

MOOC CLIMAT

Causes et enjeux du changement climatique



SEMAINE 5 : IMPACTS REGIONAUX ET ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Ce document contient les transcriptions textuelles des vidéos proposées dans la partie « Les pluies intenses et les cyclones » de la semaine 5 du MOOC « Causes et enjeux du changement climatique ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.

Pluies intenses et crues éclairs en région méditerranéenne

Guy DELRIEU

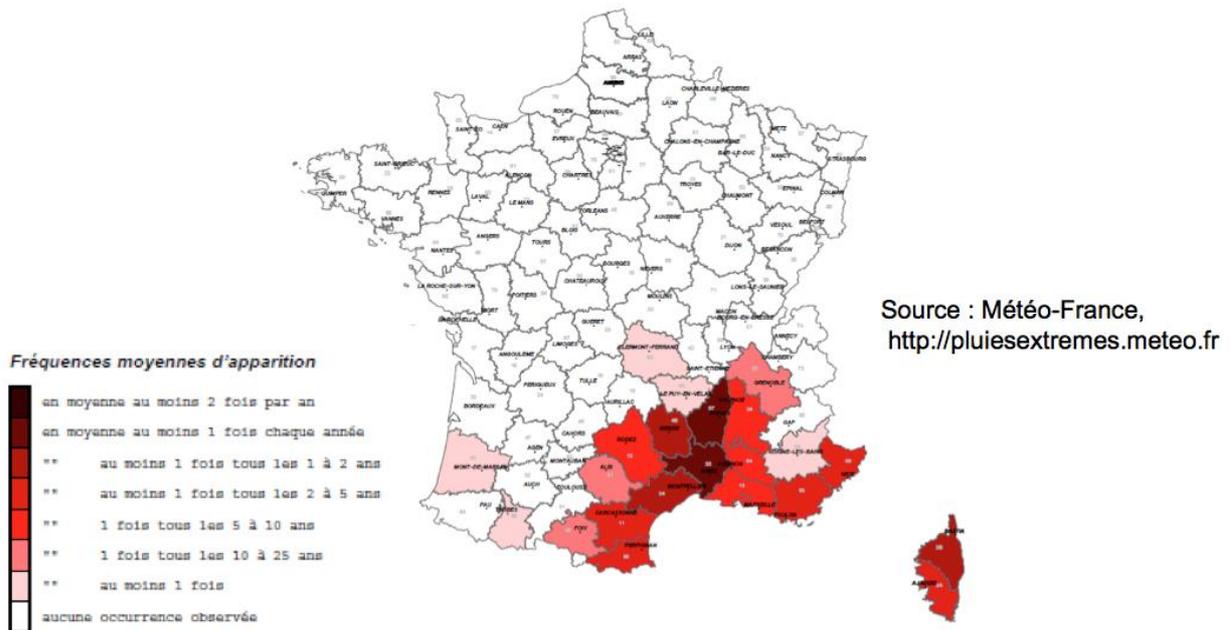
Directeur de recherche – CNRS

Donc je vais parler des phénomènes de pluies intenses et de crues éclairs qui se produisent en région méditerranéenne et de leur évolution attendue dans un contexte de changement climatique.

- Pour illustrer mon propos, je montre tout d'abord cette image d'un cumul de pluies obtenues par fusion de données de radars pluviométriques et de mesures de réseaux pluies géographiques, d'un événement qui s'est produit en septembre 2014.
- ⇒ On constate une très forte variabilité spatiale de ces cumuls de pluies et également qui peuvent atteindre des valeurs très importantes de l'ordre de 500 mm en quelques jours.

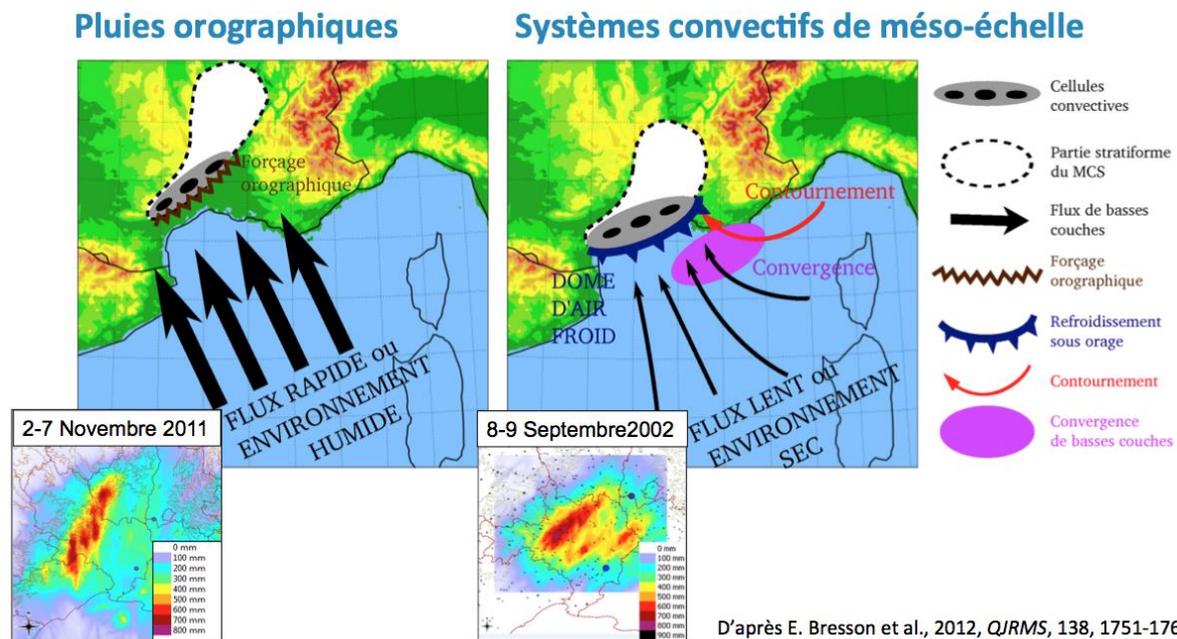
- Sur la droite, les images montrent l'impact de ces événements sur les infrastructures routières et ferroviaires et ceux qui circulent dessus, ainsi que sur les passants qui peuvent se trouver en difficulté à la simple traversée d'une rue.

Alors, ces pluies intenses, elles ne sont pas rares. On montre ici une cartographie de la fréquence d'apparition de pluies journalières supérieures à 200 mm en France qui s'appuie sur environ 50 ans d'observation.



- ⇒ Les rouges les plus sombres correspondent à des fréquences d'une à deux fois, à plusieurs fois par an et l'on voit donc que la région des Cévennes est la plus exposée mais que l'ensemble de la région méditerranéenne connaît ce type de phénomène qui est virtuellement absent ailleurs.
- On connaît assez bien les situations synoptiques propices à ces plus intenses et leur prévisibilité est assez bonne à des horizons de 3 à 4 jours, ce qui est déjà très utile pour la gestion des crises à venir.
- Par contre, à l'échelle régionale, au sein de ces situations favorables on constate l'existence d'une variété de systèmes pluvieux qui sont pilotés dans des conditions locales et qui sont donc beaucoup plus difficiles à prévoir.
- ⇒ Le cas le plus simple et le plus prévisible, c'est celui des pluies orographiques qui donnent lieu sur les reliefs à des pluies d'intensité modérée qui vont pouvoir durer plusieurs jours.
- À l'autre extrémité du tableau, on trouve les systèmes convectifs de méso-échelle qui représentent l'organisation ultime de la convection dans les régions méditerranéennes.

⇒ Ce sont des systèmes de convection profonde qui sont spatialement stationnaires et qui vont donner lieu à des intensités de pluies très fortes.



➤ Ces deux types de pluies donc vont donner des cumuls qui peuvent atteindre ou dépasser 500 à 600 mm sur des durées de quelques jours pour les pluies orographiques et seulement de 24 heures par exemple pour le système convectif de méso-échelle qui a affecté le Gard en septembre 2002.

Donc pour prévoir ces phénomènes à l'échelle régionale, il faut disposer de modèles météorologiques à haute résolution qui modélisent de façon explicite la convection et qui soient nourris par des observations locales ou télé-détectées que l'on assimile en temps réel dans nos systèmes de prévision.

➤ Des progrès assez spectaculaires ont été obtenus en France ces dernières années, notamment avec le modèle AROME, mais on constate encore que des prévisions quantitatives peuvent souffrir de défauts importants en termes de localisation et d'amplitude avec typiquement des décalages spatiaux de quelques dizaines de kilomètres qui sont très préjudiciables pour la gestion de crise.

Je passe maintenant à l'hydrologie, une première notion très importante est celle du temps de réponse des bassins versants, ce temps de réponse, c'est finalement une mesure de décalage temporel entre le volume de pluie qui s'abat sur un bassin et le volume d'eau qui va s'écouler dans la rivière à l'exutoire de ce bassin.

➤ Donc ce graphe présente des estimations du temps de réponse des bassins méditerranéen et alpin en fonction de leur surface et cette surface qui apparaît donc comme un facteur explicatif de premier ordre.

- ⇒ On voit que les grands bassins fluviaux, le Rhône, ses affluents, ont des temps de réponse de l'ordre de 1 à 15 jours, les bassins montagneux vont avoir un temps de réponse de l'ordre de 1 à 6 heures et les bassins urbains, qui sont à la fois plus petits et fortement imperméabilisés vont avoir des temps de réponse plus courts de 10 à 60 minutes.
- Ce qu'il est intéressant aussi de constater c'est que ces échelles hydrologiques correspondent aussi assez bien aux échelles des systèmes pluvieux qui les génèrent et en particulier, on pense qu'une cellule convective est capable de générer des phénomènes intenses sur un bassin versant urbain et qu'il faut un système convectif de méso-échelle pour générer une réponse hydrologique forte sur des bassins montagneux.
- Donc, un deuxième élément à prendre en compte tient à la complexité des processus hydrologiques auxquels on a affaire.
- ⇒ On est capables de caractériser assez bien ce qui se passe à la surface en termes de mécanisme de ruissellement, d'infiltration dans le proche sous-sol, par contre on a un vrai problème d'observation et de caractérisation de la structure plus profonde du sol avec ses différentes couches géologiques, leurs propriétés hydrodynamiques et leur état de saturation.
- Donc pour ce qui concerne la modélisation hydrologique, on a un vrai changement de paradigme et de pratique qui est nécessaire si l'on veut répondre à l'objectif de prévision de la réponse hydrologique, des échelles très locales jusqu'aux échelles régionales et cela constitue encore un vrai défi pour la communauté des hydrologues.

Alors, la question se pose ensuite de savoir comment ces événements de pluies intenses et de crues éclaircies vont évoluer au cours des prochaines décennies.

- Je reprends ici une figure qui montre d'abord l'évolution de la température moyenne en France métropolitaine depuis 1900 et qui est caractérisée par une évolution marquée depuis les années 90 que l'on attribue de façon quasi certaine à l'augmentation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère.
- ⇒ Le climat de la France est donc en train de se méditerranéiser et - ce qui ne sera pas forcément que désagréable -, on va cependant assister à une intensification du cycle hydrologique, l'atmosphère étant capable de contenir plus de vapeur d'eau.
- Les modèles climatiques prévoient une augmentation de la fréquence des événements extrêmes avec des sécheresses plus sévères et des pluies intenses plus fréquentes, mais on a quand même des incertitudes sur la fiabilité de leurs prévisions pour ce qui concerne le cycle de l'eau et les extrêmes.

Si l'on s'en tient aux données observées, que peut-on constater ?

- Je présente ici l'évolution d'un critère caractérisant les pluies intenses depuis les années 50.
- ⇒ Ce critère c'est le maximum de pluies journalières observées chaque année, normé par le cumul annuel.
- ⇒ On a moyenné des valeurs obtenues sur un ensemble de stations hors zone méditerranéenne et dans la zone méditerranéenne, en jaune et en rouge respectivement sur la figure.
- Alors, on voit déjà, à nouveau, que la région méditerranéenne se distingue par une amplitude très forte mais également, ce qui est intéressant c'est de constater que sur ce signal en rouge, on a une très forte variabilité d'une année sur l'autre et on a également dans la période la plus récente trois pics qui correspondent à des événements exceptionnels qui se sont produits en 1999 dans l'Aude, en 2002 dans le Gard et en 2003 sur l'ensemble du bassin du Rhône.
- ⇒ On a aussi observé des pluies très intenses en 2010 et en 2014.
- Alors, est-ce que ces éléments suffisent pour affirmer qu'il y a une tendance, est-ce qu'on est capable d'attribuer cette tendance éventuelle à l'impact du changement climatique ? C'est peut-être encore un petit tôt pour le dire avec certitude, mais bon, il y a quand même un signal assez sensible ces dernières années.

Alors, ensuite, comment atténuer les impacts du changement global ?

- Donc je suis passé du changement climatique au changement global parce qu'il est clair que la Méditerranée du nord-ouest subi une forte pression migratoire du Sud pour l'entrée en Europe de populations qui sont plutôt maltraitées au Proche-Orient ou en Afrique et d'autre part, il y a une migration Nord-Sud plutôt orientée tourisme disons, qui elle aussi est assez saisonnière et qui peut impacter assez fortement les questions de ressources en eau.
- Alors, la carte que l'on voit à l'écran présente le pourcentage de la population qui vit en zone inondable en 2009.
- ⇒ La couleur la plus sombre correspond à des pourcentages de 20 à 50 %. Et encore une fois, on voit que les régions méditerranéennes se distinguent.
- Alors, pour ces régions exposées, il existe maintenant des plans de prévention des risques qui ont été établis, mais ils restent encore un enjeu considérable pour maîtriser l'occupation de l'espace vis-à-vis du risque inondations par des mesures que l'on peut qualifier de structurelles et il s'agit essentiellement d'empêcher des constructions

nouvelles dans des zones inondables, voire de protéger ces zones inondables par des ouvrages qui sont forcément très coûteux.

- Un autre axe de travail, c'est d'essayer de mieux comprendre finalement les interactions entre ces événements hydrométéorologiques intenses et la société.
- ⇒ Alors le graphe qui est présenté ici illustre un travail réalisé par des chercheurs en hydrométéorologie et en sciences humaines et sociales, qui par le biais d'enquêtes de terrain essaient de comprendre comment les témoins de tels événements ont pris conscience, ont été informé qu'ils étaient en train de passer dans une situation extraordinaire, ce qu'ils ont fait pour se mettre en protection ou éventuellement se mettre en danger et comment tout cela s'est articulé avec les alertes qui ont été diffusées au niveau de la météorologie ou au niveau de la prévision hydrologique.
- Donc, ce que l'on attend de ces études, c'est finalement une meilleure modalité de diffusion de l'alerte et une meilleure culture du risque et le développement de bonnes pratiques, de bons réflexes pour limiter le nombre de victimes que l'on observe encore au cours de ces événements.

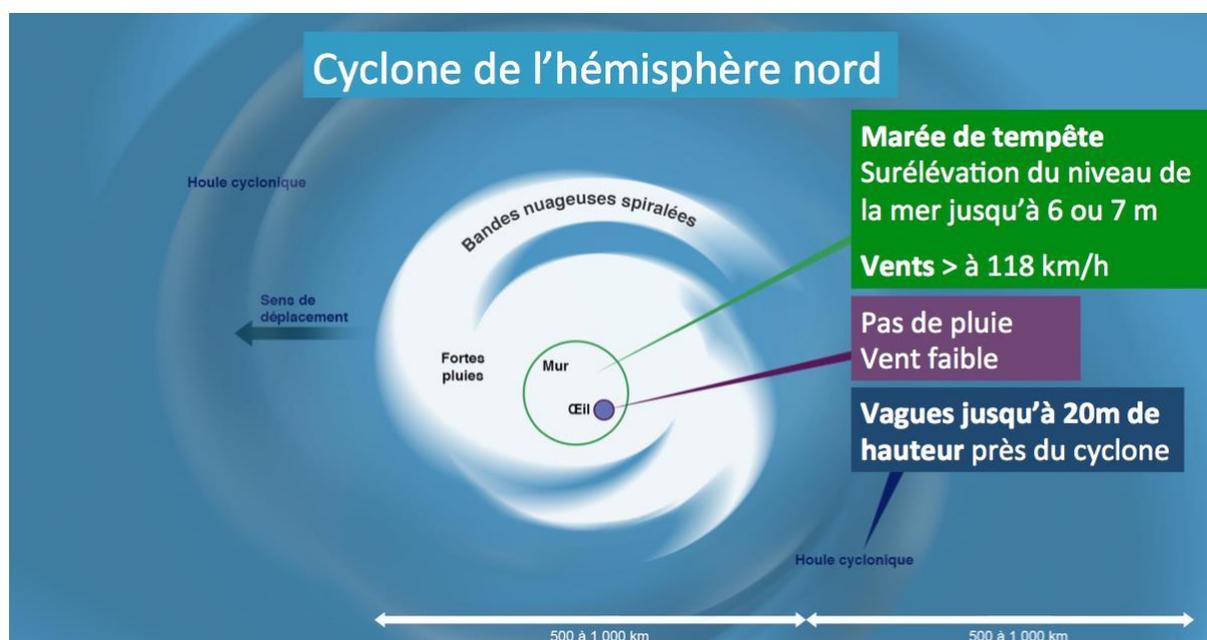
Alors, peut-être de façon un peu cynique, on peut noter qu'une augmentation de la fréquence de ces événements intenses pourrait faciliter cette double politique de maîtrise de l'occupation de l'espace et du développement d'une culture du risque qui a encore du mal à se mettre en place en raison de la très forte pression foncière qui existe dans ces régions ainsi que de la perte progressive de la mémoire du risque associée à leur rareté d'autre part.

Cyclones tropicaux : causes, conséquences et enjeux

Christelle BARTHE

Chargée de recherche – Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones

Bonjour, les cyclones tropicaux, aussi appelés ouragans ou typhons, sont l'un des phénomènes atmosphériques les plus dévastateurs. Ils se forment si les conditions nécessaires sur la température de l'océan, la stabilité, l'humidité et le vent dans la troposphère, la préexistence d'une perturbation pluvio-orageuse et un éloignement suffisant de l'Équateur sont réunis.



⇒ Ils ne peuvent donc se développer que sur certains bassins océaniques pendant les étés de chaque hémisphère.

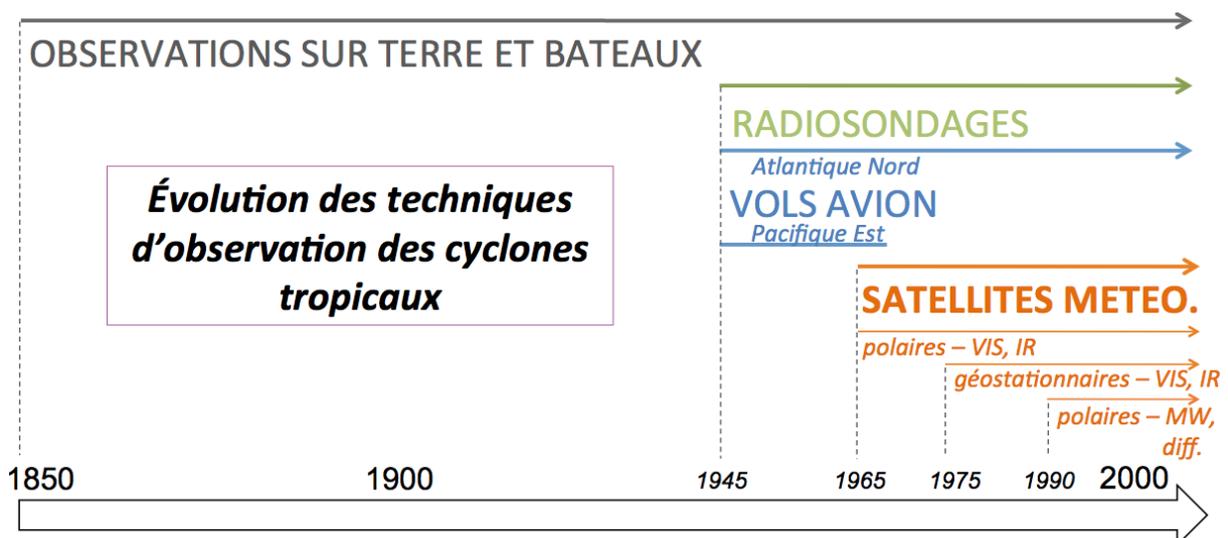
Dans chacun des bassins cycloniques, l'organisation météorologique mondiale a désigné un centre météorologique régional spécialisé.

⇒ Par exemple, pour le bassin indien Sud-Ouest, c'est Météo France à la Réunion qui est en charge de la veille cyclonique.

➤ Les cyclones tropicaux peuvent être à l'origine de dégâts considérables en raison des actions parfois conjuguées du vent, de la pluie et de la mer.

➤ Les vents forts sont relativement concentrés autour du mur de l'œil et entraînent des dommages sur les bâtiments, les infrastructures et les réseaux.

- Les pluies torrentielles sont, elles, localisées à la fois dans le mur de l'œil et les bandes précipitantes.
- ⇒ Ces pluies augmentent le niveau des rivières et déclenchent glissements de terrain et inondations.
- Quant aux basses pressions et vents forts, ils induisent des marées de tempête et de fortes vagues sur la côte qui peuvent modifier radicalement le trait de côte et les systèmes littoraux.
- Les bilans humains, économiques et environnementaux peuvent donc être dramatiques pour une région touchée par un cyclone.
- ⇒ Il faut toutefois noter que les pluies cycloniques sont, pour certaines régions, une ressource en eau indispensable.
- Dans un contexte de changement climatique, il est donc important d'évaluer l'évolution passée et future des conditions de formation des cyclones tropicaux et des risques associés.
- L'activité cyclonique est naturellement variable puisqu'elle est largement modulée par les courants atmosphériques et par des modes de variabilité climatique comme El Nino. Mais elle est aussi potentiellement impactée par le réchauffement global et les activités humaines.
- La détection de changements dans le comportement des cyclones tropicaux passés se heurte à la disponibilité et à l'homogénéité des bases de données.



- En raison des différentes techniques employées pour détecter les cyclones tropicaux, il est difficile de remonter au-delà d'une trentaine d'années soit au-delà de l'ère satellitaire.

⇒ Une exception toutefois pour l'Atlantique Nord où des vols de reconnaissance avions sont opérés dans les cyclones depuis 1945.

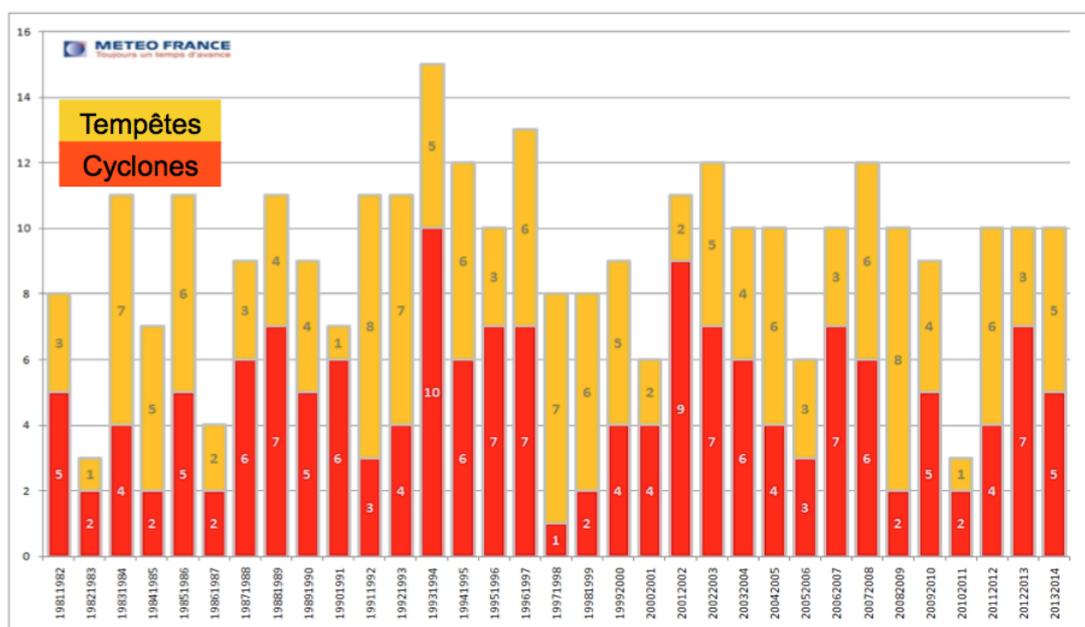
Ainsi, au-delà de 50 ans, les incertitudes liées aux changements dans les capacités d'observation ne permettent pas d'obtenir des tendances robustes. Par contre, sur les 30 dernières années, les études scientifiques ont mis à jour des tendances relativement fiables.

⇒ Par exemple, à l'échelle globale, le nombre de cyclones tropicaux est constant avec 90 systèmes par an.

⇒ D'autre part, la position où le système atteint son intensité maximale serait déplacée vers les pôles. Cette tendance pourrait être liée à l'expansion des tropiques en lien avec le changement climatique.

➤ Dans le bassin Atlantique Nord, la fréquence des systèmes les plus intenses aurait augmenté et serait liée en partie à des forçages régionaux par les gaz à effet de serre et les aérosols.

➤ Dans le bassin indien Sud-Ouest en revanche, on n'observe aucune tendance pour le nombre de tempêtes (en jaune), le nombre de cyclones (en rouge) ou l'ensemble des systèmes par saison depuis les années 80.



➤ L'anomalie normalisée de l'énergie cyclonique cumulée sur la saison qui prend en compte à la fois le nombre, la force et la durée de vie des systèmes n'affiche, elle non plus aucune tendance sur ce bassin.

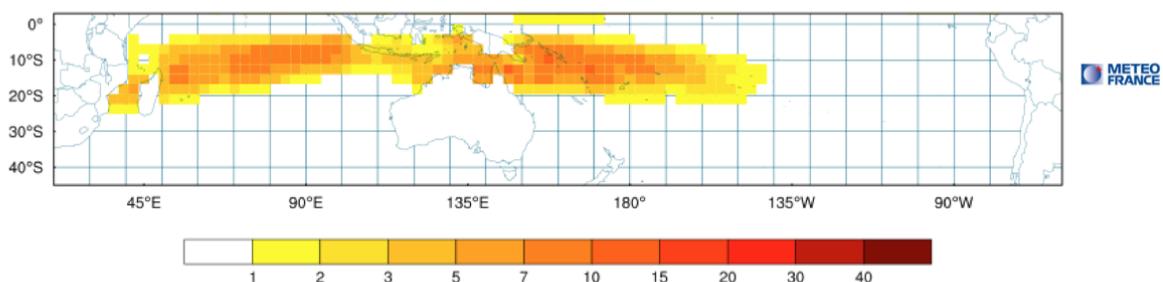
Pour appréhender l'évolution future de l'activité cyclonique dans un contexte de réchauffement climatique, on se base sur des résultats de simulations climatiques utilisant différents modèles pour différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre.

- Comme la résolution des modèles de climat est trop basse pour interpréter des changements dans les trajectoires et les caractéristiques des cyclones, ce sont les tendances dans des indices de cyclogénèse qui sont analysés.
- ⇒ Ici, l'indice CYGP est basé sur des paramètres de grande échelle comme le cisaillement de vents, la vorticité et les précipitations convectives qui interviennent plus ou moins directement dans la formation des cyclones.

Indice de cyclogénèse

Paramètres de grande échelle

$$\text{CYGP} = \left| \text{Paramètre de Coriolis} \right| \cdot f \left(\text{Cisaillement de vent} \right)^{-1} \cdot g \left(\text{Vorticité relative} \right) \cdot h \left(\text{Précipitations convectives} \right)$$



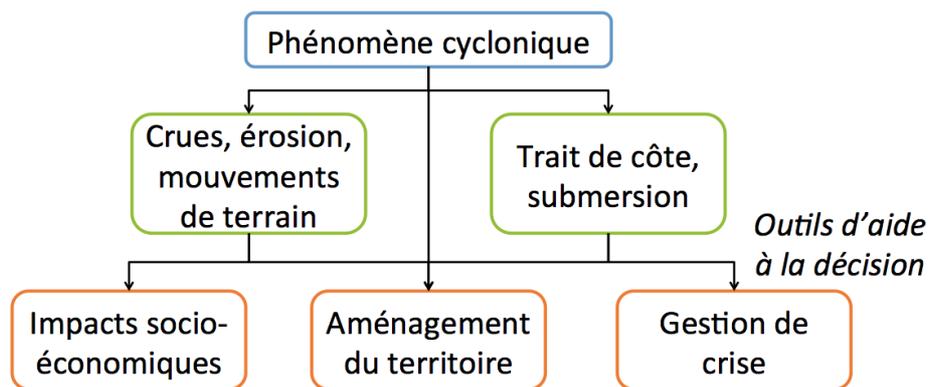
Nombre de cyclones tropicaux équivalents sur 50 ans déduit de l'indice « Convective Yearly Genesis Parameter »

- ⇒ Un nombre de cyclones équivalents par point de grille est ensuite déduit de cet indice et représenté ci-dessous.
- Sur ces bases, le cinquième rapport du GIEC conclut que globalement, le nombre de cyclones tropicaux va probablement baisser ou rester inchangé mais le vent maximum et les précipitations cycloniques devraient croître.
- ⇒ Par contre, vraisemblablement, l'impact du changement climatique sur les cyclones tropicaux variera selon les régions.
- Si on prend l'exemple du sud-ouest de l'océan Indien, à l'horizon 2080, la moyenne du vent zonal réalisé à partir de 13 modèles montre une anomalie positive du vent zonal aux tropiques, synonyme d'un ralentissement des alizés.
- L'anomalie positive du vent Méridien au nord du canal du Mozambique est, elle, synonyme d'un ralentissement du flux de mousson.
- ⇒ La combinaison de ces deux tendances pourrait affecter la position et l'intensité de la zone de convergence intertropicale et donc de l'activité cyclonique.

Si les questions générales sur la fréquence, l'intensité et les trajectoires des cyclones sont encore ouvertes, à l'échelle des territoires cette problématique se fait plus concrète.

- Par exemple, dans le cas des Mascarets, un certain nombre de questions vont conditionner les politiques régionales sur les prochaines années et décennies.
- ⇒ En particulier l'urbanisation croissante au niveau des côtes augmentera-t-elle le coût des dégâts liés aux cyclones ?
- ⇒ Le réchauffement et l'acidification des océans couplés à une augmentation du niveau de la mer mettront-ils à mal le rôle protecteur du récif corallien face aux houles cycloniques ?
- ⇒ Et dans un contexte où les sécheresses en hiver austral seraient accrues, les pluies cycloniques seraient-elles suffisantes pour équilibrer le bilan hydrique de ces régions ?

Les territoires impactés par les cyclones tropicaux vont ainsi devoir s'adapter. C'est-à-dire passer d'un territoire adapté à notre climat actuel à un territoire adapté au climat futur.



ADAPTATION ET AMÉNAGEMENT DES TERRITOIRES

- Comme une part importante des conséquences projetées du changement climatique ne sont qu'une amplification des problèmes déjà existants, une première étape efficace consiste à gérer au mieux la situation actuelle.
- La gestion du risque cyclonique reposant sur trois phases : prévention, gestion du risque et indemnisation, il est important de mettre l'accent sur la prévention. À savoir, veiller au respect des règles de construction para-cycloniques et poursuivre la maîtrise de l'urbanisation notamment au niveau des zones exposées aux crues, glissements de terrain et submersions.
- Autre point clé de la prévention, la surveillance cyclonique qui s'appuie à la fois sur des observations et sur des modèles.
- ⇒ C'est en augmentant la densité des observations dans des bassins océaniques pauvres en observations conventionnelles et en améliorant la résolution et la qualité des modèles

numériques de prévision que l'on pourra anticiper plus en amont et de façon plus fiable la trajectoire, l'intensité et les conséquences associées aux cyclones et en limiter les coûts directs et indirects.

- Quoi qu'il en soit, pour mieux gérer l'adaptation des territoires affectés par les cyclones tropicaux au changement climatique, la communauté scientifique doit se structurer autour de projets de recherche intégrés et se rapprocher des acteurs industriels et politiques locaux.
- ⇒ L'objectif est de prévoir les caractéristiques des cyclones futurs avec une meilleure fiabilité afin de traduire leurs impacts sur les populations, les infrastructures, l'économie et l'environnement.
- ⇒ Les résultats de ces études seront un outil d'aide à la décision pour les acteurs locaux afin qu'ils mettent en place une politique d'aménagement adaptée au risque des territoires en optimisant le coût économique.
- La réduction de la vulnérabilité et l'adaptation seront propres à chaque territoire compte-tenu des différents risques liés à la géographie, l'urbanisation, l'économie et l'écologie des sites.