Le réchauffement climatique actuel influence-t-il l'activité des ouragans extrêmes de l'Atlantique Nord (1945-2018) ?

Karl Hoarau, Florence Pirard et Ludovic Chalonge

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/echogeo/19141>

DOI : 10.4000/echogeo.19141

ISSN : 1963-1197

Éditeur

Pôle de recherche pour l'organisation et la diffusion de l'information géographique (CNRS UMR 8586)

Référence électronique

Karl Hoarau, Florence Pirard et Ludovic Chalonge, « Le réchauffement climatique actuel influence-t-il l'activité des ouragans extrêmes de l'Atlantique Nord (1945-2018) ? », *EchoGéo* [En ligne], 51 | 2020, mis en ligne le 25 avril 2020, consulté le 10 août 2021. URL : <http://journals.openedition.org/echogeo/19141> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/echogeo.19141>

Ce document a été généré automatiquement le 10 août 2021.

EchoGéo est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International (CC BY-NC-ND)

Le réchauffement climatique actuel influence-t-il l'activité des ouragans extrêmes de l'Atlantique Nord (1945-2018) ?

Karl Hoarau, Florence Pirard et Ludovic Chalonge

Introduction

- 1 Le bassin cyclonique de l'Atlantique Nord est délimité par les latitudes de 5 à 40 degrés Nord, et les longitudes de 10 à 100 degrés Ouest. Avec 12 % des tempêtes tropicales et ouragans du globe, l'Atlantique Nord occupe le 4^{ème} rang des six bassins cycloniques (Schreck *et al.*, 2014). Depuis le milieu des années 2000, la focalisation de l'attention sur cette région résulte de la recrudescence de l'activité cyclonique et des dégâts impressionnants occasionnés par les vents forts, les inondations pluviales, et les marées de tempête auxquels sont exposés les nombreux enjeux insulaires et littoraux continentaux. Ainsi, Katrina (2005) a été l'ouragan le plus coûteux de l'histoire récente des États-Unis avec des dommages évalués à 160 milliards de dollars (dollars de 2017), suivi de Harvey (2017) avec 125 milliards, Maria (2017) avec 90 milliards, Sandy (2012) avec 70 milliards, et Irma (2017) avec 50 milliards (NCEI, 2018). Il est remarquable que trois des ouragans les plus coûteux soient intervenus en 2017. Parmi ces derniers, Irma et Maria ont atteint la catégorie 5 sur l'échelle de Saffir-Simpson (Simpson, 1974). L'intensité d'un cyclone tropical étant définie par le vent soutenu de surface soufflant dans le mur de l'œil (Merril, 1984), la catégorie 5 correspond à des vents moyens sur une minute de plus de 135 nœuds (250 km/h) en surface. Irma est le premier ouragan à parvenir à une intensité maximale de 155 nœuds (285 km/h) à l'est des petites Antilles (Cangialosi *et al.*, 2018), dans une région où les conditions troposphériques n'ont pas toujours été considérées comme optimales pour favoriser le développement des phénomènes très intenses (Landsea, 1993). Considérant que les 9 années les plus chaudes du globe ont été observées depuis 2005 (NCEI, 2019b), il est légitime de

s'interroger sur le lien entre l'activité des ouragans de l'Atlantique Nord et le réchauffement climatique actuel. Pour tenter d'apporter des éléments de réponse à cette interrogation, nous avons fait le choix d'étudier l'activité des ouragans extrêmes des catégories 4 et 5, les deux plus fortes de la classification de Saffir-Simpson. Ces ouragans génèrent des vents soutenus sur une minute d'au moins 115 nœuds (plus de 210 km/h) en surface. Ces catégories sont celles utilisées par le GIEC pour effectuer des projections pour la deuxième partie du XXI^e siècle (Christensen *et al.*, 2013). Une attention particulière concerne le nombre d'ouragans extrêmes, leur proportion dans l'ensemble des ouragans (catégories 1 à 5), et l'intensité absolue des ouragans par décennie. La période retenue pour l'étude est de 74 années, de 1945 à 2018, puisque l'Atlantique Nord est le bassin océanique où les reconnaissances aériennes (Jarvinen *et al.*, 1984), et les images satellitaires permettent une analyse des données sur plus de sept décennies alors que la période d'observations plus courte dans les autres bassins rend plus difficile la détection de tendance (Landsea *et al.* 2006).

L'importante question de l'homogénéité des données d'intensité

L'obtention des données avant l'ère des satellites météorologiques (1945-1973)

- 2 L'Atlantique Nord est la région du globe avec la plus longue série de données sur l'intensité des cyclones tropicaux. Cependant, celles-ci n'ont pas été obtenues de la même manière sur toute la période de 74 années (1945-2018). Jusqu'à l'avènement du premier satellite météorologique géostationnaire en 1974 (Foley, 1995), l'intensité des ouragans était connue surtout par les reconnaissances aériennes qui ont débuté au milieu de l'été 1944 (Jarvinen *et al.* 1984). Les avions pénètrent dans les ouragans au niveau 700 hPa (une altitude de 3 000 m dans une atmosphère standard mais plus basse dans une circulation cyclonique) et une sonde mesure la pression atmosphérique au niveau de la mer dans l'œil. En l'absence de sonde, une équation calcule la pression à partir de l'altitude du niveau 700 hPa dans l'œil (Jordan, 1958). Grâce aux observations réalisées dans les stations météorologiques littorales insulaires ou continentales, une relation a été établie entre le vent maximal soutenu à la surface et la pression mesurée par les avions. Ainsi, un vent soutenu de 115 nœuds a été associé à une pression de l'ordre de 945 à 950 hPa (Landsea, 1993).

L'apport des données satellitaires (depuis 1974)

- 3 Les premiers satellites météorologiques américains, Vanguard et Tiros-1, ont été lancés les 17 février 1959 et 1^{er} avril 1960, respectivement (Foley, 1995). Cependant, ces satellites à orbite polaire livraient chacun, au mieux, deux images par jour. Il a fallu attendre les premiers satellites géostationnaires, SMS-1 le 17 mai 1974 et Goes-1 le 16 octobre 1975 situés à 75 degrés de longitude ouest, pour que l'Atlantique Nord tropical ait une couverture temporelle satisfaisante avec une fréquence d'une image toutes les trois heures. Il en a résulté un suivi plus régulier de la trajectoire des ouragans. En outre, il a été possible d'associer des ouragans de différentes intensités mesurées par avions à des configurations nuageuses observées sur l'imagerie satellitaire. Ainsi,

Dvorak et Wright (1977) présentèrent une méthode d'analyse de l'intensité des cyclones tropicaux à partir des données en infrarouge thermique des satellites. Si la formation des prévisionnistes commença dès l'année 1978 aux États-Unis, la version définitive de la technique fut publiée en 1984 (Dvorak, 1984). Dans les cinq autres bassins océaniques du globe ne bénéficiant pas de reconnaissances aériennes, l'intensité des cyclones tropicaux est déterminée par la seule méthode de Dvorak (1984). Cette dernière repose sur la mesure de deux paramètres: la température du pixel le plus chaud dans l'œil (en surface, là où le ciel est dégagé ou au sommet des nuages qui peuvent recouvrir le centre de basses ou moyennes couches) et la température des sommets nuageux dans un rayon d'au moins 0.5 degré de latitude autour de l'œil. Un ouragan est d'autant plus intense qu'il affiche un œil chaud ennoyé dans une ceinture nuageuse avec des sommets très froids. Un ouragan avec un œil moins chaud peut être d'une intensité comparable à un autre, à condition d'avoir une ceinture nuageuse aux sommets plus froids.

L'apport des technologies dans les reconnaissances aériennes depuis 1997

- 4 Lors de la saison 1997, des nouvelles sondes GPS « flottantes » dans l'air ont été déployées à partir des avions dans les ouragans pour connaître la distribution des vents du niveau 700 hPa jusqu'à la surface de l'océan (Hock et Franklin, 1999). Les travaux de Franklin *et al.*, (2003) ont permis d'estimer que le vent matérialisant l'intensité d'un ouragan au niveau de la mer correspondait à 90 % du vent maximal à 700 hPa dans le mur de l'œil. Un vent soutenu de 115 nœuds (210 km/h) à la surface (seuil minimal de la catégorie 4) implique une vitesse d'au moins 125 nœuds (230 km/h) à 700 hPa. La mesure des vents d'un ouragan a encore évolué avec l'avènement des radiomètres à micro-ondes fixés sous l'une des deux ailes de l'avion. Cet appareil permet de calculer la vitesse de déplacement des embruns à la surface de l'océan, et de déduire la vitesse du vent (Uhlhorn *et al.*, 2007). Lorsque le radiomètre à micro-ondes mesure un vent de surface différent de celui calculé en surface à partir du vent maximal à 700 hPa, une valeur moyenne est retenue comme vent soutenu de surface par le Centre National des Ouragans de Miami.

Les configurations nuageuses des ouragans extrêmes

- 5 Dans les années 1980 et 1990, un nombre croissant d'ouragans n'a pas été investigué par reconnaissances aériennes dans l'Atlantique Nord (Landsea et Franklin, 2013). Ces dernières étaient effectuées lorsque les ouragans présentaient une menace pour les populations. Pour homogénéiser les données, nous avons fait le choix de ré-analyser l'intensité des ouragans avec la méthode de Dvorak (1984) en utilisant les images satellitaires (Hursat, 1978-2009 ; TCP, 2006-2018). L'objectif était de recenser les cyclones extrêmes c'est-à-dire ceux ayant atteint une intensité minimale de 115 nœuds (catégorie 4 de la classification de Saffir-Simpson). Les premières images archivées remontant à la saison 1978, la ré-analyse a porté sur la période de 41 années (1978-2018). Un exemple d'application de la technique de Dvorak est détaillé par Hoarau *et al.* (2018) sur un cyclone tropical du Pacifique Sud. Notre ré-analyse a été entreprise pour tous les ouragans de l'Atlantique Nord affichant un œil sur l'imagerie satellitaire. Cela signifie que nous avons passé en revue un grand nombre d'ouragans,

incluant ceux dont l'intensité n'a pas atteint 115 nœuds. Nous avons déterminé l'intensité maximale seulement pour les ouragans d'au moins 115 nœuds (catégorie 4). Les images satellitaires ont été analysées toutes les trois heures puisque leur fréquence horaire n'est disponible qu'à partir de 1987. La technique de Dvorak classe les tempêtes et les ouragans sur une échelle ouverte d'intensité allant de 1 à 8. Les ouragans produisant des vents de surface d'au moins 115 nœuds correspondent au niveau 6.

- 6 Sur l'imagerie satellitaire, pour atteindre au moins le stade 6 de la classification de Dvorak, un ouragan doit afficher une configuration nuageuse similaire à celle d'Harvey (prénom porté par un ouragan en 1981 et par un autre en 2017) ou d'Omar en 2008 (illustration 1).

Illustration 1 - Trois ouragans de catégorie 4 analysés avec la palette de Dvorak

Sources : à partir des fichiers bruts du National Climatic Data Center (NCDC) et de Tropical Cyclone Products.

- 7 Il s'agit d'images prises dans l'infrarouge renforcé, affichant la palette de Dvorak, c'est-à-dire la température des sommets nuageux. Le 26 août 2017, au moment de frapper les côtes du Texas, l'ouragan Harvey avait un œil d'une température de +18.8°C (au sommet de cumulus de basses couches) entouré d'une ceinture nuageuse avec des sommets de -54°C à -63°C sur un rayon d'au moins 0.66 degré de latitude (tableau 1). Bien que faisant le tour complet de l'œil, la ceinture nuageuse aux sommets de -64°C à -69°C ne mesurait que 0.44 degré de rayon. Il aurait fallu qu'elle atteigne au moins 0.5 degré de rayon pour que Harvey (2017) parvienne à une intensité de 125 nœuds au lieu de 115 nœuds.

Tableau 1 - Comparaison de la température de l'œil en altitude, de celle des sommets nuageux, et du rayon minimal de la ceinture nuageuse pour trois ouragans de catégorie 4

Nom	Année	Température de l'œil (°C)	Température des sommets nuageux (°C)	Rayon minimal de la ceinture nuageuse (degré de latitude)
Harvey	2017	+18.8	-54 à -63	0.66
Harvey	1981	-21.2	-64 à -69	0.52
Omar	2008	-43	-70 à -75	0.55

Sources : à partir des fichiers bruts du National Climatic Data Center (NCDC) et de Tropical Cyclone Products.

- 8 Quand la température de l'œil est moins élevée (couverture complète du centre par des nuages de la moyenne troposphère), -21.2°C pour Harvey en 1981 et -43°C pour Omar en 2008, la ceinture nuageuse d'au moins 0.5 degré de rayon doit comporter des sommets plus froids, -64°C à -69°C dans le cas d'Harvey (1981) et -70°C à -75°C dans celui d'Omar, pour que l'intensité atteigne 115 nœuds (illustration 1 et tableau 1). Cela signifie que la perte de définition de l'œil peut être compensée par une convection renforcée autour de ce dernier dans la technique de Dvorak (1984). Sur la période 1978-2018, notre ré-analyse a permis de recenser 65 ouragans des catégories 4 et 5 contre 67 dans la base de données du Hurricane Center de Miami (Hurdatt, 1945-2018 ; NHC, 2019), soit une différence marginale. Ainsi, il a été possible de déterminer un premier groupe d'ouragans obtenu par des observations d'avions (1945 à 1977), et un second groupe analysé avec l'imagerie satellitaire sur 41 années (1978 à 2018). Malgré un certain manque d'homogénéité entre les deux échantillons mentionnés ci-dessus, l'Atlantique Nord est le seul bassin océanique du globe où il existe 74 saisons cycloniques pour étudier les variations de l'activité des ouragans extrêmes.

Les variations de l'activité des ouragans extrêmes

Les variations décennales

- 9 La distribution décennale ne montre pas une augmentation constante du nombre d'ouragans des catégories 4 et 5 entre 1945 et 2018 (illustration 2).

Illustration 2 - Variations décennales du nombre d'ouragans extrêmes de 1945 à 2018

Sources : à partir de la base Hurdatt, de la ré-analyse de l'intensité faite par les auteurs et de Knight *et al.* (2005).

- 10 En outre, le test de Mann-Kendall avec un faible « coefficient Tau » de 0.099 (calculé à la manière d'un coefficient de corrélation entre le nombre d'ouragans extrêmes et le temps) et une « P-value » élevée de 0.249 (soit un risque d'erreur de 24.9 %) permet de conclure à l'absence de tendance sur la période 1945 à 2018. L'activité a été assez importante sur les 20 premières années de la période, notamment avec un maximum de 19 ouragans extrêmes durant la décennie 1955-1964. Elle a été encore plus élevée lors des 24 dernières années (incluant les quatre années de la décennie en cours) avec un maximum de 22 ouragans des catégories 4 et 5 pendant la décennie 1995-2004, la plus prolifique de toute la période. Cependant, ces deux maxima d'activité sont séparés par 30 années (1965 à 1994) durant lesquelles le nombre décennal est descendu entre 6 et 9 ouragans extrêmes. Cette évolution pourrait être « pilotée », en grande partie, par l'oscillation multi-décennale atlantique (dont les phases sont représentées à l'illustration 2) connue sous l'abréviation d'AMO pour « Atlantic Multidecadal Oscillation » (Landsea *et al.*, 1999 ; Trenberth et Shea, 2006). Il s'agit d'une variation naturelle de la température de surface de l'Atlantique Nord, de l'équateur jusqu'à 60 degrés Nord, provoquée par les changements de la circulation thermo-haline à l'échelle multi-décennale (Knight *et al.*, 2005). L'amplitude de la température océanique de surface atteint, en moyenne, 0.4°C entre une phase négative et une phase positive de l'AMO dans l'Atlantique tropical. Ces deux dernières ont une durée de l'ordre de 30 à 35 années, soit 60 à 70 ans pour un cycle complet. Goldenberg *et al.* (2001) ont été les premiers à mettre en évidence une corrélation entre l'AMO et l'activité des ouragans majeurs des catégories 3 à 5 (100 nœuds et plus). Klotzbach et Gray (2008) ont montré un doublement du nombre des ouragans majeurs en phase positive. Lors de cette dernière, la température de l'océan est, certes, plus élevée mais d'autres facteurs de la cyclogenèse deviennent plus favorables (Goldenberg *et al.*, 2001). Le cisaillement vertical de la composante horizontale du vent faiblit avec la réduction de la vitesse du vent d'ouest d'altitude (200 hPa), et le ralentissement des alizés provoqué par le

réchauffement très marqué de l'Atlantique Nord subtropical. L'instabilité est renforcée avec un océan plus chaud, une pression atmosphérique de surface plus faible, et une humidité plus forte dans les couches moyennes de la troposphère (700 hPa à 500 hPa). A l'inverse, en phase négative de l'oscillation multi-décennale atlantique, les facteurs de la cyclogenèse deviennent moins favorables. La première phase positive du XX^e siècle est intervenue de 1930 à 1964, et la seconde, en cours, a débuté en 1995 (Trenberth *et al.*, 2019). La dernière phase négative a pris place entre 1965 et 1994. L'évolution de l'activité des ouragans extrêmes (115 nœuds au moins) décrite ci-dessus s'inscrit bien dans le cadre de cette oscillation multi-décennale puisque le nombre décennal maximal des deux dernières phases actives (19 pour 1955-1964, et 22 pour 1995-2004) correspond au moins au double de celui de la dernière phase négative (neuf pour 1975-1984, et huit pour 1985-1994). Le tableau 2 met en évidence une activité plus importante des ouragans de toutes catégories (1 à 5) lorsque l'AMO est en phase positive.

Tableau 2 - Répartition des ouragans selon l'intensité et la phase de l'AMO

Phase AMO	Catégories 1 à 3	Catégories 4 et 5	Catégories 1 à 5
Négative (30 années)	133	23	156
Positive (44 années)	226	82	308
Total (74 années)	359	105	464

Sources : à partir de la base Hurdad, de la ré-analyse de l'intensité des ouragans faite par les auteurs, et de Knight *et al.* (2005).

- 11 Durant cette partie du cycle de l'AMO, la proportion des ouragans des catégories 4 et 5 augmente fortement avec 26.6 % (82/308) de l'ensemble des ouragans (catégories 1 à 5) contre 14.7 % (23/156) en phase négative de l'AMO. Le test du Khi-deux de Pearson, qui évalue l'indépendance ou la dépendance de deux variables (test de relation bi-variée), ici les cycles positifs et négatifs de l'AMO, indique un « Khi-carré » calculé de 8.1 (supérieur à la valeur théorique de 0.0039 à 5 %, degré de liberté de 1) et une « P-valeur » très faible de 0.004 (soit un risque d'erreur de 0.4 %). Ces chiffres attestent du lien très fort entre un nombre plus élevé d'ouragans extrêmes et les phases positives de l'AMO.
- 12 L'exemple de l'Atlantique Nord indique qu'il faut rester prudent quant à l'interprétation des statistiques figurant dans les bases de données au regard des cycles naturels pouvant exister. En effet, dans leurs travaux publiés par la célèbre revue scientifique *Science*, Webster *et al.* (2005) avaient trouvé un fort accroissement de 56 % du nombre des ouragans des catégories 4 et 5 dans l'Atlantique Nord: 16 pour la période 1975-1989, et 25 pour celle 1990-2004. En fait, les quinze premières années coïncident avec une phase négative de l'AMO (Trenberth *et al.*, 2019) tandis que dix des quinze années de la seconde période se sont produites en phase positive. Webster *et al.* (2005) avaient attribué cette évolution au seul réchauffement climatique actuel. Nous avons fait un exercice comparable en divisant les 74 années de notre période d'étude en deux sous périodes de 37 années, 1945-1981, d'une part, et 1982-2018, d'autre part (illustration 3).

Illustration 3 - Nombre d'ouragans extrêmes entre 1945-1981 et 1982-2018

Sources : à partir de la base Hurdatt et de la ré-analyse de l'intensité des ouragans faite par les auteurs.

- 13 Le nombre d'ouragans extrêmes est passé de 46 à 59, soit une hausse encore conséquente de 28 %. Parallèlement, le nombre total d'ouragans (catégories 1 à 5) est passé de 223 à 241, soit une augmentation de 8.1 %. La proportion d'ouragans des catégories 4 et 5 s'est légèrement accrue, 20.6 % pour la période 1945-1981 contre 24.5 % pour 1982-2018. Le test du Khi-deux portant sur l'évolution du nombre d'ouragans extrêmes entre ces deux périodes indique un « Khi-carré » calculé de 0.6 (supérieur à la valeur théorique de 0.0039 à 5 %, degré de liberté de 1) et une « P-value » de 0.44 (soit un risque d'erreur de 44 %). Ces valeurs montrent que l'augmentation du nombre d'ouragans extrêmes entre ces deux périodes n'est pas significative. D'ailleurs, il faut noter que les 37 années de 1945 à 1981 comportent 20 années en phase positive de l'AMO, et 17 années en phase négative alors que les 37 autres années de 1982 à 2018 en comptent 24, et 13 années, respectivement (Trenberth *et al.*, 2019). Ayant montré précédemment un lien fort entre le nombre plus élevé d'ouragans extrêmes et les phases positives de l'AMO, il est normal que la période 1982-2018 ait eu plus d'ouragans des catégories 4 et 5 puisque la période précédente 1945-1982 comportait plus d'années en phase négative de l'AMO.
- 14 Par ailleurs, à la phase positive actuelle de l'AMO, se superpose une augmentation supplémentaire de la température de l'océan liée au réchauffement climatique en cours. Le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat (GIEC) estimait dans son rapport de 2013 (Christensen *et al.*, 2013) que la température de l'océan se réchauffait de 0.1°C par décennie depuis le début des années 1970. Klotzbach et Landsea (2015) quantifient l'accroissement total de la température de l'Atlantique Nord tropical (de 5 à 25 degrés Nord, et de 20 à 90 degrés Ouest, entre juin et octobre) à 0.8°C (27.2°C à 28°C) entre 1975 et 2014, soit en quatre décennies. C'est la région

océanique du globe qui s'est le plus réchauffée aux latitudes tropicales au cours des 40 dernières années. Si l'on retranche à l'augmentation de 0.8°C constatée de 1975 à 2014 0.4°C dû à l'amplitude de l'AMO (1975 à 1994 ont été en phase négative ; de 1995 à 2014, la phase est positive), il est possible d'estimer l'effet du réchauffement climatique à 0.4°C de 1975 à 2014, en conformité avec l'estimation du GIEC (Christensen *et al.*, 2013). Emanuel (1987) a montré qu'un réchauffement océanique de 1°C pouvait provoquer une augmentation de l'intensité potentielle des cyclones tropicaux de 5 %. Le seul réchauffement climatique actuel aurait une influence encore faible sur l'intensité des ouragans de l'Atlantique Nord. C'est l'effet conjugué d'une phase positive de l'AMO et du changement climatique qui explique la forte hausse de l'activité des ouragans extrêmes mentionnée par Webster *et al.* (2005).

Les variations interannuelles

- 15 Il existe une forte variabilité de l'activité des ouragans des catégories 4 et 5 à l'échelle interannuelle (figure 4). Le maximum de cinq ouragans extrêmes a été observé en 1961, 1999, et 2005 alors qu'aucun n'a été décelé à 19 reprises dans l'Atlantique Nord.

Illustration 4 - Le nombre annuel d'ouragans extrêmes de 1945 à 2018 lors des épisodes El Niño et La Niña

Sources : à partir de la base Hurdad, de la ré-analyse de l'intensité faite par les auteurs, du National Center for Environmental Information (NCEI), du Climate Prediction Center (CPC), et de Knight *et al.* (2005).

- 16 Si l'AMO a une influence incontestable sur l'activité des ouragans les plus intenses, d'autres événements océano-atmosphériques pluriannuels sont connus pour limiter ou favoriser la genèse et l'intensification des cyclones tropicaux. Les épisodes El Niño limitent le nombre et l'intensité des ouragans atlantiques tandis que les événements La Niña s'accompagnent d'une activité très marquée (Gray, 1984 ; Bove *et al.*, 1998). Les épisodes El Niño se caractérisent par l'arrivée d'eaux chaudes dans le Pacifique équatorial de 5 degrés Nord à 5 degrés Sud, et de 120 degrés à 170 degrés Ouest alors que les événements La Niña correspondent à un refroidissement sensible de cette même région (Kuleshov *et al.*, 2009) lié à un renforcement de l'upwelling côtier. Quand il existe une anomalie positive de la température de l'océan (TSO) égale ou supérieure à 0.5°C sur au moins six mois, il s'agit d'un phénomène El Niño (CPC, 2019). À l'inverse, une anomalie négative égale ou supérieure à 0.5°C indique le possible développement d'un événement La Niña. Ces deux phases océaniques chaudes et froides ont aussi une

composante atmosphérique, l'indice d'oscillation australe (Walker, 1924 ; Diamond *et al.*, 2013), qui mesure l'anomalie de la différence de pression atmosphérique entre Tahiti et Darwin. Une période de plusieurs mois avec un indice négatif (positif) traduit l'existence d'un épisode El Niño (La Niña) (NCEI, 2019a). Les phénomènes El Niño et La Niña inscrits à l'illustration 4 ont été établis à partir des anomalies de la température de la mer, et de la pression atmosphérique mentionnées ci-dessus. Les données d'anomalie de la température de l'océan n'étant pas antérieures à 1950 (NCEI, 2019a), la période considérée va de 1950 à 2018, soit 69 années. Les dix plus importants épisodes El Niño et La Niña ont été retenus (illustration 4). Le nombre d'ouragans extrêmes a été de six lors des phénomènes El Niño, et de 27 durant les phases La Niña, soit une moyenne par épisode de 0.6, et 2.7, respectivement, à comparer avec la moyenne de 1.4 pour la période 1950-2018 (tableau 3).

Tableau 3 - Répartition des ouragans selon l'intensité, les épisodes El Niño, La Niña, et les phases neutres de l'indice d'oscillation australe de 1950 à 2018

Phase	Catégories 1 à 3	Catégories 4 et 5	Catégories 1 à 5
Neutre	252	67	319
La Niña	52	27	79
El Niño	32	6	38
Total (69 années)	336	100	436

Sources : à partir de la base Hurdad, de la ré-analyse de l'intensité des ouragans faite par les auteurs et de Diamond *et al.* (2013).

- 17 La proportion d'ouragans extrêmes (catégories 4 et 5) dans l'ensemble des ouragans (catégories 1 à 5) est de 22.9 % (100/436) durant la période 1950-2018. Elle n'atteint que 15.8% (6/38) lors des dix années d'El Niño alors qu'elle s'élève à 34.2 % (27/79) durant les dix années où La Niña est observée, soit un doublement. Un test du Khi-deux calculé entre le nombre de cas d'ouragans selon les catégories de Saffir-Simpson lors des 3 phases de TSO est de 7.1 (supérieur à la valeur théorique de 0.103 à 5 %, et pour 2 degrés de liberté) et une « P-value » de 0.02 (soit un risque d'erreur de 2 %). Ces valeurs permettent d'affirmer que le nombre d'ouragans extrêmes est significativement plus élevé lors des épisodes La Niña que lors des phases El Niño.
- 18 Si l'activité des ouragans des catégories 4 et 5 est plus élevée lors des événements La Niña, cela ne provient pas de la différence de température de l'océan avec les épisodes El Niño. En effet, nous avons comparé les deux épisodes El Niño et La Niña les plus forts de la période 1950-2018 (illustration 5) au regard des températures du mois d'août, représentatives du milieu de l'été. Durant la phase La Niña 1999, cinq ouragans extrêmes ont évolué dans l'Atlantique Nord alors qu'aucun n'a atteint cette intensité lors de l'épisode El Niño 1997.

Illustration 5 - Comparaison de la température de l'océan et de l'activité des ouragans extrêmes durant un fort épisode El Niño (août 1997) et un fort épisode La Niña (août 1999)

Sources : à partir de Earth System Research Laboratory (ESRL), Physical Sciences Division, NOAA et de la ré-analyse de l'intensité des ouragans faite par les auteurs.

- 19 Pourtant, l'isotherme 28°C délimitait un espace océanique comparable. Et la température de 28°C est propice au développement des ouragans extrêmes (Michael *et al.*, 2006). Goldenberg et Shapiro (1996) attribuent cette différence d'activité au très fort cisaillement vertical du vent qui limite la cyclogenèse et l'intensification des ouragans lors des phases El Niño. Ces dernières s'accompagnent dans l'Atlantique tropical d'un renforcement de la vitesse des vents d'ouest en haute troposphère, et d'un alizé de basses couches plus fort lié à une pression atmosphérique plus élevée au centre des anticyclones subtropicaux.

Les ouragans les plus intenses de l'Atlantique Nord

- 20 Le manque de technologie a longtemps été un frein pour évaluer de manière précise l'intensité des cyclones tropicaux les plus violents du globe. L'Atlantique Nord a aussi été confronté à ce problème malgré les informations de la base Hurdatt (1945-2018) (tableau 4).

Tableau 4 - Les ouragans de catégorie 5 les plus intenses de l'Atlantique Nord

Nom	Date	Pression (hPa)	Vents soutenus sur 1 minute (nœuds)
Allen	07-08-1980	899	165
Wilma	19-10-2005	882	160
Gilbert	13-09-1988	888	160
Labor Day	03-09-1935	892	160
Rita	22-10-2005	895	155
Mitch	26-10-1998	905	155
Irma	05-09-2017	914	155
Katrina	28-08-2005	902	150
Camille	18-08-1969	905	150
Dean	21-08-2007	905	150
Maria	20-09-2017	910	150
Janet	28-09-1955	914	150
Andrew	24-08-1992	922	150
Felix	03-09-2007	929	150

Source : d'après la base Hurdatt.

- 21 Les ouragans du début de l'ère des reconnaissances aériennes (1945-1960) sont sous représentés avec la seule présence de Janet à 150 nœuds (280 km/h) en 1955. Durant cette période, il était fréquent que les avions n'arrivent pas à traverser le mur de l'œil des ouragans de catégorie 5 (vents supérieurs à 135 nœuds, 250 km/h), du fait des fortes turbulences pour atteindre l'œil (Jarvinen *et al.*, 1984). Nous avons mentionné l'ouragan du 3 septembre 1935 même s'il est bien antérieur à notre période d'étude. Il s'est formé au tout début de la phase positive de l'AMO 1930-1964. Il s'agit d'un phénomène d'une pression centrale de 892 hPa enregistrée par un baromètre dans les Florida Keys (Rappaport *et al.*, 1991). Cette mesure, qui a été certifiée par le bureau météorologique américain de l'époque, reste le record de plus basse pression observée sur un territoire américain. Cet ouragan a été estimé à 160 nœuds (295 km/h) par des ingénieurs compte tenu des dégâts très importants subis par certaines infrastructures. Dans la base Hurdatt (1945-2018), Allen (1980) représente l'ouragan le plus intense de l'Atlantique Nord avec des vents estimés à 165 nœuds (305 km/h). Il devrait bientôt faire l'objet d'une ré-analyse par le National Hurricane Center de Miami. En effet, Camille (1969) avait aussi des vents de 165 nœuds dans la base de données avant d'être rétrogradé récemment à 150 nœuds (Kieper *et al.*, 2016).
- 22 Nous avons procédé à la ré-analyse de l'intensité des plus forts ouragans ayant bénéficié d'une couverture satellitaire régulière depuis le début de l'archivage des images en 1978 (Hursat, 1978-2009 ; TCP, 2006-2018). Notre analyse livre des intensités comparables à celles de la grande majorité des ouragans du tableau 4. Nous avons retenu quatre ouragans pour effectuer une comparaison à partir de la méthode de Dvorak mentionnée au début de cette étude. Il s'agit de Gilbert (1988), Wilma (2005), Irma (2017), et Allen (1980). De ces quatre ouragans, seul Irma (2017) a été investigué

par des reconnaissances aériennes associées à une technologie qui n'existait pas encore pour les trois autres. Un radiomètre à micro-ondes fixé sous l'une des deux ailes de l'avion, et traquant l'émissivité des embruns en déplacement à la surface de l'océan a permis de mesurer des vents soutenus de 155 nœuds (285 km/h) lors de plusieurs missions les 5 et 6 septembre 2017 (Cangialosi *et al.*, 2018). Cela correspond à une intensité de 7.5 sur l'échelle ouverte de Dvorak (1984) qui va jusqu'à 8. Bien qu'Irma soit considéré comme le deuxième ouragan le plus intense de l'Atlantique Nord par certains sites spécialisés comme Keraunos (2017), notre analyse et celle du National Hurricane Center de Miami attribuent, à minima, une intensité supérieure à Gilbert (1988), à Wilma (2005), et à l'ouragan de 1935. Nous avons pris aussi l'exemple de l'ouragan Patricia dans le Pacifique Est (au large du Mexique) dont les vents ont été mesurés à 180 nœuds (335 km/h) par le radiomètre à micro-ondes le 23 octobre 2015 à 06h00 UTC (Kimberlain *et al.*, 2016). C'est le cyclone le plus intense à avoir été observé avec cette technologie, 8.2 sur l'échelle de Dvorak. Le super typhon Haiyan estimé à 170 nœuds (315 km/h), 8.0 sur l'échelle de Dvorak, n'en avait pas bénéficié (Hoarau *et al.*, 2017). Sur l'imagerie satellitaire (illustrations 6), Patricia a affiché une ceinture nuageuse autour de l'œil avec des sommets très froids jusqu'à -88°C . Des quatre ouragans de l'Atlantique Nord retenus, Gilbert avait la configuration nuageuse la plus comparable à celle de Patricia.

Illustrations 6 - Comparaison de quatre des plus intenses ouragans de l'Atlantique Nord de l'ère satellitaire avec l'un des plus forts cyclones tropicaux observés sur le globe, Patricia

Sources : à partir des fichiers bruts du National Climatic Data Center (NCDC) et de la base Hursat.

- 23 Notre estimation correspond à une intensité de 8.0 sur l'échelle de Dvorak, soit 170 nœuds, un peu au-dessus des 160 nœuds du National Hurricane Center de Miami (Lawrence et Gross, 1989). Nous avons aussi réévalué à 165 nœuds (305 km/h) l'intensité de Wilma au lieu des 160 nœuds du Hurricane Center de Miami (Pasch *et al.*,

2006). La comparaison des images indique aussi que l'ouragan Allen (1980) avait une configuration nuageuse comparable à celle d'Irma (2017). Nous lui avons attribué des vents soutenus de 155 nœuds au lieu des 165 nœuds de la base Hurdad (1945-2018). D'après l'imagerie satellitaire, Gilbert (1988) est donc l'ouragan le plus intense de l'Atlantique Nord, au moins depuis 1978.

Conclusion

- 24 Cette recherche a mis en évidence les variations de l'activité des ouragans extrêmes dans l'Atlantique Nord. Aucune tendance à la hausse de l'intensité absolue des ouragans par décennie n'est constatée dans cette étude par les méthodes utilisées. Notre ré-analyse a permis de considérer que Gilbert (1988) était l'ouragan le plus intense depuis le début de l'ère satellitaire avec des vents soutenus estimés à 170 nœuds (315 km/h) au lieu de 160 nœuds (Lawrence et Gross, 1989). La distribution décennale sur la période 1945-2018 montre une forte activité des ouragans des catégories 4 et 5 lors des phases positives de l'AMO avec un nombre plus élevé et une proportion plus forte dans l'ensemble des ouragans (catégorie 1 à 5), et une activité réduite en phase négative. La plus récente phase active de 24 années, de 1995 à 2018, s'est accompagnée d'un nombre moyen par année d'ouragans extrêmes légèrement plus élevé que celle des vingt années entre 1945 et 1964, 1,6 et 2,1, respectivement. Cette légère différence pourrait provenir de l'influence du réchauffement climatique en cours. La phase positive actuelle de l'AMO devrait prendre fin au début des années 2030, si sa durée est comparable à celle intervenue entre 1930 et 1964 (Trenberth *et al.*, 2019). Une interrogation concerne l'évolution de l'activité des ouragans extrêmes durant la prochaine phase négative de l'AMO si l'on retranche à la température de l'Atlantique Nord 0,4°C, différence entre une phase positive et celle négative de l'AMO. Cependant, le réchauffement climatique aura « apporté » une hausse d'au moins 0,8°C entre 1975 et 2030 si l'on extrapole l'augmentation de 0,1°C par décennie déjà constatée par le GIEC (Christensen, 2013).
- 25 Si l'attention est souvent focalisée sur la température de l'océan, un autre facteur décisif pourrait être le cisaillement vertical du vent. De Maria et Kaplan (1994) ont montré que seulement 20% des ouragans de l'Atlantique Nord atteignaient 80% de leur intensité maximale potentielle du fait d'un cisaillement défavorable. Si le cisaillement devient favorable au développement des ouragans extrêmes lorsqu'il accompagne une phase positive de l'AMO (Goldenberg *et al.*, 2001), le restera-t-il à l'avènement d'une phase négative ? Autrement dit, le cisaillement favorable aux ouragans est-il lié aux phases positives de l'AMO, et aux épisodes La Niña (Goldenberg et Shapiro, 1996), ou aussi à une hausse de la température de l'océan due au changement climatique ? Vecchi et Soden (2007b) projetaient un cisaillement vertical plus élevé dans l'Atlantique Nord, et le Pacifique Est avec un climat plus chaud. Cependant, ce type de travaux n'a pas été réactualisé à notre connaissance.
- 26 Une autre incertitude existe sur la connexion entre le réchauffement climatique, et les épisodes El Niño et La Niña. Dans un climat plus chaud, quelle sera la fréquence de ce type d'événements ? Les dix années les plus chaudes du globe se sont produites depuis 1998 (NCEI, 2019b). Dans cette période, il y a eu un fort El Niño en 2015, et quatre forts épisodes La Niña, 1998, 1999, 2007, 2010 (NCEI, 2019a ; CPC, 2019). On a vu que l'activité des ouragans extrêmes de l'Atlantique était plus élevée (nombre et proportion) avec La Niña. Cependant, il n'y a plus eu d'événement La Niña significatif depuis 2010.

- 27 Malgré les incertitudes évoquées ci-dessus, les études les plus récentes continuent à projeter une hausse assez forte, pour la deuxième partie du XXI^e siècle, du nombre des cyclones tropicaux associés à des vents d'au moins 115 nœuds à l'échelle globale (Knutson *et al.*, 2015). L'Atlantique Nord fait partie des régions où les modèles projettent une activité forte des ouragans extrêmes dans le futur. Pour l'instant, il est difficile de déceler un signal net de l'effet du changement climatique, compte tenu des cycles multi-décennaux et interannuels.

BIBLIOGRAPHIE

- Bove M. C., Elsner J.B., Landsea C. W. *et al.*, 1998. Effect of El Niño on US landfalling hurricanes, revisited. *Bulletin of American Meteorological Society*, n° 79, p. 2477-2482.
- Cangialosi J.-P., Latta A. S., Berg R., 2018. *Tropical Cyclone Report: Hurricane Irma (2017)*. Miami, Florida, National Hurricane Center, NOAA, 111 p.
- Christensen J. H., Krishna Kumar K., Aldrian E. *et al.*, 2013. Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge-New York, Cambridge University Press.
- De Maria M., Kaplan J., 1994. Sea surface temperature and the maximum intensity of Atlantic tropical cyclones. *Journal of Climate*, n° 7, p. 1324-1334.
- Diamond H. J., Lorrey A. M., Renwick J. A., 2013. A Southwest Pacific Tropical Cyclone Climatology and Linkage to the El Niño -Southern Oscillation. *Journal of Climate*, n° 26, p. 3-24.
- Dvorak V. F., Wright S., 1977. Tropical cyclone intensity analysis using enhanced satellite data. In *Proceedings of the 11th Technical Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology of the American Meteorological Society*, December 13-16, Florida.
- Dvorak V. F., 1984. *Tropical cyclone intensity analysis using satellite data*. NOAA technical Report NESDIS 11, 47 p.
- Emanuel K. A., 1987. The dependence of hurricane intensity on climate. *Nature*, n° 326, p. 483-485.
- Foley G. R., 1995. *Observations and analysis of tropical cyclones. Global Perspectives on Tropical Cyclones*. Geneva, WMO/TD-No.693, 283 p.
- Franklin J. L., Black M. L., Valde K., 2003. GPS dropwindsonde wind profiles in hurricanes and their operational implications. *Weather and Forecasting*, n° 18, p. 32-44.
- Goldenberg S. B., Shapiro L. J., 1996. Physical mechanisms for the association of El Niño and West African rainfall with Atlantic major hurricane activity. *Journal of Climate*, n° 9, p. 1169-1187.
- Goldenberg S. B., Landsea C. W., Mestas-Núñez A. M., Gray W. M., 2001. The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and implications. *Science*, n° 293, p. 474-479.
- Gray W. M., 1984. Atlantic season hurricane frequency. Part I: El Niño and 30 mb Quasi-Biennial Oscillation influences. *Monthly Weather Review*, n° 112, p. 1649-1668.

- Hoarau K., Lander M., De Guzman R. *et al.*, 2017. Did Typhoon Haiyan have a new record-minimum pressure? *Weather*, vol. 72, n° 10, p. 291-295.
- Hoarau K., Chalonge L., Pirard F., Perusaubès D., 2018. Extreme tropical cyclone activities in the southern Pacific Ocean (1980-2016). *International Journal of Climatology*, vol. 38, n° 3, p. 1409-1420.
- Hock T. F., Franklin J. L., 1999. The NCAR GPS dropwindsonde. *Bulletin of the American Meteorological Society*, n° 80, p. 407-420.
- Hurricane Database (HURDAT)*, 1945-2018 [site web]. Miami, National Hurricane Center. <https://www.nhc.noaa.gov/data/hurdat/hurdat2-1851-2017-050118.txt>
- Hurricane Satellite (HURSAT) Data*, 1978-2009 [site web]. National Centers for Environmental information, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/rsad/hursat/index.php?name=kml>
- Jarvinen B. R., Neumann C.J., Davis M.A.S., 1984. A tropical cyclone data tape for the North Atlantic Basin, 1886-1983: Contents, limitations, and uses. Miami, NOAA Technical Memorandum, NWS, National Hurricane Center, 24 p.
- Jordan C. L., 1958. Estimation of surface central pressures in tropical cyclones from aircraft observations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, n° 39, p. 345-352.
- Keraunos, 2017. Observatoire français des tornades et orages violents [site web]. <http://www.keraunos.org/actualites/fil-infos/2017/septembre/ouragan-irma-saint-martin-saint-barthelemy-iles-vierges-bahamas-cuba-usa-septembre-2017-cyclone>
- Kieper M. E., Landsea C. W., Beven J. L., 2016. A Reanalysis of Hurricane Camille. *Bulletin of the American Meteorological Society*, n° 97, p. 367-384.
- Kimberlain T. B., Blake E. S., Cangialosi J.-P., 2016. *Tropical Cyclone Report: Hurricane Patricia (2016)*. Miami, National Hurricane Center. NOAA, 32 p.
- Klotzbach P. J., Gray W. M., 2008. Multidecadal variability in North Atlantic tropical cyclone activity. *Journal of Climate*, n° 21, p. 3929-3935.
- Klotzbach P. J., Landsea C. W., 2015. Extremely Intense Hurricanes: Revisiting Webster et al. (2005) after 10 Years. *Journal of Climate*, n° 28, p. 7621-7629.
- Knight J. R., Allan J.R., Folland C. K. *et al.*, 2005. A signature of persistent natural thermohaline circulation cycles in observed climate. *Geophysical Research Letters* [En ligne], n° 32, L20708. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005GL024233>
- Knutson T. R., Sirutis J.J., Zhao M. *et al.*, 2015. Global Projections of Intense Tropical Cyclone Activity for the Late Twenty-First Century from Dynamical Downscaling of CMIP5/RCP4.5 Scenarios. *Journal of Climate*, n° 28, p. 7203-7224.
- Kuleshov Y., Chane-Ming F., Qi L., Chouaibou I. *et al.*, 2009. Tropical cyclone genesis in the Southern Hemisphere and its relationship with the ENSO. *Annales Geophysicae*, n° 27, p. 2523-2538.
- Landsea C. W., 1993. A Climatology of Intense (or Major) Atlantic Hurricanes. *Monthly Weather Review*, n° 121, p. 1703-1713.
- Landsea C. W., Pielke R.A., Mestas-Núñez A.M., Knaff J.A., 1999. Atlantic basin hurricanes: indices of climatic changes. *Climate Change*, n° 42, p. 89-129.
- Landsea C. W., Harper B.A., Hoarau K., Knaff J.A., 2006. Can We Detect Trends in Extreme Tropical Cyclones? *Science*, n° 313, p. 452-454.

Landsea, C. W., Franklin J.L., 2013. Atlantic hurricane database uncertainty and presentation of a new database format. *Monthly Weather Review*, n° 141, p. 3576-3592.

Lawrence M. B., Gross J.M., 1989. Atlantic Hurricanes Season of 1988. *Monthly Weather Review*, n° 117, p. 2248-2259.

Merril R. T., 1984. A comparison of large and small tropical cyclones. *Monthly Weather Review*, n° 112, p. 1411-1417.

Michaels P. J., Knappenberger P. C., Davis R. E., 2006. Sea surface Temperatures and tropical cyclones in the Atlantic basin. *Geophysical Research Letters* [En ligne], n° 33, L09708. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006GL025757>

National Centers for Environmental Information (NCEI), 2018. *Costliest US tropical cyclones updated*. Miami, NOAA, 3 p. <https://www.nhc.noaa.gov/news/UpdatedCostliest.pdf>

National Center for Environmental Information (NCEI). 2019a. The Southern Oscillation Index. Asheville, NOAA. <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/>

National Centers for Environmental Information (NCEI), 2019b. *State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2018*. NOAA, published online January 2019, retrieved on April 13, 2019. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201813>

National Hurricane Center (NHC), 2019. *2018 Atlantic Hurricane Season*. Florida, NOAA, Miami. <https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/>

Pasch R. J., Blake E. S., Cobb H. D., Roberts D. P., 2006. *Tropical Cyclone Report: Hurricane Wilma (2005)*. Miami, National Hurricane Center, NOAA, 27 p.

Rappaport E. N., McAdie C. J., 1991. *Hurricane Gilbert (1988) in Review and Perspective*. Miami, NOAA Technical Memorandum NWS, National Hurricane Center, 93 p.

Schreck C. J., Knapp K. R., Kossin J.-P., 2014. The Impact of Best Track Discrepancies on Global Tropical Cyclone Climatologies using IBTrACS. *Monthly Weather Review*, n° 142, p. 3881-3899.

Simpson B., 1974. The Hurricane disaster potential scale. *Weatherwise*, n° 27, p. 169-186.

Trenberth, K. E., Shea D. J., 2006. Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *Geophysical Research Letters* [En ligne], n° 33, L12704. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006GL026894>

Trenberth K., Rong Z., National Center for Atmospheric Research Staff (ed.). 2019. *The Climate Data Guide: Atlantic Multi-decadal Oscillation (AMO)*. Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/atlantic-multi-decadal-oscillation-amo>

Tropical Cyclone Products (TCP), 2006-2018. Regional Mesoscale Meteorology Branch (RAMMB), National Environmental Satellite, and Information Service, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). http://rammb.cira.colostate.edu/products/tc_realtime/index.asp

Uhlhorn E. W., Black P. G., Franklin J. L. *et al.*, 2007. Hurricane Surface Wind Measurements from an operational Stepped Frequency Microwave Radiometer. *Monthly Weather Review*, n° 135, p. 3070-3085.

Vecchi G. A., Soden B. J., 2007b. Increased tropical Atlantic wind shear in model projections of global warming. *Geophysical Research Letters*, n° 34, L08702.

Walker G. T., 1924. Correlation in Seasonal Variations of Weather, IX: A Further Study of World Weather. *Memoirs of the India Meteorological Department*, n° 24, p. 275-332.

Webster P. J., Holland G. J., Curry J. A., Chang H. R., 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, n° 309, p. 1844-1846.

RÉSUMÉS

Cette recherche sur l'Atlantique Nord tente d'établir un lien entre l'activité des ouragans extrêmes (catégories 4 et 5) et le réchauffement climatique sur la période 1945-2018. L'intensité des ouragans de 1945 à 1977, estimée grâce aux reconnaissances aériennes, provient de la base de données Hurdatt du National Hurricane Center de Miami. Celle des ouragans de 1978 à 2018 a été estimée avec la technique de Dvorak à partir de l'imagerie satellitaire (début des archives en 1978). Trois indicateurs ont été étudiés : le nombre d'ouragans extrêmes, leur proportion dans l'ensemble des ouragans (catégories 1 à 5) et l'intensité absolue des ouragans par décennie. Sur la période 1945-2018, il n'y a pas de tendance à la hausse du nombre des ouragans extrêmes. La proportion de ces derniers dans l'ensemble des ouragans augmente fortement avec les phases positives de l'Oscillation Multi-décennale Atlantique (AMO), et elle diminue sensiblement avec les phases négatives de l'AMO. La proportion double lors des épisodes La Niña par rapport aux phases El Niño de l'Oscillation Australe du Pacifique. Il n'y a pas eu de hausse de l'intensité absolue des ouragans par décennie. Il est encore difficile de détecter un possible signal du réchauffement climatique sur les ouragans du fait des variations naturelles à différentes échelles temporelles.

This research concerning the North Atlantic Ocean is trying to establish a link between the extreme hurricanes (categories 4 and 5) activity and the global warming over the period 1945-2018. The hurricanes intensity has been estimated from 1945 to 1977 with the aircraft reconnaissances. These data come from the Hurdatt database of National Hurricane Center in Miami. From 1978 to 2018, the intensity has been estimated with the Dvorak's technique from the satellite pictures (archived from 1978). Three indicators have been studied: the extreme hurricanes number, their proportion in the category 1 to 5 hurricanes, and the absolute intensity of hurricanes for each decade. There is no trend in the number of extreme hurricanes over the period 1945-2018. The proportion of these hurricanes strongly increased with the positive phases of the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO), and deeply decreased in a negative phase. The proportion doubled during La Niña events compared to the El Niño events. There is no trend in the absolute intensity of hurricanes per decade. It is still complicated to detect a possible global warming signal in hurricanes data with the natural variations on multiple time-scales.

INDEX

Mots-clés : ouragan extrême, oscillation multidéennale, El Niño, La Niña, réchauffement climatique

Keywords : extreme hurricanes, multidecadal oscillation, El Niño, La Niña, global warming

Thèmes : Sur le Champ - Sur le Terrain

AUTEURS

KARL HOARAU

Karl Hoarau, khoarau@aol.com, est enseignant-chercheur à l'Université de Cergy-Pontoise. Il a récemment publié :

- Hoarau K., Chalonge L., Pirard F., Perusaubès D., 2018. Extreme tropical cyclone activities in the southern Pacific Ocean (1980-2016). *International Journal of Climatology*, vol. 38, n° 3, p. 1409-1420.
- Hoarau K., Lander M., De Guzman R., Guard C., Barba R., 2017. Did Typhoon Haiyan have a new record-minimum pressure? *Weather*, vol. 72, n° 10, p. 291-295.

- Hoarau K., Bernard J., Chalonge L., 2012. The intense tropical cyclones activities in the North Indian Ocean. *International Journal of Climatology*, vol. 32, n° 13, p. 1935-1945.

FLORENCE PIRARD

Florence Pirard, florence.pirard@u-cergy.fr, est enseignant-chercheur à l'Institut Universitaire Technologique de Cergy-Pontoise. Elle a récemment publié :

- Hoarau K., Chalonge L., Pirard F., Perusaubès D., 2018. Extreme tropical cyclone activities in the southern Pacific Ocean (1980-2016). *International Journal of Climatology*, vol. 38, n° 3, p. 1409-1420.

LUDOVIC CHALONGE

Ludovic Chalonge, ludovic.chalonge@parisgeo.cnrs.fr, est ingénieur d'études au CNRS. Il a récemment publié :

- Hoarau K., Chalonge L., Pirard F., Perusaubès D., 2018. Extreme tropical cyclone activities in the southern Pacific Ocean (1980-2016). *International Journal of Climatology*, vol. 38, n° 3, p. 1409-1420.