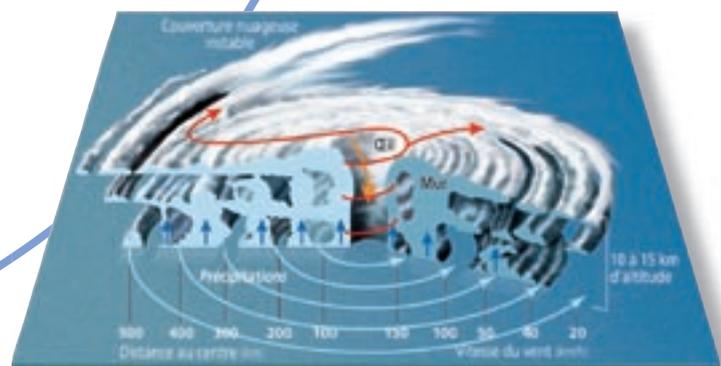


# Les cyclones



## DOSSIER D'INFORMATION

risques naturels majeurs





<b>Introduction .....</b>	<b>2</b>
<b><i>Le phénomène cyclonique</i></b>	
<b>Quelques définitions .....</b>	<b>3</b>
Les paramètres météorologiques qui régissent l'état atmosphérique	
Le cyclone	
Les différences entre cyclones et tempêtes « classiques »	
Les différences entre cyclones et tornades	
<b>La classification des cyclones .....</b>	<b>5</b>
<b>La dénomination des cyclones .....</b>	<b>6</b>
<b>La vie d'un cyclone .....</b>	<b>6</b>
Les zones de naissance des cyclones	
Les saisons cycloniques	
Les conditions de formation	
La structure des cyclones	
Le déclin des cyclones	
Les trajectoires des cyclones	
<b>Les manifestations des cyclones .....</b>	<b>10</b>
Les vents	
Les pluies	
Les effets dus à l'état de la mer	
<b><i>Le risque cyclonique</i></b>	
<b>Les conséquences .....</b>	<b>11</b>
Les préjudices humains	
Les préjudices économiques	
Les conséquences environnementales	
<b>Le risque cyclonique sur le territoire français .....</b>	<b>12</b>
<b><i>Les actions de prévention et de secours</i></b>	
<b>La prévention .....</b>	<b>14</b>
L'information préventive	
La surveillance	
Les autres mesures préventives	
<b>La gestion de crise .....</b>	<b>18</b>
Les plans de secours spécialisés Cyclones	
Le plan ORSEC	
<b>L'indemnisation .....</b>	<b>19</b>
<b>Références .....</b>	<b>20</b>
Organismes de référence, sites internet consultés et bibliographie	
<b>Glossaire .....</b>	<b>20</b>

## Introduction

Au premier rang des phénomènes atmosphériques dévastateurs, les cyclones tropicaux fascinent les hommes par leur puissance, leurs conditions de développement et de déplacement. Lors du passage d'un cyclone, tous les phénomènes sont extrêmes : les vents peuvent atteindre 350 km/h, les pluies diluviennes engendrent des crues et des glissements de terrain et la marée de tempête provoque une élévation du niveau de la mer dévastant les zones côtières.

On dénombre, pour près de quatre-vingt-dix phénomènes par an en moyenne, plusieurs milliers de morts dans le monde. Les pertes financières peuvent se chiffrer, pour les cyclones les plus puissants, à plusieurs dizaines de milliards d'euros, comme cela a été le cas pour le cyclone Andrew aux États-Unis en 1992 et ceux de septembre 2004.

Cependant, alors que les tentatives pour s'opposer au phénomène cyclonique sont restées vaines, les progrès accomplis ces dernières années en matière de prévention ont permis d'en réduire les conséquences, en particulier sur le plan humain. Dans les zones où l'action préventive est une priorité (c'est notamment le cas pour les territoires français), la surveillance météorologique et l'information de la population menacée rendent aujourd'hui peu probable l'occurrence de phénomènes générant plusieurs milliers, voire dizaines de milliers de victimes, comme cela a été le cas dans le passé.

Le monde est très inégalement menacé par le risque cyclonique. Compte tenu des conditions thermiques et dynamiques nécessaires à sa formation et à son développement, ce phénomène ne concerne que sept zones géographiques, avec comme région la plus active le Pacifique nord-ouest. La France métropolitaine n'est pas exposée, contrairement aux départements antillais, à l'île de la Réunion, Wallis et Futuna, la Nouvelle-Calédonie et les territoires polynésiens.



L'aléa



L'enjeu



Le risque

Quelques définitions sont nécessaires à la compréhension de ce document.

**L'aléa** est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité données.

**L'enjeu** est l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

**Le risque majeur** est la conséquence d'un aléa d'origine naturelle ou humaine, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionnent des dégâts importants et dépassent les capacités de réaction des instances directement concernées.

**La vulnérabilité** exprime et mesure le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux.

Différentes actions peuvent la réduire en atténuant l'intensité de certains aléas ou en limitant les dommages sur les enjeux.

# LE PHÉNOMÈNE CYCLONIQUE

## Quelques définitions

### ■ Les paramètres météorologiques qui régissent l'état atmosphérique

Trois grands paramètres permettent de caractériser l'état de l'atmosphère et de prévoir, par leur quantification et leur variation, ses perturbations.



Cyclone, du mot grec *kuklos* (qui signifie cercle, rond) est un terme générique. En fonction de la localisation géographique, la terminologie diffère :

- **cyclone** dans l'océan Pacifique sud-ouest et nord et l'océan Indien sud-ouest ;
- **ouragan** (de *Hunraken*, dieu maya de la tempête, qui a donné *hu-ra-kan* dans les Caraïbes, *huracán* en espagnol et *hurricane* en anglais) dans l'océan Atlantique nord et l'océan Pacifique nord-est et sud-ouest (à l'est du 160E) ;
- **typhon** (du chinois *t'ai fung*, « grand vent » qui a donné l'indien *toofan*, l'arabe *tufan*, le portugais *tufão* et l'anglais *typhoon*) dans l'océan Pacifique nord-ouest ;
- le cyclone est aussi appelé **kamikaze** (« vent divin ») au Japon, **badai** en Indonésie, **willy-willy** en Australie et **baguio** aux Philippines.

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) définit un cyclone comme « une perturbation d'échelle synoptique non accompagnée d'un système frontal, prenant naissance au-dessus des eaux tropicales ou subtropicales et présentant une activité convective organisée et une circulation dépressionnaire dite cyclonique, plus intense en surface qu'en altitude ».

**La pression atmosphérique** correspond à la pression exercée sur une unité de surface, par la masse de la colonne d'air située à l'aplomb de cette surface. Dans les basses couches de l'atmosphère elle diminue avec l'altitude d'environ 3 hectopascals par tranche de 25 m. La pression de référence, utilisée pour définir « haute » et « basse » pression est de 1013 hPa (soit 1013 mbar), correspondant à la pression d'une colonne de mercure de 760 mm de haut (baromètre de Torricelli). Il s'agit de la pression exercée au sol pour une température de 0 °C, au niveau de la mer et à une latitude de 45 °. Au niveau de la mer, en France métropolitaine, la pression atmosphérique varie entre 950 hPa et 1050 hPa. Les zones de « basse pression » sont appelées *dépressions*, celles de « hautes pressions » *anticyclones*.

**La température** est variable en fonction de l'altitude, de la latitude, de la saison, des conditions météorologiques, etc. Elle diminue depuis le sol jusqu'au sommet de la troposphère, suivant une variation moyenne de 0,6 °C par 100 m d'élévation.

**Le taux d'humidité** (ou *hygrométrie*) correspond à la quantité d'eau contenue dans l'air sous forme de vapeur, provenant notamment de l'évaporation des océans, mers et lacs, et de la transpiration des plantes. Plus l'air est chaud, plus il peut contenir de vapeur d'eau.

### ■ Le cyclone

Un cyclone est une perturbation atmosphérique de grande échelle, une zone de basses pressions des régions tropicales ou subtropicales (on parle de cyclones tropicaux ou sub-tropicaux). Au sein de cette zone se développent des nuages convectifs, et autour d'elle le vent se déplace dans une circulation dite « fermée » en surface, autour d'un centre de rotation. La formation d'un cyclone nécessite un certain nombre de conditions météorologiques de départ [voir page 7], dont les principales sont la température de l'océan et la latitude.

Le cyclone est le phénomène climatique le plus puissant connu par les scientifiques. Les variations maximales des éléments météorologiques (exception faite des tornades et trombes marines) ont pu y être observées : variation de pression de 45 hPa en 20 min, pression minimale de 867 hPa (Philippines), précipitations de 1 340 mm en 12 h (Réunion), rafales de vent atteignant 360 km/h.

## ■ Les différences entre cyclones et tempêtes « classiques »

Une tempête est une perturbation atmosphérique pouvant s'étirer sur plus de 2 000 km et le long de laquelle deux masses d'air aux caractéristiques différentes s'affrontent. De cette confrontation naissent notamment des vents violents et des pluies souvent importantes. L'essentiel des perturbations touchant l'Europe se forme sur l'océan Atlantique, sur le front polaire séparant la zone d'air froid polaire et la zone d'air chaud tropical.

Les tempêtes des latitudes tempérées et les cyclones tropicaux se distinguent par quatre caractéristiques principales [voir page 7 pour les détails concernant les cyclones] :

- **leur source d'énergie** : les cyclones tirent l'essentiel de leur énergie de l'évaporation de l'eau de mer sur une zone de basses pressions, et ne peuvent donc prendre naissance qu'au-dessus des zones océaniques. Les tempêtes naissent quant à elles des contrastes thermiques horizontaux existant dans l'atmosphère, et peuvent donc se former (et se renforcer) sur terre.
- **leur morphologie** : tandis que les cyclones présentent une symétrie autour de leur œil, les dépressions « tempérées » sont fortement asymétriques.
- **la répartition des vents forts et des contrastes** : une couronne de vents forts se forme autour de l'œil pour les cyclones, alors que pour les tempêtes ils s'organisent en tubes, près des fronts.
- **la répartition géographique** : les tempêtes touchent les régions tempérées du globe et parmi elles l'Europe. Les cyclones ont pour zone de prédilection l'océan Atlantique nord, l'océan Pacifique et l'océan Indien (entre 5° et 35° de latitude nord et sud) et ne constituent donc pas une menace pour le territoire français métropolitain.

## ■ Les différences entre cyclones et tornades

Il s'agit dans les deux cas de tourbillons atmosphériques. Toutefois les tornades sont des phénomènes de petite taille (exceptionnellement jusqu'à quelques centaines de mètres de diamètre), d'une durée de vie limitée (jusqu'à quelques dizaines de minutes dans la majeure partie des cas) et elles parcourent rarement plus de 40 km (sauf dans le cas des tornades américaines).

) et ne constituent donc pas une menace pour le territoire français métropolitain

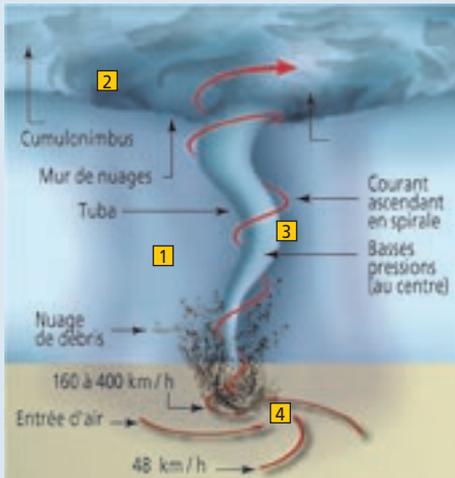
### Cyclones et tornades

Une tornade est issue d'une seule cellule convective (*cumulonimbus*), tandis que le cyclone tropical est formé de plusieurs douzaines de cellules convectives. De plus, alors que les tornades nécessitent un fort cisaillement vertical du vent (changement de la force et de la direction du vent avec l'altitude) pour des conditions optimales d'apparition, les cyclones tropicaux se forment et s'intensifient dans une vaste zone de faible cisaillement vertical du vent (inférieur à 10 m/s). Ces valeurs de cisaillement sont représentatives du champ horizontal de température à un niveau donné : les tornades se produisent dans les régions où il existe une forte variation de température, alors que les cyclones se forment dans des zones où cette variation est presque nulle.

### La formation d'une tornade

Pour qu'une tornade se développe, il faut que l'air soit instable, ce qui est rendu possible par :

- le réchauffement de l'air près de la surface grâce à l'action du rayonnement solaire et par un apport d'air chaud et humide ;
- le refroidissement de l'air en altitude provoqué par un apport d'air.



L'air chaud et humide s'élève graduellement [1]. Si le courant ascendant est assez fort, il atteint les couches les plus froides de l'atmosphère, où la vapeur qu'il contient se condense et crée d'énormes cumulonimbus [2]. En montant, l'air chaud entrecoupe des vents de direction et de vitesse différentes et provoque un mouvement de spirale [3]. La formation de la tornade a lieu quand, dans une petite zone du phénomène qui se situe près du sol, les vents convergent de plus en plus [4].

Le critère « vitesse du vent moyen » a été considéré comme l'élément le plus objectif et facile à connaître ou à estimer. L'OMM n'est cependant pas parvenue à une harmonisation et de nombreux pays font référence à des vitesses de vents moyennées sur dix minutes, tandis que d'autres (notamment le *National Hurricane Center* – NHC – et le *Joint Typhoon Warning Center* – JTWC – des États-Unis) se réfèrent à une moyenne sur une minute.

### L'échelle de Saffir-Simpson

Classification	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5 (supercyclones)
Pression en hPa	Plus de 980	965 à 979	945 à 964	920 à 944	Moins de 920
Vent maximal soutenu sur 1 min, en km/h	118 à 153	154 à 177	178 à 209	210 à 249	Plus de 249
Dégâts causés	Minimes	Modérés	Intenses	Extrêmes	Catastrophiques

Les cyclones sont des phénomènes de grande échelle (jusqu'à 1 000 km de diamètre), susceptibles de parcourir des distances considérables sur plusieurs semaines. On notera toutefois que les vents maximaux générés par certaines tornades peuvent être supérieurs à ceux des cyclones les plus violents.

D'autre part, alors que les cyclones sont dans leur mécanisme de formation des phénomènes « océaniques », les tornades sont principalement des phénomènes terrestres (bien que le phénomène existe également sur mer : ce sont les *trombes marines*). Leur naissance est notamment tributaire de la chaleur du soleil réchauffant la terre et favorisant le développement de conditions orageuses.

Pour plus d'informations sur les tempêtes des régions tempérées, on se reportera au dossier qui leur est consacré (les tornades y sont également abordées).

## La classification des cyclones

Les cyclones sont classés en fonction de l'intensité des vents maximums qu'ils génèrent. C'est le paramètre le plus facile à estimer et qui caractérise bien les destructions potentielles. L'Organisation météorologique mondiale a ainsi défini les trois stades suivants, en fonction des vitesses du vent maximum soutenu :

- **dépression tropicale ou sub-tropicale** lorsque ce vent ne dépasse pas 63 km/h (force 7 de l'échelle de Beaufort) ;
- **tempête tropicale ou sub-tropicale** lorsque ce vent est compris entre 63 km/h (force 7) et 117 km/h (force 11) ;
- **cyclone tropical** lorsque ce vent dépasse 117 km/h (force 12). C'est à ce stade que se forme l'œil [voir page 8].

Deux échelles de classification existent, en fonction de la valeur minimale de la pression au centre de la dépression et de la vitesse des vents :

- l'échelle de Saffir-Simpson, utilisée principalement dans l'océan Atlantique nord et dans l'océan Pacifique nord-est, établit cinq classes ;

• l'échelle de Dvorak relie un chiffre de 0 à 8 à une valeur de vent maximal soutenu et correspond à une pression centrale estimée dans les bassins océaniques de l'Atlantique et du Pacifique nord-ouest.

## La dénomination des cyclones

Les cyclones tropicaux sont dénommés pour faciliter la communication entre les prévisionnistes et le public pendant les phases de prévision et d'alerte. Les cyclones ont une durée de vie qui peut dépasser une semaine et plusieurs de ces phénomènes peuvent exister en même temps sur le même bassin. Les baptiser par des noms courts et familiers (donc faciles à mémoriser) permet de réduire le risque de confusion entre les phénomènes.

Un nom est affecté à toute perturbation dans laquelle le vent moyen dépasse 63 km/h. Les noms (généralement des prénoms alternativement masculin et féminin) sont donnés à partir de listes alphabétiques préétablies, desquelles ont été retirés les noms des cyclones les plus dévastateurs.

## La vie d'un cyclone

### ■ Les zones de naissance des cyclones

Il existe dans le monde sept bassins susceptibles de réunir les conditions nécessaires à la formation du phénomène, et où se produit de manière régulière une activité cyclonique [voir carte page 7].

Les statistiques des trente dernières années indiquent qu'il y a 80 à 85 cyclones chaque année (dépression ayant au moins atteint le stade de tempête tropicale), dont 45 ont dépassé le seuil d'ouragan (plus de 117 km/h en vent maximum soutenu).

La répartition des cyclones tropicaux est très inégale entre les deux hémisphères : environ 70 % dans l'hémisphère nord contre 30 % dans l'hémisphère austral. La région la plus active, avec plus de 35 % des cyclones tropicaux du globe, est représentée par l'océan Pacifique nord-ouest. Il s'agit également de la région où les phénomènes sont les plus étendus et les plus violents.

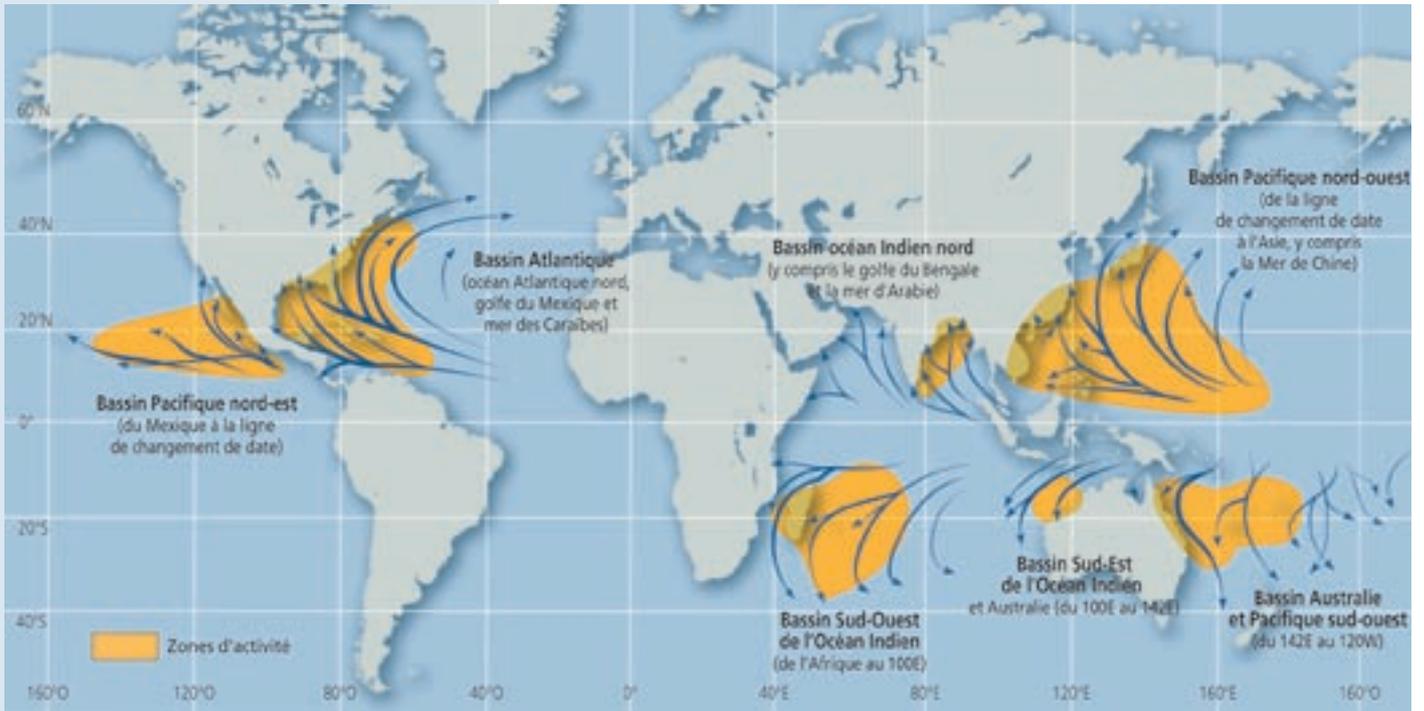
Sur l'ensemble du globe, seulement 22 % des perturbations évoluant en cyclones tropicaux prennent naissance au-dessous de 10° de latitude, contre 65 % entre 10° et 20°, et seulement 13 % au-dessus de 20°.

Niveau	Vent maximal sur 10 min			Pression centrale (hPa)	
	m/s	Nœuds	km/h	Atlantique	Pacifique
1	< 13	< 25	< 45		
1,5	13	25	45		
2	15	30	55	1 009	1 000
2,5	18	35	65	1 005	996
3	23	45	83	1 000	991
3,5	28	55	101	994	984
4	33	65	119	987	975
4,5	39	77	137	979	965
5	45	89	165	970	954
5,5	52	102	189	960	942
6	58	115	213	948	927
6,5	65	127	234	935	912
7	72	140	259	921	898
7,5	79	154	285	906	879
8	85	167	306	890	858

### Échelle de Dvorak

#### Les noms des cyclones

- Le centre de Miami utilise six listes de prénoms par roulement annuel, le premier ouragan de l'année porte un nom commençant par la lettre A.
- Le centre météorologique de l'île de la Réunion attribue aux tempêtes tropicales et cyclones des prénoms d'origine française, malgache ou mauricienne.
- Les tempêtes tropicales et cyclones du nord de l'océan Indien ne sont pas désignés par un prénom mais un numéro d'identification suivi d'une lettre, A ou B, selon que le phénomène se forme en mer d'Arabie ou dans le golfe du Bengale.
- Les typhons du Pacifique nord-ouest, du sud-est de l'océan Indien, du nord de l'Australie et du Pacifique sud-ouest portent un nom pris dans quatre listes sans initialisation annuelle.



Les zones de formation des cyclones et les trajectoires habituelles

## ■ Les saisons cycloniques

*Dans l'hémisphère nord*, la saison cyclonique s'étend de juin à novembre. Dans le bassin océanique de l'Atlantique et des mers adjacentes, si les cyclones restent rares en juin et novembre, la saison cyclonique bat son plein entre début juillet et fin octobre.

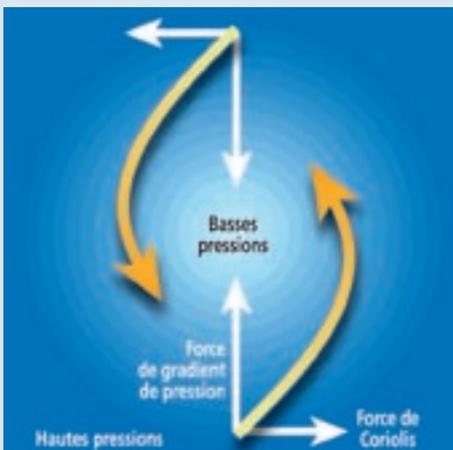
*Dans l'hémisphère sud*, la saison cyclonique s'étend de novembre à avril, voire mai.

## ■ Les conditions de formation

Un cyclone naît et se développe uniquement si les conditions suivantes sont réunies :

- **une condition thermique** : une température de la mer supérieure à  $26^{\circ}\text{C}$  sur une épaisseur minimale de 50 m. L'évaporation de surface de grandes quantités d'eau fournit l'énergie nécessaire pour entretenir le système de machine à vapeur qu'est une formation cyclonique. Si l'eau est trop froide, le cyclone ne peut pas se former ou, s'il était déjà formé préalablement, il s'affaiblit puis finit par perdre ses caractéristiques cycloniques tropicales. Cette condition thermique en fait ainsi un phénomène essentiellement maritime (depuis sa naissance jusqu'à sa maturité). En pénétrant sur terre, son énergie tend rapidement à décroître ;

- **une condition géographique** : être suffisamment éloigné de l'Équateur (cinq degrés de latitude, soit une distance voisine de 550 km) de façon à ce que la force de Coriolis ne soit pas nulle. Cette force, engendrée par la rotation terrestre, imprime une



Dans le mouvement des vents entre les zones de hautes et basses pressions un équilibre se crée entre la force de Coriolis, centrifuge, et la force qui les attire vers le « creux » de la dépression (force de gradient de pression). Il en résulte un mouvement d'enroulement des vents autour de la zone de basse pression, suivant à peu près les lignes d'égalité de pression.

déviations du vent vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud. Elle est nulle à l'Équateur. C'est elle qui intervient pour déclencher le mouvement tourbillonnaire initial. En dessous de cinq degrés de latitude, la force de Coriolis est trop faible pour un tel déclenchement (il n'y a donc jamais de cyclone entre 5° sud et 5° nord) ;

- **une forte humidité**, indispensable à la formation des cumulonimbus. La formation d'un cyclone est impossible pour une humidité inférieure à 40 %, fréquente lorsqu'elle est supérieure à 70 % ;
- **la pré-existence d'une zone dépressionnaire**, d'un amas nuageux, d'une ligne de grains ou encore d'une onde tropicale associée à de la convection et à un faible mouvement d'air convergent de basses couches. Cette convergence crée les mouvements ascendants, permettant à l'air humide de s'élever ;
- **la présence de vents en altitude** (jusqu'à 15 km). Ces vents doivent être relativement homogènes : même direction et même force ou presque. Dans le cas contraire, l'énergie développée par le système va se disperser et le système a tendance à se « cisailer ».

## ■ La structure des cyclones

La structure des cyclones est caractérisée par une masse nuageuse pouvant s'étendre sur 1 000 km pour les plus importants. Elle est organisée en bandes spiralées s'enroulant autour d'un centre de rotation, anneau central compact et droit. Au stade de tempête tropicale, ce centre est noyé au milieu des nuages de type cumulonimbus, à fort potentiel pluvieux et orageux. Il est parfois difficilement discernable.

Au stade de cyclone, ce centre de rotation, *l'œil du cyclone* est plus nettement identifiable. L'œil a un diamètre généralement compris entre 30 et 60 km (exceptionnellement de plus de 200 km). Il est caractérisé par des vents faibles et des précipitations nulles ou très faibles, tandis que la pression atmosphérique y est au plus bas et la température en altitude la plus chaude (jusqu'à 10°C de plus dans l'œil qu'à sa périphérie à 12 km d'altitude). Il y règne ainsi un calme apparent très temporaire (des lambeaux de ciel bleu sont quelquefois visibles).

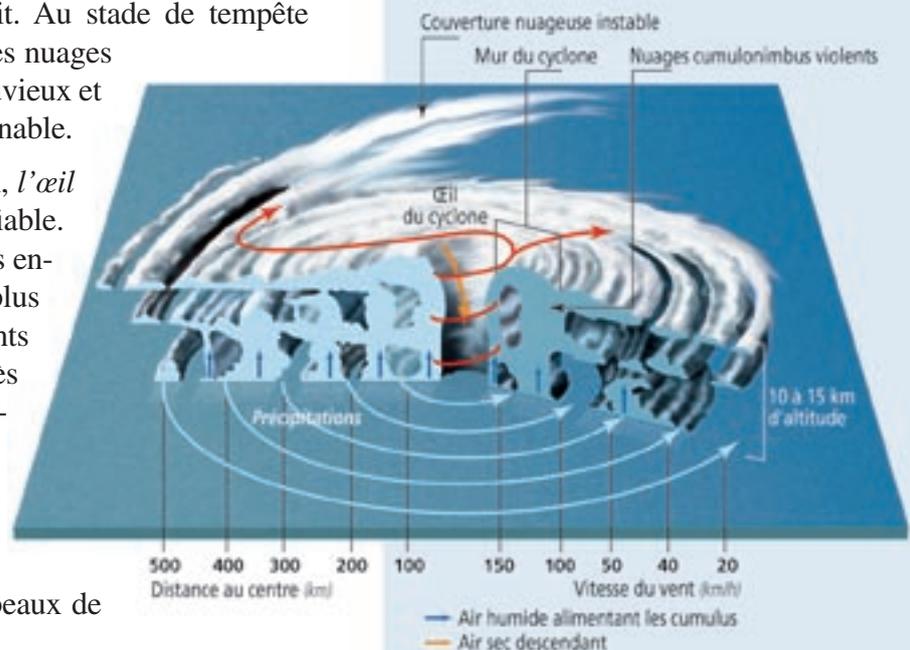
L'œil est entouré par *le mur de l'œil*, constitué de cumulonimbus et pouvant s'étendre sur un rayon de 150 km. Ce mur qui abrite les mouvements convectifs les plus puissants, est le siège des effets du cyclone les plus dévastateurs (vents, pluies, marée cyclonique – voir page 10).

Les amas de nuages nécessaires à la formation des cyclones se trouvent en particulier entre les tropiques, au niveau d'une vaste zone de mauvais temps, qu'on dénomme *zone intertropicale de convergence* ou *zone de convergence intertropicale* (ZIC ou ZCIT). Certains cyclones peuvent également se former à partir de perturbations d'origine tempérée, qui sont descendues en latitude et ont pris peu à peu des caractéristiques tropicales (le « cœur » froid notamment devenant alors un « cœur » chaud). On retrouve là-aussi à l'origine, un amas nuageux qui a trouvé forte humidité et instabilité. Certaines de ces perturbations évoluent en cyclones, lorsque les autres conditions sont réunies, d'autres non et restent des amas nuageux, ondes tropicales ou zones perturbées.

**Une ligne de grains** est une bande nuageuse constituée de nuages orageux.

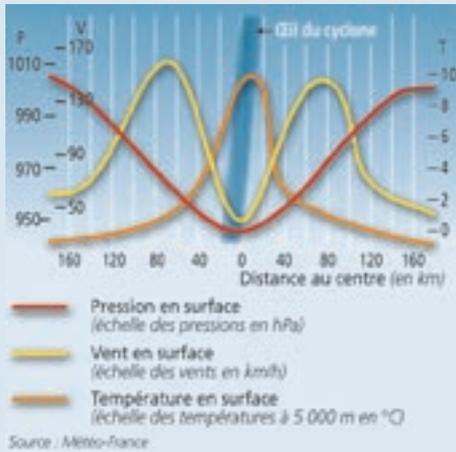
**Une onde tropicale** est une perturbation tropicale associée à un axe dépressionnaire des couches basses et moyennes de la troposphère, circulant d'est en ouest.

### La structure d'un cyclone



**L'œil du cyclone** est constitué par de l'air subsident (mouvement descendant), tandis que dans le mur, les mouvements ascendants sont rapides. Les températures chaudes de l'œil s'expliquent par la compression de l'air subsident. Les mécanismes généraux de la formation de l'œil ne sont pas encore tous clairement expliqués.

### La variation des paramètres dans un cyclone



### Les trajectoires habituelles des cyclones



### La trajectoire atypique du cyclone Mitch en 1998



## ■ Le déclin des cyclones

Un cyclone s'affaiblit dès qu'une de ses sources d'alimentation en énergie disparaît ou s'atténue. C'est ainsi notamment le cas :

- lorsqu'il arrive sur terre. Ainsi, un cyclone passant sur les Caraïbes se retrouve privé de « carburant » et sort de ces îles souvent très affaibli. S'il rentre (on dit *atterrit*) sur un continent, comme les États-Unis, il peut mourir (se dissiper) en vingt-quatre heures. Toutefois, les phénomènes les plus puissants peuvent conserver une énergie suffisante pour « traverser » l'étendue terrestre et se développer à nouveau au contact d'un océan, si les conditions nécessaires à leur renforcement sont présentes. Par ailleurs, les forces de frottement sur terre (action de résistance due au relief terrestre et « freinant » les mouvements d'air) ne jouent pas un rôle prépondérant dans la dégénérescence du cyclone ;
- lorsqu'il arrive sur des océans dont les eaux de surface ne sont pas assez chaudes ;
- lorsqu'il subit les effets du cisaillement vertical du vent qui déforme sa structure verticale ;
- lorsque sa trajectoire se rapproche trop de l'Équateur.

Certains cyclones en fin de vie peuvent être « repris » par la circulation d'ouest des latitudes moyennes et engendrer de violentes tempêtes, sur les côtes européennes notamment (c'est le cas de près d'un cyclone sur deux dans l'océan Atlantique nord).

## ■ Les trajectoires des cyclones

Les trajectoires peuvent être définies à partir de deux circulations différentes [voir carte page 7] :

- aux latitudes tropicales, une circulation équatoriale d'est en ouest (sauf dans l'océan Pacifique sud-ouest où la circulation se fait généralement d'ouest en est) ;
- l'entrée du cyclone dans la circulation des régions tempérées après un changement plus ou moins brutal de direction. Cette incurvation de la trajectoire vers le pôle est due à la force de Coriolis, qui dévie les cyclones vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud.

Ces deux composantes confèrent en théorie aux cyclones une trajectoire parabolique. Dans la réalité, les trajectoires observées sont plus ou moins complexes et peuvent présenter des boucles, des retours en arrière, etc.

La vitesse de déplacement des cyclones est modérée au début (inférieure ou égale à 20 km/h généralement). Elle s'accélère avec le changement de trajectoire, lorsque la composante principale du mouvement devient ouest - est (ce qui se produit en moyenne vers 23° de latitude), avec une vitesse pouvant dépasser 45 km/h.

## Les manifestations des cyclones

### ■ Les vents

L'intensité des vents et leurs changements brutaux de direction sont à l'origine de dégâts considérables. Ils dépassent aisément les 150 km/h et peuvent exceptionnellement atteindre 370 km/h environ à proximité de l'œil (et plus particulièrement, dans l'hémisphère nord, dans sa partie avant droite où le gradient de pression est le plus fort). On notera que l'énergie d'un vent est proportionnelle au carré de sa vitesse (un vent de 200 km/h exerce une force quatre fois supérieure à celle d'un vent de 100 km/h). La dangerosité des vents est également liée aux objets plus ou moins volumineux qu'ils sont en mesure de projeter.

Dans un cyclone, les vents de surface se caractérisent par ailleurs par leur turbulence, avec une alternance entre séries de rafales violentes et accalmies passagères ; cette variabilité a tendance à augmenter à l'intérieur des terres.

Un autre danger résulte du changement à 180° de la direction des vents après le passage de l'œil (de part et d'autre de l'œil, les vents soufflent dans des directions opposées).

### ■ Les pluies

Le cumul de précipitations peut être considérable, y compris pour des cyclones d'intensité relativement modeste (en terme de vents), alors que certains « gros » cyclones ne génèrent que peu de pluies. Différents paramètres influencent le cumul des précipitations :

- **le relief montagneux** qui amplifie les mouvements verticaux, et donc l'instabilité, et les processus de condensation de la vapeur d'eau ;
- **l'orientation de la trajectoire** du système pluvieux par rapport à celle d'une chaîne montagneuse ou d'un obstacle naturel ;
- **la vitesse de déplacement** du cyclone, dont la lenteur tend à accentuer les cumuls pluviométriques (le phénomène séjournant plus longtemps au même endroit).

Les pluies peuvent être génératrices d'inondations, de glissements de terrains et de coulées boueuses d'ampleur variable.

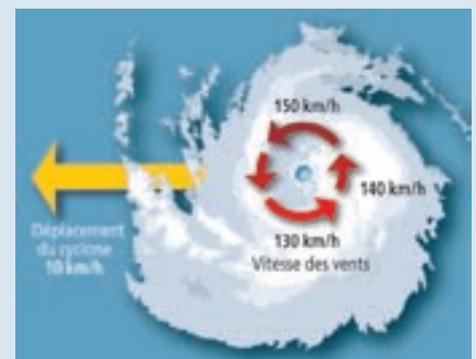
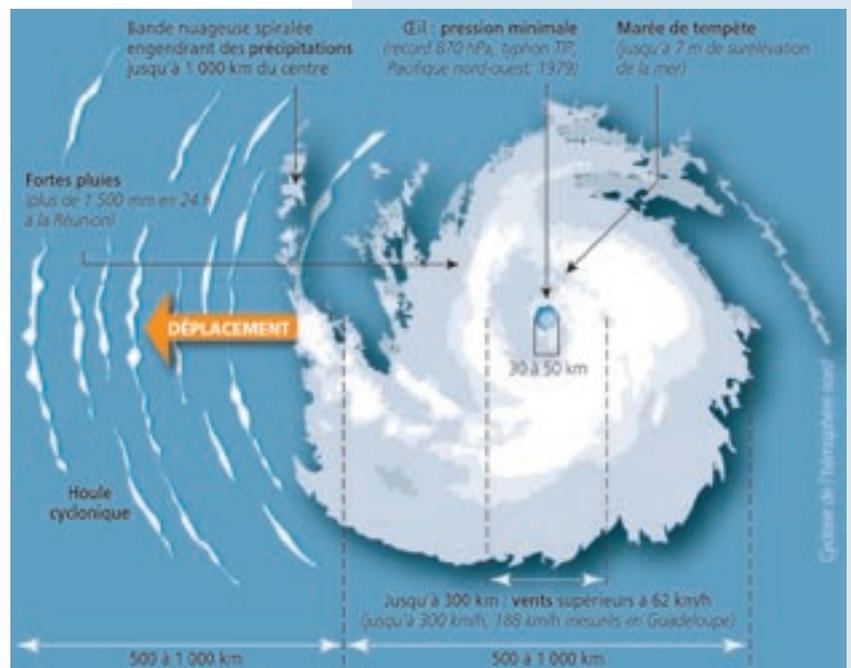
### Les signes précurseurs

Le premier signe précurseur est la houle cyclonique, qui se propage à une vitesse supérieure à celle du cyclone. L'importance et les variations de sa direction, hauteur et fréquence renseignent sur la distance du phénomène et sur l'orientation de sa trajectoire.

Une pression anormalement élevée par rapport aux jours précédents, associée à une atmosphère limpide, peuvent renseigner sur la présence encore éloignée d'un cyclone.

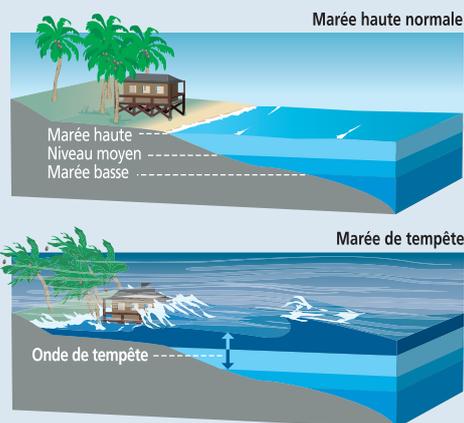
La présence de nuages, et notamment cirrus et cirrostratus, avant que la pression n'ait commencé à chuter, renseignent sur la direction dans laquelle se trouve le phénomène et sur son importance.

Les animaux perçoivent les ultrasons émis par le cyclone, tandis que les oiseaux de mer s'éloignent loin à l'intérieur des terres.



En général, les vents les plus forts d'un cyclone sont situés sur le côté droit parce que le déplacement du phénomène contribue à la circulation cyclonique.

Les **ondes de tempêtes** sont les plus hautes sur la partie avant droite des ouragans de l'océan Atlantique (avant gauche dans l'océan Indien), là où les vents côtiers sont les plus forts. L'onde de tempête peut également survenir lorsqu'un ouragan n'atteint pas la terre mais se déplace le long de la côte.



La **marée de tempête** dépend de la configuration du littoral, de la topographie des fonds marins et du déplacement du cyclone par rapport à la côte. Elle peut être particulièrement importante dans les régions où existe un grand plateau continental, c'est-à-dire où la mer reste peu profonde sur des kilomètres au large, favorisant ainsi la poussée mécanique naturelle de l'eau de surface et son accumulation vers les rivages. Elle sera d'autant plus dévastatrice si la zone touchée correspond à une côte à faible pente. Elle peut également avoir pour conséquence de ralentir l'écoulement des rivières, et donc de provoquer des inondations à l'intérieur des terres.

De manière générale, quand on fait face au vent, la **houle cyclonique** arrive par tribord (droite) dans l'hémisphère nord et par babord (gauche) dans l'hémisphère sud. Dans l'œil du cyclone la houle vient de toutes les directions.

En **Guadeloupe** en 1995, *Marilyn* (ouragan de classe 1 seulement) a déversé 500 à 600 mm d'eau en douze heures sur la ville de Basse-Terre dans la nuit du 14 au 15 septembre.

Le record de précipitations est détenu par l'île de la **Réunion** avec notamment 1 170 mm en douze heures lors du cyclone *Hyacinthe* le 26 janvier 1980.

Dans le delta du **Mississippi** aux États-Unis, la marée de tempête occasionnée par le passage de *Camille* en 1969 est montée brusquement jusqu'à près de 8 m.

En **Australie** en 1899, le cyclone connu sous le nom de *Bathurst Bay Hurricane* aurait produit une marée de tempête de 13 m de hauteur dans la baie de Bathurst.

## ■ Les effets dus à l'état de la mer

Les cyclones tropicaux menacent davantage les îles et les régions côtières en raison des risques maritimes engendrés.

L'**onde de tempête** est la montée rapide du niveau de la mer lorsqu'une tempête s'approche de la côte. Le niveau de la mer monte près des côtes, à cause des forts vents du large qui « poussent » l'eau vers elles. De plus, l'eau est « aspirée » vers le haut par la pression très basse régnant près de l'œil du cyclone (phénomène d'*intumescence*). Les régions basses sont les plus vulnérables, alors que celles où le relief s'élève rapidement ne sont pas touchées.

L'onde de tempête peut se superposer à la marée astronomique (liée à la Lune) pour constituer la **marée de tempête**. L'amplitude de cette dernière varie de 1 à 2 m pour les cyclones peu intenses, mais peut dépasser 5 m pour les phénomènes plus puissants et être particulièrement dévastatrice. La mer « monte » sur la droite du déplacement dans l'hémisphère nord (sur la gauche dans l'hémisphère sud), elle « baisse » de l'autre côté.

Les dégâts dus à la mer sont également liés aux **vagues**. Pour les cyclones les plus importants, leur hauteur peut atteindre 30 m. Leur déferlement répétitif sur la côte peut provoquer des érosions et menacer d'effondrement les constructions du littoral. Leur dangerosité est d'autant plus importante qu'elles se conjuguent avec la marée de tempête. Le vent génère des vagues très différentes par leur direction, leur hauteur et leur fréquence, créant un état de mer particulièrement « démonté ». La houle cyclonique peut parfois être observée jusqu'à 1 000 km en avant du cyclone et ses effets peuvent continuer à se faire sentir après son passage.

## LE RISQUE CYCLONIQUE

### Les conséquences

Du fait de la pluralité de leurs effets, de l'étendue souvent importante des zones touchées, mais aussi en raison de la vulnérabilité d'une large partie des zones affectées (densité de population importante, bâti fréquemment peu résistant, vétusté des infrastructures publiques, etc), les conséquences humaines et économiques des cyclones sont souvent considérables.

## ■ Les préjudices humains

Depuis le développement des moyens de prévention et de protection, les bilans humains tendent à diminuer sensiblement. On estime toutefois que le phénomène cyclonique fait encore en moyenne 6 000 morts par an, ainsi qu'un nombre de blessés et de sans-abris considérable. Une grande part des décès est due aux noyades par montée de la mer ou des rivières, ou aux conséquences des glissements de terrains et coulées de boue. Le vent engendre également des décès, survenant de façon directe, suite à la projection de la victime ou par projection d'un objet, ou indirecte (effondrement d'une construction par exemple).

## ■ Les préjudices économiques

Les dommages matériels dépendent de l'intensité du cyclone (vents) et de son potentiel de pluie. Les pertes ou perturbations d'activités résultent de destructions ou de dommages. Outre les habitations, l'économie est également touchée par la destruction des infrastructures (ponts, routes, voies ferrées, etc), la détérioration des outils de production industrielle, l'impact sur les réseaux d'eau, de téléphone et d'électricité (susceptibles de provoquer incendies, explosions et électrocutions). Il s'ensuit une interruption plus ou moins prolongée de la vie économique.

## ■ Les conséquences environnementales

Elles sont potentiellement identiques à celles résultant des tempêtes des latitudes moyennes. On peut distinguer les effets directs (destructions de forêts dues aux vents, dommages résultant des inondations, etc) et les effets indirects (pollution plus ou moins grave et étendue du littoral suite à un naufrage, pollution à l'intérieur des terres résultant de dégâts occasionnés aux infrastructures de transport, etc).

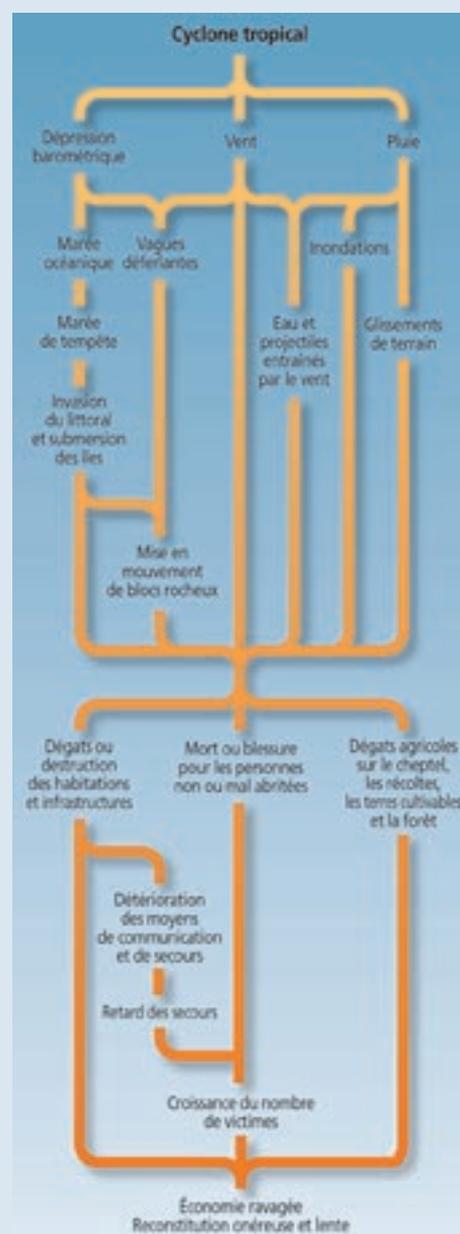
## Le risque cyclonique sur le territoire français

La menace cyclonique concerne une large part des départements et territoires d'outre-mer.

*Dans l'hémisphère nord*, il s'agit des Antilles, où la saison cyclonique s'étend de juillet à octobre, avec une période plus particulièrement active du 15 août au 15 octobre. L'ensemble des communes de la Guadeloupe et de la Martinique notamment est exposé au phénomène cyclonique, et plus particulièrement aux effets des vents dévastateurs et aux fortes précipitations. La menace liée à

En **Floride** en 1992, l'ouragan *Andrew* (classe 4 de l'échelle de Saffir-Simpson) aurait causé 25 à 30 milliards de dollars de pertes.

### Effets et conséquences des cyclones



## La Guadeloupe et les cyclones depuis 1846

1840		11 septembre 1846
1850		15 ans sans cyclone
1860		6 juillet 1861
1870		6 septembre 1865 ; 80 morts à Marie-Galante
1880		24 ans sans cyclone
1890		1er septembre 1889
1900		7 août 1899
1910		19 juillet 190
1920		21 août 1909
1930		10 août 1915
1940		13 ans sans cyclone
1950		12 septembre 1928 ; cyclone très violent (classe 4), plus de 1 200 morts.
1960		1er septembre 1930
1970		20 ans sans cyclone
1980		21 août 1950 ; cyclone Baker
1990		11 août 1956 ; cyclone Betsy ; 6 morts et dommages importants
2000		5 septembre 1960 ; cyclone Donna ; classe 4 ; sur Saint-Barthélemy et Saint-Martin
		26 octobre 1963 ; tempête tropicale Helena ; très fortes inondations ; 5 morts
		26 octobre 1964 ; cyclone Cleo ; classe 1 ; 14 morts ; dommages très importants
		40 ans sans cyclone



la marée de tempête et à la houle concerne bien entendu plus particulièrement les communes du littoral, en fonction de la direction d'arrivée du cyclone. Le cyclone d'octobre 1780 est le phénomène connu ayant fait le plus de victimes aux Antilles françaises (9 000 personnes). Le cyclone du 12 septembre 1928 a causé de 1 200 à 1 500 décès en Guadeloupe.

**Dans l'hémisphère sud**, il s'agit de la Nouvelle-Calédonie, la Polynésie, Wallis et Futuna et la Réunion. La pleine saison cyclonique s'étire de fin décembre à début avril. Sur l'île de la Réunion, le cyclone le plus violent du XX<sup>e</sup> siècle est celui de 1948, ayant provoqué la mort de 165 personnes.

## Un rappel historique

Année	Localisation	Victimes
1737	Inde	300 à 400 000 victimes
Oct. 1780	Caraïbes	22 000 morts
Sept. 1900	Texas	12 000 morts
Oct. 1963	Cuba et Haïti	Cyclone <i>Flora</i> ; 8 000 morts
Nov. 1970	Bangladesh (Pakistan oriental à l'époque)	400 000 morts dans la zone des deltas du Gange et du Brahmapoutre (région à forte densité démographique en raison des cultures vivrières et surtout des rizières)
1971	Bangladesh	300 000 morts et 1,3 million de sans-abris
Sept. 1974	Honduras	Cyclone <i>Fifi</i> ; 8 à 10 000 morts
1991	Bangladesh	138 000 morts
Oct. et nov. 1998	Amérique centrale	Cyclone <i>Mich</i> ; env. 10 000 morts, en raison notamment de l'importance des inondations et des glissements de terrains.
Oct. 1999	Golfe du Bengale	10 000 morts
Sept. 2004	Caraïbes, Haïti, États-Unis	Cyclone <i>Ivan</i> ; env. 110 morts dans les Caraïbes et aux États-Unis. Cyclone <i>Jeanne</i> ; env. 1 330 morts et plus de 1 000 disparus en Haïti.

# LES ACTIONS DE PREVENTION ET DE SECOURS

Un cyclone est un risque majeur contre lequel l'Homme ne peut que se protéger de manière passive : on ne peut en effet l'empêcher de naître. Les seules mesures possibles relèvent de la protection et de la mitigation. Ces dispositions, à la fois individuelles et collectives, sont destinées à limiter l'impact humain et économique.

La gestion du risque cyclonique repose en grande partie sur la surveillance météorologique et sur une mise en alerte progressive de la population exposée, ainsi que sur les actions d'information sur la conduite à tenir avant, pendant et après le passage du cyclone. Ces dispositions ont permis de faire chuter considérablement le nombre de victimes et l'ampleur des dégâts à déplorer par rapport aux bilans terrifiants des siècles, voire des décennies, antérieurs.

La réduction des bilans humains et économiques passe également par la mise en œuvre de stratégies constructives adaptées et par une maîtrise rigoureuse de l'occupation des sols.

## La prévention

### ■ L'information préventive

La loi du 22 juillet 1987 a instauré le droit des citoyens à une information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis sur tout ou partie du territoire, ainsi que sur les mesures de sauvegarde qui les concernent. Cette partie de la loi a été reprise dans l'article L 125.2 du Code de l'environnement.

Établi sous l'autorité du préfet, le *dossier départemental des risques majeurs (DDRM)* recense à l'échelle d'un département l'ensemble des risques majeurs par commune. Il explique les phénomènes et présente les mesures de sauvegarde. À partir du DDRM, le préfet porte à la connaissance du maire les risques dans la commune, au moyen de cartes au 1 : 25 000 et décrit la nature des risques, les événements historiques, ainsi que les mesures d'État mises en place.

Le maire élabore un *document d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM)*. Ce document présente les mesures de prévention et les mesures spécifiques prises en vertu des pouvoirs de police du maire. Le DICRIM doit être accompagné d'une communication (au moins tous les deux ans si la commune est couverte par un plan de prévention des risques) et d'une campagne d'affichage. Ces deux documents sont disponibles en mairie.

### Empêcher la formation des cyclones ?

Dans un passé assez récent, des tentatives ont été faites afin d'empêcher un cyclone naissant de se développer. Dans les années soixante a notamment pris forme le projet Stormfury, qui n'a pas donné de conclusions déterminantes (projet abandonné en 1971). Le principe était de laisser tomber des particules métalliques d'iodure d'argent (substance constituant un noyau de condensation efficace) à partir d'avions survolant le système en formation, afin de précipiter toutes les gouttelettes d'eau ou de grêle avant que le processus cyclonique ne démarre réellement.

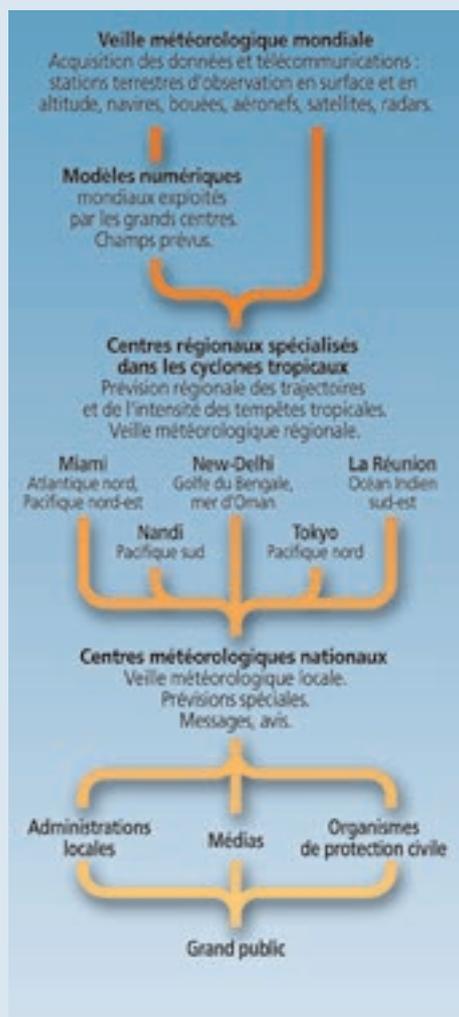
Le **plan de communication** établi par le maire peut comprendre divers supports de communication, ainsi que des plaquettes et des affiches, conformes aux modèles arrêtés par les ministères chargés de l'environnement et de la sécurité civile (arrêté du 27 mai 2003).



Le maire doit apposer ces affiches :

- dans les locaux accueillant plus de 50 personnes ;
- dans les immeubles regroupant plus de 15 logements ;
- dans les terrains de camping ou de stationnement de caravanes regroupant plus de 50 personnes.

Les propriétaires de terrains ou d'immeubles doivent assurer cet affichage (sous contrôle du maire) à l'entrée des locaux ou à raison d'une affiche par 5 000 m<sup>2</sup> de terrain.



L'OMM coordonne à l'échelle mondiale, par le biais de la Veille météorologique mondiale –VMM– la collecte et la diffusion des observations nécessaires aux prévisions.

Le réseau de mesures permettant d'observer à l'échelle de la planète l'état de l'atmosphère, appelé Système mondial d'observation (SMO), s'appuie sur :

- les mesures régulières réalisées à partir de stations météorologiques de surface et à partir de navires ;
- les profils verticaux de vents, température et humidité obtenus à partir de ballons sondes lâchés sur terre et sur mer à heures fixes ;
- les mesures effectuées par les avions commerciaux, ainsi que les reconnaissances aériennes réalisées dans l'œil du cyclone (effectuées par des avions « chasseurs de cyclones » spécialement équipés) ;
- les mesures réalisées en mer par des bouées dérivantes ou fixes (environ 300) ;
- les mesures effectuées par des satellites en orbite polaire.

La prévision fournie dans les messages des CMRS provient de sources diverses. Le prévisionniste compare les différents modèles puis établit une synthèse ou fait son choix parmi les différents scénarios bâtis par ces modèles, à partir de son expérience : c'est l'expertise humaine.

## ■ La surveillance

Comme pour les phénomènes tempétueux des régions tempérées, la prévention cyclonique s'appuie en grande partie sur la surveillance de l'évolution des perturbations atmosphériques (prévision) et sur les dispositifs d'information de la population [voir pages 18 et 19].

Les cyclones sont des phénomènes sous haute surveillance. La coordination de la veille cyclonique est assurée au plan international par l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Celle-ci a désigné dans chaque bassin océanique un *centre météorologique régional spécialisé (CMRS)* : Miami pour l'océan Atlantique nord et Pacifique nord-est ; Tokyo pour l'océan Pacifique nord ; New-Delhi pour le golfe du Bengale et la mer d'Oman ; Fidji pour l'océan Pacifique sud-ouest ; Saint-Denis-de-la-Réunion pour le sud-ouest de l'océan Indien). Ces centres ont pour mission de détecter les phénomènes le plus tôt possible et de prévoir leur trajectoire jusqu'à leur dissipation. Si nécessaire, ils assurent la diffusion de messages à tous les centres météorologiques de la région concernée, afin d'avertir du danger potentiel.

Les données diffusées concernent le comportement des cyclones tropicaux, leurs déplacements et leurs variations d'intensité ainsi que l'importance des marées de tempête et des inondations qu'ils sont susceptibles de provoquer. Ces prévisions permettent alors aux décideurs des zones concernées de déclencher éventuellement les dispositifs d'alerte prévus à cet effet.

*La prévision cyclonique* repose sur la modélisation numérique de l'atmosphère en zone tropicale, la modélisation numérique « perturbée » par un certain nombre d'observations fictives pour prendre en compte de façon réaliste le tourbillon, la climatologie et l'adaptation statistique à partir des prédicteurs fournis par le modèle numérique.

*Un modèle numérique météorologique* est d'abord un ensemble d'hypothèses sur la nature et l'évolution de l'atmosphère [voir page 16]. Ces hypothèses sont traduites en équations mathématiques, puis numérisées pour pouvoir être appliquées aux variables à l'aide d'un ordinateur. Les différentes observations effectuées sur le cyclone sont « rentrées » dans ce programme, capable de donner à la fin du calcul les paramètres relatifs à l'évolution prévisible du phénomène.

## ■ Les autres mesures préventives

Outre la prévision cyclonique et l'information de la population, les autres piliers de la prévention sont la « prise d'assurances » quant à la non-exposition du futur terrain d'assise du projet aux

phénomènes induits par les cyclones [voir page 10] et le respect des normes de construction en vigueur.

### La maîtrise de l'aménagement

Une attention particulière doit être portée sur le choix du terrain d'implantation des nouveaux projets d'urbanisation (dans l'idéal, un diagnostic du risque pesant sur le bâti existant est également souhaitable). Les principes à respecter sont les suivants :

- éviter de construire en bordure du littoral, de façon à s'affranchir du risque lié à la houle cyclonique et à la marée de tempête ;
- ne pas construire dans le lit majeur des cours d'eau (et plus largement dans toute zone inondable) compte tenu des risques de débordements existants pendant et après le passage du cyclone (liés à la pluviométrie souvent importante qui l'accompagne) ;
- éviter les sites dont les caractéristiques topographiques leur confèrent une trop grande exposition aux vents ;
- ne pas construire sur un versant soumis aux instabilités de terrain (de même qu'en tête ou au pied de celui-ci) ;
- ne pas construire sous une ligne électrique haute tension (risque d'électrocution et d'incendie).

Dans les zones exposées aux risques, selon l'article L 562-1 du Code de l'environnement, les constructions sont soit interdites, soit soumises à des conditions de réalisation, d'utilisation ou d'exploitation.

### Les dispositions constructives paracycloniques

L'objectif du génie paracyclonique repose sur un ensemble de principes conceptuels et de dispositions structurelles. Il ne s'agit pas de garantir une résistance totale du bâti contre tout phénomène cyclonique, mais d'améliorer la résistance générale du bâtiment (tout en conciliant l'objectif de climatisation naturelle du bâtiment, objectif incontournable du fait du climat des zones concernées). Ce dernier objectif est relativement simple à mettre en œuvre.

Un bâtiment construit selon les règles paracycloniques pourra subir des désordres structurels plus ou moins importants, mais la vie des occupants ne doit pas être menacée.

Le génie paracyclonique, en cherchant à améliorer la résistance aux vents violents, s'attache notamment à optimiser les paramètres essentiels suivants :

- **la prise au vent** (importance des débords de toitures, géométrie et pente du toit). Pour lutter efficacement contre l'effet « prise au vent » il faut réduire autant que possible la taille de ce qui dépasse des murs porteurs (débord de toiture). Au delà d'une trentaine de centimètres, des techniques particulières sont nécessaires pour

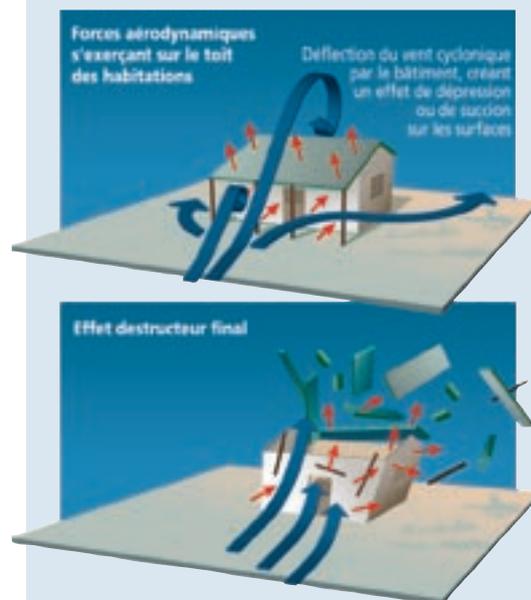
Il existe différents types de **modèles numériques** de trajectoire cyclonique.

- **Les modèles statistiques** (*Clipper, Hurran, Mocana*) : ce type de prévisions repose sur la répétitivité dans l'espace et dans le temps des trajectoires des cyclones tropicaux. C'est le domaine de la climatologie et de l'analogie. On recherche alors, dans la base de données disponible, les cyclones anciens ayant des caractéristiques proches du cyclone étudié, en intensité, position, déplacement, au cours de la même partie de la saison, et on observe quelle fut leur évolution. On attribue alors au cyclone en cours le même type de comportement.

- **Les modèles dynamiques** (*GFDL, LBAR*) : le principe est d'étudier le cyclone dans sa seule réalité météorologique du moment. À partir de son environnement, connu grâce aux différents paramètres analysés (vents, températures, humidité, pression atmosphérique, vitesse verticale, etc.), on cherche un flux directeur issu d'une combinaison des flux analysés et prévus à plusieurs niveaux d'altitude.

- **Les modèles statistico-dynamiques** (*NHC90*) : alliant les avantages des deux types précédents. Il combine la statistique, par analogie aux comportements de cyclones répertoriés dans une base, et l'aspect dynamique, prenant en compte les différents aspects de l'environnement météorologique du cyclone étudié. Il est donc couplé avec un modèle global de prévisions numériques qui, après avoir analysé cet état de l'atmosphère, fournit un état ultérieur, prévu à différentes échéances (généralement +6h à +72h).

### L'effet des vents sur les habitations



Si les dépressions sur le toit dues au vent se conjuguent à une mise en surpression de l'intérieur du logement (impact d'un corps étranger ou ouverture d'une porte ou d'une fenêtre sur la façade au vent), les forces de soulèvement sont fortement augmentées, provoquant ainsi d'importants dégâts.

La pente du toit est l'élément principal de défense des structures de maisons individuelles contre les forces de soulèvement et d'arrachement de la toiture en cas de vent très fort. Un toit à quatre pentes, avec une inclinaison de 30°, est recommandé.



La fermeture des parties au vent et l'ouverture des parties sous le vent permet, durant le cyclone, de créer des dépressions compensatrices sur le profil du bâtiment. Un puits de dépression, ouvert en toiture, constitue une autre application de ce principe.

L'autorité administrative dispose d'un pouvoir discrétionnaire pour prévoir des mesures d'interdiction ou des prescriptions dans des zones non directement exposées aux risques mais où les constructions et aménagements pourraient en créer de nouveaux.

Les règles NV65 ont pour objet de fixer les valeurs des surcharges climatiques (vents notamment) et de donner des méthodes d'évaluation des efforts correspondants sur l'ensemble d'une construction ou sur ses différentes parties. Ces règles ont été modifiées et rééditées en 2000, définissant une nouvelle carte de vitesse des vents pour la France métropolitaine.

Les DOM-TOM exposés aux cyclones sont classés en zone 5 (la plus pénalisante). La classe 5 décrète des normes qui permettent aux infrastructures de résister à des vitesses de vents d'un minimum de 210 km/h et pour un coefficient de site de 1,20 (une construction de 10 mètres de hauteur doit pouvoir résister à des pressions de vent de plus de 250 kg par m<sup>2</sup>). Une norme européenne, Eurocode, devrait prochainement remplacer ces règles.

renforcer le débord et limiter le risque de soulèvement du toit. Dans le cas de la réalisation d'une terrasse couverte, une conception adaptée est indispensable (par exemple non continuité physique entre les toitures de la bâtisse et la terrasse de façon à ce que si cette dernière est emportée, cela ne mette pas en péril la toiture principale). Pour un meilleur compromis entre forces de soulèvement et surpression du versant au vent, la pente du toit doit se situer autour de 30° ;

- **la toiture** : l'emploi de la tôle ondulée comme couverture, courante dans les régions cycloniques, doit nécessairement s'accompagner de certaines précautions : fixation à l'aide de vis et non par des clous, recouvrement suffisant entre les tôles, ancrage des tôles toutes les trois ondes, aux extrémités du toit fixation des tôles sur les planches ou sur le béton des murs porteurs par des vis tous les 50 cm. Pour les toits en tuiles, il est nécessaire de n'utiliser que des tuiles à emboîtement (romanes, mécaniques). Les tuiles des extrémités et de faitage doivent être scellées au mortier ;

- **le renforcement ou la protection des ouvertures** (portes et fenêtres) : quel que soit le type d'ouverture, elle doit impérativement être protégée par un système de volets paracycloniques. À défaut, l'épaisseur du vitrage doit être d'au moins 6 mm. De trop grandes surfaces « ouvertes » sont dans tous les cas à proscrire (même protégées par des volets). En cas d'absence de volet, l'utilisation de panneaux de contreplaqué peut être une solution d'urgence efficace (fixation des panneaux sur un cadre en bois avec des chevrons). Si l'ouverture est plus étroite que haute, les renforts doivent être horizontaux. Si votre baie est plus large que haute, les renforts doivent être verticaux ;

- **le contreventement** correspond à l'agencement des pièces d'une construction, destiné à en assurer la stabilité, à s'opposer à sa déformation due aux efforts horizontaux ou à son renversement. Les contreventements verticaux ne sont pas suffisants. Des contreventements horizontaux doivent également être assurés à l'aide des toitures (charpente bois correctement dimensionnée avec une bonne mise en œuvre – bon choix du bois, bon ancrage de la charpente à la structure, etc) et des planchers. L'ensemble du dispositif de contreventement doit être soigneusement liaisonné. Dans une charpente traditionnelle, le contreventement s'effectue à l'aide de liens placés dans le plan du faitage. Dans les constructions plus importantes, les contreventements deviennent de véritables poutres triangulées en K ou en N placées dans les plans de la toiture ;

- **l'ancrage au sol** ;

- **la liaison murs-charpente.**

À ces mesures structurelles, il convient d'ajouter la nécessité d'éloigner autant que possible la végétation des abords du bâti (ou à défaut élaguer, voire abattre, les arbres trop proches ou fragiles). D'autre part, la construction sur pilotis est vivement déconseillée.

La loi n° 87 565 du 22 juillet 1987 prévoit la mise en place de règles particulières de construction (avec un renforcement des normes à respecter dans les DOM). Il s'agit notamment des règles prenant en compte les risques dus aux vents exceptionnels (intitulées règles neige et vents 1965 – NV65).

## La gestion de crise

La gestion des situations de crise, provoquées par l'approche et le passage d'un cyclone, est préparée par un plan d'urgence. Celui-ci définit un système d'alerte, organise la mobilisation des services de sécurité et établit les responsabilités de chaque intervenant.

Un soin particulier est apporté pour que le système d'alerte et les conseils qui se rattachent à chacune de ses phases soient bien connus de la population.

### ■ Les plans de secours spécialisés Cyclones

La préparation et le déclenchement de ces plans relèvent de l'autorité du préfet. Ils définissent les responsabilités en matière d'observation de phénomènes, de prévision, d'avis, d'actions et déterminent les différentes alertes à diffuser à la population.

Les procédures d'alerte émises par les services préfectoraux sont différentes suivant la zone géographique concernée, mais reposent sur quatre phases : vigilance cyclonique, pré-alerte, alerte, retour à la normale. Le tableau ci-contre en présente les grandes lignes pour les Antilles françaises et pour la Réunion.

### Les phases d'alerte

Phase	Alerte
RÉUNION ET MAYOTTE	<b>Vigilance cyclonique</b> Mise en garde du fait de l' <i>existence d'une perturbation cyclonique</i> évoluant dans la zone. Sorties en mer et longues randonnées déconseillées.
	<b>Alerte orange</b> <i>Danger pour l'île dans les 24 h.</i> Phase diffusée au public par tous les moyens médiatiques. Fermetures des établissements scolaires, crèches, etc.
	<b>Alerte rouge</b> avec préavis de 3. <i>Cyclone affectant l'île ou sa périphérie immédiate dans les heures qui viennent.</i> Arrêt total des activités, mise à l'abri immédiate de l'ensemble de la population ; seuls les véhicules de secours sont autorisés à circuler.
	<b>Fin de menace cyclonique</b> <i>Danger écarté.</i>
MARTINIQUE ET GUADELOUPE	<b>Vigilance cyclonique</b> <i>Danger possible à plus de 36 heures.</i>
	<b>Pré-alerte</b> <i>Danger à moins de 36 heures.</i> Phase diffusée au public par tous les moyens médiatiques.
	<b>Alerte cyclonique</b> <i>Danger dans les 6 à 8 heures.</i> Arrêt total des activités, mise à l'abri immédiate de l'ensemble de la population, activation des postes de commandement des services et des municipalités ; seuls les véhicules de secours sont autorisés à circuler.
	<b>Levée d'alerte</b> <i>Tous les dangers ne sont pas écartés.</i> Phase déclenchée lorsque les services ont déjà engagé les opérations de secours d'urgence. Population autorisée à quitter les abris, mais pas à circuler librement. Respect strict des règles de prudence diffusées. Rafales assez fortes toujours possibles.

### La réponse au risque cyclonique

Phases de la progression de l'événement	Attitude défensive des acteurs		
	Service météorologique	Population	Protection civile
<b>Phase I - Vigilance</b> (cyclone à plus de 1 500 km des côtes)	Probabilités à moyenne échéance (modèles numériques)	Écoute des informations générales sur les médias	Surveillance permanente
<b>Phase II - Pré-alerte</b> (cyclone à moins de 1 000 km)	Prévision numérique et surveillance satellites (toutes les six heures)	Préparatifs (habitation, eau, lumière, environnement)	Préparatifs spécifiques ; vérification des moyens ; coordination
<b>Phase III - Alerte</b> (cyclone à 300 km)	Prévision à très courte échéance (passage du numérique à l'information radar)	Confinement (habitat individuel et collectif)	Décision préfectorale ; mobilisation des moyens ; coordinations pour assistance et secours

*Aux Antilles françaises*, la procédure d'alerte prend la forme d'un *plan spécialisé urgence cyclone (PSUC)*. Les consignes sur les conduites à tenir (dès le début de la saison cyclonique et au cours des différentes phases de l'alerte) sont consultables sur le site internet de la préfecture de la région Guadeloupe :

[http://www.guadeloupe.pref.gouv.fr/index.php?fichier\\_contenu=cyc\\_recom.php](http://www.guadeloupe.pref.gouv.fr/index.php?fichier_contenu=cyc_recom.php)

### ■ Le plan ORSEC

Le plan ORSEC a une vocation générale en matière d'organisation des secours. La mise en œuvre d'un plan d'urgence ne fait pas obstacle au déclenchement du plan ORSEC, si les circonstances le justifient. Le plan ORSEC « cyclone » a pour but de :

- définir les précautions à prendre : interdiction de circuler sur les routes, fermeture des aéroports, suspension du trafic maritime, évacuation des populations, préparation de stocks alimentaires ;
- garantir un minimum de moyens en état de fonctionnement lors du paroxysme du phénomène : émission radio, alimentation électrique de certains secteurs (météorologie, transmission, hôpitaux) ;
- assurer après le passage du phénomène, un retour aussi rapide que possible à la normale, en prenant éventuellement les décisions qui s'imposent pour pallier les conséquences ;
- assurer toutes les phases d'alerte avec information des populations que ce soit par radio, télévision, voiture ou hélicoptère.

## L'indemnisation

*La loi n° 82-600 du 13 juillet 1982* modifiée, relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles (art. L 125-1 à L 125-6 du Code des assurances) a fixé pour objectif d'indemniser les victimes de catastrophes naturelles en se fondant sur le principe de solidarité nationale.

*La loi n° 90-509 du 25 juin 1990*, relative à l'extension du régime de garantie contre les catastrophes naturelles aux départements d'outre-mer et modifiant le Code des assurances, prévoit que les dommages résultant des effets du vent dû aux tempêtes, ouragans ou cyclones, sont écartés du champ d'application du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles. Ils sont obligatoirement couverts par les contrats d'assurance de type classique garantissant les dommages d'incendie ou de perte d'exploitation après incendie. Sur le plan géographique, la loi de 1990 a étendu l'application de la loi de 1982 aux quatre départements d'outre-mer (Martinique, Guadeloupe, Réunion et Guyane) ainsi qu'aux deux collectivités territoriales de Saint-Pierre-et-Miquelon et Mayotte.

Depuis *l'ordonnance n° 2000-352 du 19 avril 2000*, la loi s'applique également au territoire de Wallis-et-Futuna. En revanche, la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie française demeurent hors du champ d'application de la loi de 1982.

*La loi n° 2000-1207 du 13 décembre 2000* d'orientation pour l'outre-mer a cependant réintroduit les cyclones les plus forts (d'une intensité supérieure à 145 km/h en moyenne sur dix minutes ou 215 km/h en rafale) touchant les départements d'outre-mer dans la liste des événements susceptibles de générer des indemnisations « catastrophes naturelles ».

## Références

### Organismes de référence

- Météo-France : <http://www.meteofrance.com>
- Site de Météo-France consacré au phénomène cyclonique : [http://www.meteofrance.com/FR/pedagogie/dossiers\\_thematiques/cyclones\\_tropicaux.jsp](http://www.meteofrance.com/FR/pedagogie/dossiers_thematiques/cyclones_tropicaux.jsp)
- Organisation météorologique mondiale (OMM) : <http://www.wmo.ch/>
- Site du ministère de l'Écologie et du Développement durable (MEDD) sur la prévention des risques majeurs : <http://www.prim.net/>

### Sites internet consultés

- <http://www.meteo.fr/meteoronet/decouvr/dossier/cyclone/cyc.htm>
- <http://www.meteo.gp/cyclones/cyclone.php> (site Météo-France Antilles-Guyane)
- [http://www.guadeloupe.pref.gouv.fr/index.php?fichier\\_contenu=cyc\\_definition.php](http://www.guadeloupe.pref.gouv.fr/index.php?fichier_contenu=cyc_definition.php) (site de la préfecture de la Guadeloupe, présentant un dossier pédagogique sur le phénomène cyclonique, la procédure d'alerte et les consignes à respecter)
- <http://www.brgm.fr/risques/antilles/guad/cpheno.htm>
- <http://www.meteo.nc/temps/cyclones/cycl.php> (site Météo-France Nouvelle-Calédonie)
- <http://www.ouragans.com/> (site donnant des informations sur l'actualité des cyclones, tempêtes tropicales et autres phénomènes)
- [http://www.atl.ec.gc.ca/weather/hurricane/hurricanes\\_f.html](http://www.atl.ec.gc.ca/weather/hurricane/hurricanes_f.html) (site du Centre canadien de prévision des ouragans)
- <http://www.nhc.noaa.gov/> (site du National Hurricane Center de Miami)
- <http://www.usatoday.com/weather/hurricane/whur0.htm> (site du média américain USA Today consacrant un volet pédagogique aux cyclones).

### Bibliographie

Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, DPPR/BICI, 1989, *Procerisq, procédures et réglementations applicables aux risques technologiques et naturels majeurs*.

Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, DPPR/SDPRM/ CARIAM, 2001, *Recueil des textes fondateurs, textes relatifs à la prévention des risques naturels majeurs*, Cellule d'information documentaire sur les risques majeurs, 154 pages.

Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du territoire, direction de la Sécurité civile, 1994, *Organisation-prévention et planification, Services de secours, volume 1 et 2*, Journal officiel de la République française, 934 pages.

J.Y. Le Vourc'h, Claude Fons, Marcel Le Stum, *Météorologie générale et maritime*, 2002, Météo France.

*Le Grand livre des cyclones et ouragans*, 1996, Collection le Grand livre, 116 pages.

David M. Ludlum, René Chaboud, *Photo-guide de la météorologie*, 2001, Delachaux et Nestlé.

Ross Reynolds, *Weather rage*, 2003, Science Spectra.

## Glossaire

**Cellule convective** : il s'agit en météorologie d'une région de l'atmosphère dans laquelle l'air est animé de mouvements « en boucle », se traduisant par la persistance de courants ascendants et de courants descendants. Ces derniers s'entretiennent mutuellement grâce à des échanges d'énergie et d'air limités à la région concernée et à son environnement immédiat.

**Cirrus** : nuage appartenant à l'étage supérieur (aux latitudes tempérées, sa base se situe entre 6 000 et 12 500 m de hauteur avec une épaisseur de l'ordre de 300 m). Il est constitué de bancs, de bandes ou de filaments séparés, blancs le plus souvent, qui revêtent un aspect fibreux ou un éclat soyeux (les deux apparences pouvant se conjuguer). Pas de précipitations associées.

**Cirrostratus** : nuage appartenant à l'étage supérieur (aux latitudes tempérées, sa base se situe entre 4 500 et 12 000 m de hauteur avec une épaisseur de l'ordre de 500 m). Plus étendu que le cirrus, il a la forme d'un voile blanchâtre et transparent, d'aspect fibreux ou lisse, couvrant partiellement ou totalement le ciel et dessinant souvent un halo autour du soleil ou de la lune. Pas de précipitations associées.

**Cumulonimbus** : nuage à fort développement vertical, issu d'un cumulus (nuage de basse altitude – inférieure à 2 000 m – de beau temps), dans lequel de forts courants verticaux provoquent d'importantes turbulences. Souvent caractérisés par une forme en enclume et une base sombre, ils sont alors le signe d'une probable forte aggravation des conditions météorologiques.

**Échelle de Beaufort** : mise au point en 1805 par un amiral de la marine britannique, c'est une échelle de classification des vents de douze degrés, basée sur leur force et sur leurs effets sur l'environnement.

**La force de Coriolis** est la force centrifuge due à la rotation terrestre. Elle s'exerce sur tous les objets en mouvement, y compris l'atmosphère et les océans. Dans l'hémisphère nord, les vents sont déviés vers la droite. Ainsi, entre Tropiques et Équateur, les vents sont déviés vers l'est. C'est dans cette zone que se développent les cyclones tropicaux.

**Rail des dépressions** : l'idée de rail des dépressions est fondée sur la notion de variabilité atmosphérique et couvre avec un seul concept tous les types de temps possibles en Europe. Le long de ce « rail » prennent naissance et évoluent les tempêtes des régions tempérées.



