insuffisant, par rapport à l'action subie, ou de dispositions constructives insuffisantes.



Figure 18 Illustrations par photos des dégâts de menuiseries

4.2.6. Equipements indissociables

Les équipements situés à proximité d'un bâtiment ou fixés dessus causent de lourds dommages lors de cyclones ; leur arrachement provoque une faille dans la structure et ces derniers deviennent en même temps des projectiles dangereux.



Figure 19 Illustrations par photos de comportement d'équipements

4.3.Synthèse

SYNTHESE REX :cyclones

- a) Maria est un phénomène de type barbadien, ayant connu une intensité exceptionnelle dans l'histoire de notre région, avec les vents les plus dévastateurs ne touchant qu'une partie d'un territoire, en raison de son petit rayon d'action
- b) L'oeil de MARIA atteint la Dominique le 18 septembre 2017 à 21h15 locales avec des vents maximum soutenus sur une minute de 260 km/h, ce qui correspond à la classe 5 sur l'échelle de Saffir-Simpson
- c) L'ouragan MARIA frappe la Guadeloupe dans la nuit du 18 au 19 septembre 2017 en catégorie 4 et intervient 22 ans après l'ouragan MARILYN. Il s'agit du 9ème ouragan intense qui concerne directement l'archipel depuis 1825, soit une fréquence d'un phénomène de ce type tous les 21 ans.
- d) IRMA a été un ouragan majeur catégorie 5, avec des vents moyens sur une minute de 275km/h ou plus durant 3 jours et demi, ce qui constitue un record mondial.
- e) IRMA a été considéré comme générant des vents moyens **sur une minute** jusqu'à 290-295km/h. Une mission d'un avion «chasseur de cyclones» a même mesuré une valeur de rafales (10 secondes) à 317km/h au niveau de vol de l'avion, soit entre 2500 et 3000m d'altitude.
- f) Il s'agit du premier atterrissage d'un ouragan de catégorie 5 sur une île des Petites Antilles. Les plus forts, encore dans la mémoire collective, de type Hugo (1989 Guadeloupe) ou Luis (1995 St-Martin) étaient de catégorie 4 lors de l'atterrissage avec des vents moyens **sur une minute** jusqu'à 220-230km/h.
- g) **La vitesse de vent moyen soutenue sur une minute estimée par Météo France (~295 km/h ou 82m/s) qui aurait été atteinte par Irma, convertie en vitesse de vent « Eurocode », au moyen du coefficient de JM Moisselin, nous donnerait une vitesse moyenne sur 10 minutes à 10m au dessus de la mer égale à ~260 km/h (72,2m/s).**

SYNTHESE REX dégâts occasionnés

- a) Au préalable, il y a lieu de faire une liste exhaustive des bâtiments endommagés construits selon les règles NV65 et ceux dimensionnés avec les règles Eurocode, afin d'apprécier l'impact du changement de normes sur la construction et son influence sur les dommages observés
- b) Dans un deuxième temps, pour faire un bilan circonstancié des causes et origines des dégâts, Il convient de faire un diagnostique des ouvrages n'ayant pas tenu en vérifiant notamment la cohérence des hypothèses de calcul avec l'implantation réelle, les détails d'exécution, notamment les ancrages et fixations.
- c) Les ouvrages métalliques, bois ou béton ayant subi les effets destructeurs des cyclones, semblent avoir un manque de réserve en terme de résistance, et/ou un défaut de dimensionnement et de conception vis-à-vis de l'agression subie.
- d) Les toitures ont souffert de défauts de fixations ou de résistance intrinsèque de la couverture (épaisseur de la tôle) et de rupture des supports
- e) Les performances de résistance au vent des menuiseries extérieures qui n'ont pas tenu devront être vérifiées pour comprendre la raison de leur mauvais comportement.

5. HABITAT CYCLONIQUE

5.1. Préambule

Les actions du vent varient en fonction du temps et s'appliquent directement sur les surfaces extérieures des constructions fermées et, du fait de la porosité de la surface extérieure, agissent également indirectement sur les surfaces intérieures. Elles peuvent également affecter directement la surface intérieure des constructions ouvertes. Les pressions qui s'exercent sur les éléments de la surface engendrent des forces perpendiculaires à la surface de la construction ou des éléments de façade individuels.

Par ailleurs, lorsque le vent balaye de larges surfaces de la construction, des forces de frottement non négligeables peuvent se développer tangentiellement à la surface.

La forme du bâtiment, la présence d'ouvertures et leur implantation impactent donc fortement la capacité de l'ouvrage à résister à des vents extrêmes et doivent donc être pris en compte lors de la conception.

Ce document est destiné à préparer la rédaction d'un guide de conception paracyclonique de bâtiment aux Antilles avec description des dispositions constructives et architecturales favorables à la tenue en cas de vents extrêmes en tenant compte des paramètres suivants :

- influence de la forme architecturale (optimum proche du carré avec puits de lumière et peu de débord pouvant être sollicitée exclusivement en compression)
- robustesse;
- calcul des trainées.
- catalogue de dispositions constructives permettant d'éviter de favoriser les effets de bord pour les toitures.

5.2. Données d'hypothèses de calcul

Pour la modélisation de l'action du vent pour le dimensionnement, il nous apparaît important de se pencher sur les hypothèses de calcul suivantes en plus des exigences des normes:

- Prise en compte de classe de protection pour des ouvrages spécifiques (abri sûr ; bât gestion crise...) :
 - ✓ en précisant des valeurs minimales de pression à respecter ou application de coefficients de sécurité complémentaires (voir extrait NV65 figure 20)
- Définir une catégorie de rugosité minimale :
 - ✓ il apparaît clairement que la sous estimation des valeurs de vent issues du choix d'une catégorie de rugosité est fatale
 - ✓ Comme la NV65, il serait souhaitable d'indiquer une catégorie de rugosité minimale hors zone côtière qui pourrait être II, donnant une sécurité équivalente aux Règles NV65
- Eclaircir la largeur de bande cat rugosité 0 :
 - ✓ Une étude précise des conditions de prise en compte d'une catégorie de rugosité 0 est à mener pour clarifier ce choix
- Vérifier les cas avec façades à ouverture dominante :

- ✓ Il doit être systématisé le calcul de l'ouvrage en situation accidentelle quand une porte ou fenêtre est ouverte ; notamment pour les ouvrages comportant des baies de grandes dimensions
- Indiquer le respect d'un minimum pour les fenêtres ou protection voir DTU menuiseries :
 - ✓ Les normes et DTU sur les baies et fermetures sont très disparate en terme d'exigence et de performances attendues ; vu que la rupture de ces éléments entraîne d'énormes modification de pression intérieures en plus des dégâts occasionnés ; une grande réflexion est à mener sur les performances à leur imposer dans le cas de zones sujettes à cyclones

1,233 Valeurs fixées par le cahier des charges

Le cahier des charges peut prescrire des pressions dynamiques de base normale et extrême supérieures à celles des Règles et modifier leur rapport suivant les résultats des observations, les conditions locales, et la destination du bâtiment, en particulier lorsque sa pérennité doit être assurée avec un large coefficient de sécurité.

Figure 20 Extrait NV 65 –cahier des charges

5.3.Conception architecturale

Il existe très peu de document abordant la conception paracyclonique ; on peut en citer trois :

- *Cahier du CSTB 3071 d'octobre 1998 - Habitat cyclonique – concept adapté à l'autoconstruction*
- *CONCEPTION PARACYCLONIQUE A l'usage des architectes et ingénieurs Christian Barré Alexandre de la Foye Sophie Moreau*
- *Guide de Construction Parasismique et Paracyclonique de Maisons Individuelles à structure en Bois aux Antilles AFPS/SPIOM*

Le premier document est axé sur une réponse aux problèmes d'habitat traditionnel autoconstruit. Les propositions qui y figurent sont donc influencées par les contraintes de ce type d'habitat précaire. Il ébauche une analyse de l'habitat traditionnel et de l'auto construction et propose des formes de bâtiments aérodynamiques ayant une meilleure résistance au vent cyclonique.

Il convient de signaler que les derniers événements climatiques montrent que les habitats précaires ne sont pas les seuls impactés par les effets du cyclone ; de nombreux bâtiments réalisés par des professionnels et contrôlés ont été détruits.

Le deuxième document est plus complet et riche. Il donne des éléments aussi bien pour le dimensionnement que pour l'architecture de l'ouvrage à édifier ; on pourra s'y référer pour la rédaction d'un document sur la conception paracyclonique aux Antilles. Il donne des solutions équivalentes au premier document en terme d'architecture de petit bâti traditionnel.

Le troisième document est un guide de dimensionnement paracyclonique et parasismique spécifique aux maisons à ossatures bois aux Antilles, à l'initiative du Ministère de l'Outremer et de la Direction

Départementale de l'Équipement de Guadeloupe, et rédigé par les membres antillais de l'Association Française du Génie Parasismique (regroupés dans les chapitres Guadeloupe et Martinique) appuyés par les experts nationaux. Il propose des techniques de mise en œuvre et des dimensionnements forfaitaires conformes aux réglementations en vigueur en Guadeloupe et en Martinique pour les bâtiments entrant dans son domaine d'application. Les auteurs ont volontairement limité le domaine d'application aux types de constructions en bois les plus courantes aux Antilles et ont exclu les implantations sur les sites trop exposés aux vents cycloniques ou sur trop fortes pentes. Le guide ne prend donc pas en compte les configurations architecturales qui, par leurs dimensions ou leur géométrie, nécessitent des prescriptions trop complexes ou coûteuses pour une approche forfaitaire. Le constructeur trouve dans les différents chapitres les détails de la mise en œuvre, et dans les tableaux les dimensionnements à retenir pour son projet.

On peut retenir de ces documents les axes d'étude suivants pour arriver à une conception paracyclonique :

- 1) Réduire les charges appliquées à l'ouvrage
 - Choisir son implantation en tenant compte des effets de survitesse en découlant
 - Minimiser les dimensions des baies et les effets en cas d'ouverture probable lors de forts vents
 - Minimiser les sollicitations de la toiture en arrachement :
 - Par diminution des actions locales notamment en rive (prise au vent : dimensions des auvents ; débords)
 - Contrôle des pressions interne et équilibrage des sollicitations (forme de la toiture)
 - Adaptation de la forme du bâtiment (compact)
- 2) Dimensionnement correct et suffisant
 - Améliorer les liaisons mécaniques
 - Améliorer la résistance

Il serait intéressant de comparer les dispositions architecturales et constructives évoquées dans les deux premiers documents et la construction traditionnelle des maisons bois aux Antilles. Il semble que le parti architectural de ces bâtis traditionnels suit quelques points abordés notamment sur la forme aérodynamique des bâtiments.

6. CONCLUSION

En ce qui concerne les deux phénomènes qui ont sévit sur les îles de Guadeloupe en septembre 2017, on peut conclure après la recherche bibliographique sur l 'historique des cyclones, l'étude des données et documents établis par Météo France, qu'ils ne sont pas hors normes en terme d'occurrence ; par contre, **ils battent d'autres records notamment leur violence et leur type de genèse.**

Pour Irma (Source Météo France) : il semble que les valeurs de vitesses de vent enregistrées lors de son passage sur Saint Martin n'ont jamais été aussi fortes si on se réfère aux bases de données existants depuis 1951 :

- ❖ Il s'agit du premier atterrissage d'un ouragan de catégorie 5 sur une île des Petites Antilles
- ❖ Ouragan majeur de catégorie 5, avec des vents moyens soutenus sur 1 minute supérieur à 275km/h durant 3 jours et demi
- ❖ Ouragan ayant généré des vents moyens **soutenus sur 1 minute** jusqu'à 290-295km/h

De plus, ces vitesses estimées à 10m de hauteur seraient supérieures aux valeurs prises en compte par les normes de calcul NV65 pour l'action du vent extrême site exposé utilisée auparavant; elles seraient légèrement inférieures à celle la plus défavorable déduite de la norme NF EN1991-1-4/NA pondérée avec les coefficients de sécurité ELU.

Pour Maria (Source Météo France) :

- ❖ MARIA était un ouragan de catégorie 4 proche de la catégorie 5, un mur de l'oeil très étroit autour d'un oeil de taille moyenne (entre 15 et 20 km), une pression barométrique au centre de 942 hPa avec un rayon de vents cycloniques de petite étendue et une très faible vitesse de déplacement, que MARIA allait frapper particulièrement le sud de l'archipel de la Guadeloupe.
- ❖ Toute la partie de l'archipel au sud d'une ligne Trois-Rivières - Baillif, incluant la ville de Basse-Terre a été concernée par un rayon des vents de classe 2 (vent maximal soutenu sur une minute supérieur à 155 km/h). La commune de Vieux-Fort et les zones montagneuses exposées vers le sud et sud-est ont certainement subi des rafales de plus de 200 km/h (rafales proches de 220 km/h).

De très gros dégâts sont à déplorer, à cause de ces deux phénomènes cycloniques, même sur des constructions censées « obéir aux règles » et une analyse plus fine doit être menée pour comprendre les causes de ces défaillances que nous avons classées dans un premier temps en cinq catégories principales :

- Dimensionnement insuffisant
- Manque de réserve de résistance
- Défaut dans la conception
- Défaut dans la fixation et d'ancrage
- Défaut dans la réalisation et exécution (dispositions constructives)

Malgré tout, à Saint-Martin on peut noter que des constructions ont tenu à ces rafales hors du commun, ce qui montre que bien construire permet de résister à des vents extrêmes plus violents que ceux attendus ; il serait aussi intéressant de se pencher sur ces ouvrages (nombreux) qui ont résisté pour en tirer un enseignement dans le domaine du paracyclonique (conception, dimensionnement, réalisation).

A l'aube d'un changement normatif, Il serait bon de répertorier les ouvrages construits selon les anciennes Règles NV65 et ceux dimensionnés avec les normes Eurocode pour mesurer l'impact de cette évolution normative.

En effet, l'étude de ces deux normes de calcul utilisées, fait apparaître clairement que la sous estimation des valeurs de vent issue d'un mauvais choix de catégorie de rugosité et de condition d'orographie a d'énormes conséquences; car la nouvelle norme NF EN1991-1-4 ne donne pas une sécurité équivalente à celle données par les règles NV65 en terme de pression de vent de calcul, sur bon nombre d'implantations hors zone côtière.

Par ailleurs, une étude précise des conditions de prise en compte d'une catégorie de rugosité 0 est à mener pour clarifier ce choix. Il serait souhaitable d'indiquer une catégorie de rugosité minimale quand on est situé hors zone de catégorie 0 qui pourrait être II, donnant une sécurité équivalente aux Règles NV65 dans ces zones hors zone côtière exposée .

De plus, Il doit être systématisé le calcul de l'ouvrage en situation accidentelle quand une porte ou fenêtre est ouverte ; notamment pour les ouvrages comportant des baies de grandes dimensions.

Enfin, les normes et DTU sur les baies et fermetures sont très disparates en terme d'exigence et de performances attendues ; vu que la rupture de ces éléments entraînent d'énormes modifications de pressions intérieures en plus des dégâts occasionnés ; une grande réflexion est à mener sur les performances à leur imposer dans les zones cycloniques.

Il est à noter que notre document ne traite pas des autres effets des cyclones tels la houle ,la marée de tempête ou les impacts de projectiles...qu'il convient d'ajouter aux effets du vent pour réussir une bonne conception paracyclonique.

La conception paracyclonique apparait comme une solution indispensable pour limiter les dégâts dus aux vents extrêmes et permettre de résister à un vent supérieur au « vent de calcul » avec une réserve de résistance conférée moyennant des dispositions constructives adéquates ; il est donc urgent qu'un document soit rédigé dans ce sens.

Il est aussi souhaitable de se pencher sur les ouvrages spécifiques aidant à la gestion de crise ou servant aux abris sûrs proposés à la population, en leur imposant par exemple un cas de charge de vent plus fort que celui d'un ouvrage courant (en modulant les périodes de retour comme pour la construction parasismique en France ou comme le font les Américains dans leur code ASCE pour l'action vent).

Pour mémoire L'Article L563-1 du code de l'environnement prévoit que « *dans les zones particulièrement exposées à un risque sismique ou cyclonique, des règles particulières de construction parasismique ou paracyclonique peuvent être imposées aux équipements, bâtiments et installations* ». Par ailleurs, l'article R431-16 du code de l'urbanisme indique que les pièces du dossier de demande de permis de construire doivent comporter un document d'un contrôleur technique attestant qu'il a fait connaître au maître d'ouvrage son avis sur la prise en compte, au stade de la conception, des règles parasismiques et paracycloniques. Or aucune norme ou règle ne définit cette conception architecturale paracyclonique.

BIBLIOGRAPHIE

1. The historic reality of the cyclonic variability in French Antilles, 1635–2007 E. Garnier, J. Desarthe, and D. Moncoulon
2. ÉCLATS DE TEMPS Anthologie des événements climatiques extrêmes de la Guadeloupe annexes_ Jean-Claude HUC et Max ETNA
3. Règles Neige et Vent NV 65
4. Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale. Partie 2-4 : Actions sur les structures - Actions du vent », XP ENV 1991-2-4, AFNOR, septembre 2000
5. «NF EN 1991-1-4, Eurocode 1 : Actions sur les structures - Partie 1-4 : Actions générales - Actions du vent», version française, AFNOR, avril 2005 et annexe nationale
6. SACRÉ C., « Estimation des vitesses extrêmes du vent en France métropolitaine », rapport CSTB EN-CLI 93.9R, 1993
7. Cahier du CSTB 2078 de mai 1986 - Vents extrêmes cyclones tropicaux dans les DOM-TOM EN-CAPE 05.180 C – V1Cartographie des vents extrêmes en France Métropolitaine Christian SACRE – Maeva SABRE – Jean-Paul FLORI
8. DELAUNAY D., « Vents extrêmes dus aux cyclones tropicaux dans les DOM-TOM », Cahiers du CSTB n°2078, Livraison 269, mai 1986
9. Etude DIRAG vitesses cycloniques Antilles_ddd_ventscycl_ag –MF 1995
10. SACRÉ C., SABRE M., FLORI J.P., « Cartographie des vents extrêmes en France métropolitaine », en partenariat avec Météo France, rapport CSTB EN CAPE 05.180C-V1,2005
11. SACRÉ C., « Eurocode 1 – Partie 2-4 : Actions sur les structures - Actions du vent. Contribution à l'annexe nationale concernant l'évaluation des coefficients cdir et cseason », rapport CSTB EN-CAPE 06.005L-V0, janvier 2006
12. GUILHOT J., « Cartographie des vitesses extrêmes de vent dans les DOM-TOM », rapport CSTB EN-CAPE 05.104C-V0, juillet 2005
13. Jacques BIETRY 2006 , *Vent de référence en France : propositions pour l'Annexe nationale de l'Eurocode NF EN 1991-1-4*, note pour le Groupe P06A – actions du vent, 13 sept. 2006
14. Annexe nationale à la norme NF EN 1991-1-4 :éléments d'information pour la réunion de dépouillement de l'enquête probatoire Jacques BIETRY 2007Projet_modificatif n-4 aux NV65_carte vent
15. Charges de vent sur les bâtiments Des règles NV65 à l'Eurocode NF EN 1991-4 Thierry Lamadon Bureau Veritas – Le Cahier BTP n°17- avril 2006
16. Direction Interregionale Antilles-Guyane Communiqué De Presse Passage De L'ouragan Exceptionnel Irma sur Les Iles Françaises Des Antilles Les 5 Et 6 Septembre 2017
17. Direction Interegionale Antilles-Guyane Bilan Meteorologique Passage De L'ouragan Majeur Maria Sur Les Iles Françaises Des Antilles Les 18 Et 19 Septembre 2017
18. L'ouragan MARIA en Guadeloupe 18 et 19 septembre 2017 J-C. HUC (Spécialiste de l'histoire des cyclones des Antilles) -R. MAZURIE (Ingénieur météorologue) F. BOREL (Informaticien)
19. CONCEPTION PARACYCLONIQUE A l'usage des architectes et ingénieurs Christian Barré Alexandre de la Foye Sophie Moreau
20. Cahier du CSTB 3071 d'octobre 1998 - Habitat cyclonique – autoconstruction
21. Guide de Construction Parasismique et Paracyclonique de Maisons Individuelles à structure en Bois aux Antilles-SPIOM/AFPS décembre 2011

FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 Situation des Petites Antilles | 5 |
| Figure 2 Echelle Saffir Simpson –Classement en catégorie des Cyclones | 7 |
| Figure 3 Répartition des Cyclones dans le temps par catégorie aux Antilles françaises..... | 8 |
| Figure 4 Photo satellite des 3 cyclones du mois de septembre 2017 (Source NHC)..... | 14 |
| Figure 5 Activité cyclonique et Trajectoires des cyclones en 1995 et en 2017 (Source NHC) | 14 |
| Figure 6 Comparaison des vitesses obtenues au moyen des études pour diverses périodes de retour au dessus de la mer..... | 19 |
| Figure 7 Illustration des méthodes d'étude du vent de référence selon NF EN 1991-1-4/NA | 23 |
| Figure 8 Illustration NF EN1991-1-4 coefficient de rugosité..... | 25 |
| Figure 9 Illustration NF EN1991-1-4 Choix de la rugosité | 27 |
| Figure 10 Illustration du choix de la rugosité | 28 |
| Figure 11 Illustration de l'augmentation des vitesses du vent due à l'orographie (NF EN 1991-1-4 Annexe A)..... | 29 |
| Figure 12 NF EN1991-1-4 Exemple de zones forte dépression extérieure pour une façade..... | 50 |
| Figure 14 Illustrations par photos des zones de succions exacerbées | 51 |
| Figure 15 Illustrations par photos des dégâts sur structures..... | 52 |
| Figure 16 Illustrations par photos des dégâts de charpente de toiture..... | 53 |
| Figure 17 Illustrations par photos des dégâts de couverture | 54 |
| Figure 18 Illustrations par photos des dégâts de menuiseries | 55 |
| Figure 19 Illustrations par photos de comportement d'équipements..... | 56 |
| Figure 20 Extrait NV 65 –cahier des charges | 59 |

TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1 Synthèse des phénomènes moyens à forts..... | 11 |
| Tableau 2 Caractéristiques des récents ouragans ayant frappés fortement l'archipel | 13 |
| Tableau 3 Comparaison des caractéristiques des ouragans lors de leur passage au plus près de la Guadeloupe | 13 |
| Tableau 4 Fréquences des pointes de vent avec $V_{mer} \geq 35m/s$ | 15 |
| Tableau 5 vitesse de vent moyen sur 10minutes à 10m au dessus de la mer pour diverses périodes de retour..... | 16 |
| Tableau 6 -Vitesse moyenne du vent à 10m dans les DOM à 50ans et 1000ans..... | 16 |
| Tableau 7 -Vitesse moyenne du vent à 10m au dessus d'un terrain dégagé (Cat II) dans les DOM | 19 |
| Tableau 8 Définition des valeurs de pressions aux Antilles selon NV65 | 22 |
| Tableau 9-NV 65 -Coefficient de site K_s en fonction de l'implantation | 25 |
| Tableau 10 – NF EN1991-1-4 –Catégories de rugosité | 26 |
| Tableau 11 – NF EN1991-1-4 /NA– Catégorie de rugosité..... | 26 |
| Tableau 12 – DTU39 –Définition catégorie de terrain/rugosité | 28 |
| Tableau 13 Pression de vent aux Antilles zone 5 selon NV65 à 10m de hauteur | 30 |
| Tableau 14 Pression de vent en Guadeloupe selon NF EN1991-1-4/NA à 10m de hauteur | 30 |
| Tableau 15 Pression de vent en Martinique selon NF EN1991-1-4/NA à 10m de hauteur..... | 30 |
| Tableau 16 Coefficient partiel de sécurité selon matériau et référentiel appliqué..... | 31 |
| Tableau 17 : Guadeloupe - comparaison de la pression pour une hauteur de 5m et 10m par rapport au sol..... | 31 |
| Tableau 18 Martinique -comparaison de la pression pour une hauteur de 5m et 10m par rapport au sol | 31 |
| Tableau 19 : Guadeloupe - Zoom : Comparaison de la pression avec site Exposé pour une hauteur de 5m et 10m par rapport au sol | 32 |
| Tableau 20 Guadeloupe : comparaison de la pression d'essai pour porte selon le référentiel..... | 34 |
| Tableau 21 Guadeloupe : Vitrage comparaison de la pression d'essai selon le référentiel..... | 35 |
| Tableau 22 :Guadeloupe : comparaison de la pression d'essai selon le référentiel Porte industrielle | 36 |
| Tableau 23 Guadeloupe : comparaison de la pression d'essai selon le référentiel Volet Roulant | 37 |
| Tableau 24 Caractéristiques Ouragan Irma | 41 |
| Tableau 25 Vitesse de vent IRMA mesurée par Météo France et calculée selon Hypothèse NF EN1991-1-4 | 44 |
| Tableau 26 Caractéristiques Ouragan Maria | 45 |
| Tableau 27 Vitesse de vent MARIA mesurée par Météo France et calculée selon Hypothèse NF EN1991-1-4 | 49 |