

Cyclones et tempêtes

ARNAUD BOURDÉ, PEDRO DO MONTE, XAVIER COMBES

« Je suggère, écrivit en 1845 Piddington, de l'observatoire de Calcutta dans son *Sailors Horn Book*, abécédaire destiné aux marins, que nous adoptions pour cette sorte de vents circulaires le terme de cyclone, du grec *kyklos*, qui signifie l'enroulement du serpent ». Avec des noms variables (typhons en mer de Chine, en mer du Japon et dans le Pacifique, ouragans dans l'Atlantique), les cyclones (Figure 26-1) comptent parmi les phénomènes météorologiques les plus dévastateurs, à l'origine de catastrophes socio-économiques majeures malgré l'amélioration des moyens de prévention. Ils peuvent toucher les pays les plus défavorisés, comme les plus développés [1]. En outre, la survenue de tempêtes de plus en plus importantes et de plus en plus fréquentes dans nos pays occidentaux doit nous conduire à adopter une réflexion proche du modèle cyclonique, en termes



Figure 26-1 Le cyclone Dina en 2002 dans l'océan Indien (avec l'aimable autorisation de Météo France).

de prévention et d'organisation des secours. Les tempêtes Klaus en 2009 et Xynthia en 2010 sur les côtes françaises en sont les exemples les plus évidents.

Le phénomène cyclonique [2, 3, 4]

Définition : Il s'agit d'une perturbation atmosphérique se formant sur un océan tropical occasionnant des vents tourbillonnants violents et des pluies diluviennes. Son état de maturité est atteint lorsque ces vents atteignent près du centre un seuil de 118 km/heure, c'est-à-dire la force 12 de l'échelle de Beaufort [1]. Un cyclone se caractérise par :

- une masse nuageuse d'un diamètre moyen de 500 km pouvant aller jusqu'à 1000 km, organisée en bandes spiralées convergentes vers un anneau central, partie très active où les pluies sont les plus intenses et les vents les plus violents ;
- une zone d'accalmie, au cœur de cet anneau, avec un ciel peu nuageux et des vents faibles, plus large en altitude qu'au sol, et dont l'importance est inversement proportionnelle à la violence du cyclone ;
- une muraille nuageuse de 13 000 à 18 000 mètres de hauteur et de 40 000 mètres d'épaisseur moyenne, le mur de l'œil.

Le cyclone est associé à une dépression très importante, avec une pression centrale inférieure à 960 hectopascals (Figure 26-2). La vitesse du vent augmente de la périphérie vers le cœur, pour devenir maximale, à faible distance du centre, dans le mur de l'œil. Les vitesses du vent définissent les critères d'intensité d'un cyclone sur l'échelle de Saffir-Simpson (Tableau 26-1).

Tableau 26-1 Répartition des cyclones sur l'échelle de Saffir-Simpson (d'après [4]).

Catégorie 1	Vents de 118 à 153 km/h (pression dans l'œil du cyclone de plus de 980 hPa)
Catégorie 2	Vents de 154 à 177 km/h (pression de 965 à 980 hPa)
Catégorie 3	Vents de 178 à 209 km/h (pression de 945 à 964 hPa)
Catégorie 4	Vents de 210 à 249 km/h (pression de 920 à 944 hPa)
Catégorie 5	Vents à partir de 250 km/h (pression de moins de 920 hPa)

Cyclogenèse et cyclolyse : Les cyclones mettent en jeu des énergies considérables, permettant d'évacuer le trop plein d'énergie développée par le niveau de température des océans tropicaux. Traditionnellement, ils se forment dans les régions océaniques tropicales lors des étés tropicaux, dans la zone de convergence intertropicale. Cette *cyclogenèse* nécessite trois facteurs : une température supérieure à 26 °C, une dépression initiale, une zone de divergence en haute altitude avec une certaine homogénéité des vents entre les basses et hautes couches d'altitude. Après une phase de développement, ce système est très mobile, pouvant parcourir des milliers de kilomètres. Sa



Figure 26-2 Variation de la pression atmosphérique et du vent dans un cyclone type de l'océan Indien (avec l'aimable autorisation de Météo France).

La vitesse de déplacement est assez lente, de 10 à 25 km/h, avec souvent une trajectoire parabolique. Après un maximum d'intensité, il s'affaiblit et meurt lors de la *cyclolyse* par l'arrivée sur des eaux plus froides, ou lors de sa pénétration sur des terres et de l'apparition d'un flux unidirectionnel d'altitude qui a tendance à le cisailer.

Depuis trois décennies, l'intensité des cyclones semble augmenter à des latitudes toujours plus élevées, au nord comme au sud, dans une « migration globale vers les pôles » de l'ordre de un degré de latitude par décennie. La hausse des émissions mondiales à effet de serre, la diminution de la couche d'ozone stratosphérique et l'augmentation de la pollution atmosphérique par les aérosols expliqueraient ce phénomène, en rapport principalement avec les activités humaines [5].

Les tempêtes sont en générale de dimension moindre que les cyclones. Elles surviennent préférentiellement en hiver alors que les cyclones sont un phénomène estival.

Dangers [2, 3, 4]

Le **vent** est responsable de nombreux dégâts car son énergie est proportionnelle au carré de la vitesse. Il exerce un effet de pousse sur tous les obstacles rencontrés. Un vent de 200 km/h est quatre fois plus destructeur qu'un vent de 100 km/h, un vent de 240 km/h exerce une pression de 300 kg par mètre carré. Les rafales atteignent des pointes supérieures à 50 % de la vitesse moyenne des vents. Le passage de l'œil constitue le moment le plus dangereux, avec une augmentation constante de la vitesse des vents d'une façon presque exponentielle jusqu'au passage du mur, suivie ensuite d'un calme très trompeur, avant une nouvelle reprise de ces vents, de direction opposée. Les objets les plus lourds peuvent être transformés en projectiles, facteurs de

nombreux traumatismes. L'effet combiné du vent et de la baisse rapide de la pression pourrait entraîner l'explosion de certains bâtiments. Les dommages sont nombreux, sur l'habitat (habitats en végétaux de certains pays), sur les installations techniques (réseaux filaires électriques et téléphoniques), sur la distribution d'eau devenant inutilisable et polluée. Les réseaux routiers sont encombrés par les chutes d'arbres, les plantations et les cultures sont dévastées.

La **pluie** n'est pas proportionnelle à l'intensité des cyclones. Certaines tempêtes tropicales modérées peuvent donner plus de pluie qu'un cyclone. Il existe en effet des cyclones dits à vents et des cyclones dits à pluies, fonction de la taille, de la configuration nuageuse, de la trajectoire et de la vitesse de déplacement. Lorsque cette dernière est réduite et que le météore traverse des régions montagneuses, les pluies peuvent être très abondantes, entraînant des inondations et des glissements de terrain. L'île de la Réunion détient ainsi tous les records internationaux de pluviométrie sur des périodes de quelques jours [3].

La **mer** entraîne la submersion des côtes par plusieurs mécanismes :

- la houle cyclonique, avec des vagues pouvant atteindre 15 mètres de haut, se déplaçant à l'avant du cyclone, parfois jusqu'à 1000 km devant, bien avant la dégradation des conditions météorologiques ;
- l'onde de tempête, due à l'effondrement de la pression atmosphérique au centre du cyclone, où l'eau y est aspirée pour former une sorte de dôme ;
- la marée de tempête, surélévation anormale du niveau moyen de la mer, due à la conjugaison de l'onde de tempête, de la marée astronomique et de la force terrestre de Coriolis, précipitant les eaux vers les rivages.

Pathologies rencontrées

Si les conséquences socio-économiques et environnementales sont majeures, avec une estimation de 250 à 300 milliards de dollars par an, les conséquences humaines le sont encore plus. Des milliers de morts par an sont dus à ces phénomènes météorologiques, des dizaines de milliers de personnes sont blessées, restent sans abri ou isolées : de 300 à 500 000 morts lors du cyclone Bhola en 1970 au Bangladesh, 140 000 morts en Birmanie lors de Nargis, près de 2000 victimes lors de Katrina en 2005 dans le golfe du Mexique avec 60 milliards d'euros de dégâts, près de 400 000 personnes déplacées lors de Sandy en 2012 sur la côte est des États-Unis, plus de 10 000 décès lors du passage d'Haiyan en 2013 [6]. Plus récemment, les cyclones Pam sur le Vanuatu en 2015 ou Winston sur les îles Fidji en février 2016 font craindre une amplification de ces phénomènes climatiques avec un impact majeurs sur ces populations déjà fragilisées par la montée du niveau des océans par le réchauffement climatique.

Les conséquences initiales sur l'homme sont essentiellement traumatiques [7, 8]. Leur importance est directement liée au niveau socio-économique du pays, les plus gros dégâts ayant lieu sur les régions côtières des pays les plus pauvres, mal équipées en infrastructures sécurisées. Lors du cyclone

Haiyan, des survivants ont décrit l'arrivée du météore comme un véritable tsunami, noyant des milliers de personnes. Beaucoup de décès sont liées à l'eau, par noyade, par des glissements de terrain ou des coulées de boue. Les villages côtiers du Bangladesh et de Madagascar paient de lourds tributs à ces mécanismes, avec des dizaines de milliers de morts en 1970, 1977 et 1991 [4]. Les polytraumatismes sont en rapport avec le vent, des sujets sont projetés, écrasés par des objets lourds ou lors d'effondrements de maisons. L'envol d'objets contondants ou de simples débris de verre est aussi à l'origine de blessures ou de morts. Les électrocutions et les brûlures par les fils électriques qui traînent au sol sont fréquentes. Enfin des décès surviennent par l'impossibilité de prise en charge adaptée : l'accès des patients est impossible, les structures sanitaires et les hôpitaux peuvent ne plus être fonctionnels ou sont partiellement détruits [4].

Après cette période initiale, les pathologies rencontrées sont majoritairement de nature médicale, différées après le passage du météore [9, 10]. Les maladies diarrhéiques dominent, liées à l'absence ou à la contamination de l'eau par les déchets organiques. Dans les pays tropicaux, le nombre de cas de paludisme augmente, des cas de leptospirose réapparaissent en dehors des pics saisonniers. Il existe enfin un nombre important de syndromes de stress post-traumatiques, avec un effet plus important chez les plus jeunes confrontés à la mort des proches et à la destruction des maisons [11, 12, 13] justifiant l'instauration systématique de programmes de prévention des psychotraumatismes.

Organisation des secours

Si certains pays possèdent des plans de prévention et d'intervention de qualité (États-Unis, Japon, DOM-TOM), d'autres n'en sont pas dotés, ce qui les rend dépendants de l'aide internationale qui n'intervient qu'après un délai aggravant [14].

Pendant le cyclone, cette organisation des secours se heurte à de nombreuses difficultés [4, 14] :

- la sécurité des équipes d'intervention directement en rapport avec les dangers du vent, la chute des arbres et des installations électriques, le débordement des rivières... Les indications d'interventions doivent être extrêmement ciblées et centralisées par les postes de commandement ou de régulation. La « notion de secours impossible » apparaît. Elle n'est pas toujours bien admise dans certains pays dits développés. Les équipes d'intervention, quand elles peuvent intervenir, doivent toujours bénéficier de véhicules sécurisés ;
- l'absence de moyens logistiques d'intervention ou leur débordement par l'afflux de demande de secours ;
- l'activité importante des centres d'appel de secours où les appels sont multipliés pour les demandes d'intervention en rapport avec le cyclone, mais aussi pour les pathologies traditionnelles du quotidien ne trouvant pas de réponse, pathologies pouvant aussi être sources de décès indirectement liés au

météore. Ces centres doivent anticiper leur renforcement humain et technique à l'avance. Les autocommutateurs doivent être sécurisés au maximum, il doit exister des procédures de maintien de fonctionnement pour les systèmes informatiques de gestion des flux d'appels [15] ;

- la saturation des services d'urgence et des hôpitaux ;
- les difficultés des radiocommunications par destruction des relais, des antennes des réseaux cellulaires ou des réseaux traditionnels, pouvant gêner une bonne coordination des secours. Les valises téléphoniques satellitaires sont un outil précieux.

Après le cyclone, une première estimation de l'étendue des zones est indispensable pour évaluer et planifier les besoins. Les moyens hélicoptérés et aériens des armées ou des services de sécurité civile sont indispensables, et le resteront de longues semaines [16]. L'évaluation initiale précise les catégories d'habitation touchées, l'état des voies de circulation et des moyens de communications (ponts, aéroports), la disponibilité et les capacités d'accueil des structures sanitaires et d'hébergement. Les secours médicaux se basent sur les grands concepts de la médecine de catastrophe [17, 18] : direction unique des secours, triage, norias vers les structures sanitaires encore fonctionnelles ou mise en place de structures alternatives. Dans les pays du tiers monde, le maillage des dispensaires traditionnels, quand ils ne sont pas détruits, sert de base à ces premiers secours. Des programmes internationaux d'assistance existent d'ailleurs dans certains de ces pays pour favoriser l'indépendance et l'autonomie initiale de ces dispensaires, dans l'attente de l'arrivée des secours plus lourds [14].

L'eau reste le problème majeur, les circuits de distribution étant pollués ou détruits, avec la nécessité de distribuer des moyens de stérilisation, des citernes ou des bouteilles d'eau minérale dès que cela est possible après le rétablissement des voies de communication.

Très rapidement des indicateurs de veille sanitaire doivent être opérants pour la prévention des épidémies (hépatites, choléra, arboviroses, paludisme, méningites) [9, 10]. Le ravitaillement en nourriture, en abris et en médicaments se fait à partir de points centraux de distribution. La remise en état de tous les circuits d'eau, de téléphone, d'électricité peut prendre plusieurs semaines ou plusieurs mois [13].

Si le nombre initial des victimes est toujours difficile à connaître et varie souvent, le nombre définitif peut rester sans précisions dans certaines zones isolées de certains pays. L'importance de l'aide et des missions internationales d'assistance peut parfois déboucher sur de nouveaux programmes de santé publique et sur la rénovation des structures de santé.

Mesures de prévention

L'Organisation météorologique mondiale, créée sous l'égide des Nations unies en 1951, a mis en place six centres dans le monde pour la recherche,

mais aussi pour la surveillance et la diffusion des alertes cycloniques dans différents bassins cycloniques (Figure 26-3) : Miami (États-Unis) pour le bassin Caraïbes et l'Atlantique Nord, le nord-est du Pacifique et le golfe du Mexique, Honolulu (États-Unis) pour la zone Pacifique Nord, Nandji (Fidji) pour le Pacifique Sud, Saint-Denis de la Réunion (France) pour l'océan Indien, Tokyo (Japon) pour la mer de Chine, New Delhi (Inde) pour le golfe du Bengale.



Figure 26-3 Les bassins cycloniques (avec l'aimable autorisation de Météo France).

Les informations sont recueillies par satellites, radars météorologiques (Figure 26-4), radiosondes, etc.



Figure 26-4 Image radar du cyclone Dina en 2002 au nord de l'île de la Réunion dans l'océan Indien (avec l'aimable autorisation de Météo France).

Des modélisations mathématiques (Figure 26-5) permettent de prévoir de mieux en mieux la vitesse, la direction et l'intensité de ces météores, même si il existe toujours une incertitude finale.



Figure 26-5 Modélisation numérique de la trajectoire du cyclone Gaël dans l'océan indien en 2009 (avec l'aimable autorisation de Météo France).

La maîtrise de l'aménagement et des constructions se développe dans les pays développés avec des normes anti- ou paracycloniques : conception des toits, exposition des façades et des fenêtres, autorisations de construire dans des zones a priori sécurisées. Dans les pays en voie de développement, les constructions sont moins résistantes, souvent en végétaux, particulièrement fragiles.

L'information préventive des populations est essentielle, permettant de développer pour certaines de ces populations fréquemment exposées une vraie culture des cyclones. Chaque année, il convient de rappeler sous différentes formes (dépliants, affiches, voie de presse, spots télévisés, Internet) des messages d'information et de prévention : nécessité de prévoir des réserves d'eau et des bougies, d'élaguer les arbres, de sécuriser fenêtres et portes, etc. Dans les pays plus développés, il existe des plans d'évacuation des populations exposées. La radio joue un rôle essentiel, le transistor à pile étant souvent le seul lien d'information et de communication efficace pour l'annonce du danger [4].

Enfin, les plans de secours spécialisés [4, 14] tentent de déterminer et de définir les mesures individuelles et collectives à prendre avant, pendant et après le passage du météore [19]. Bien que sensiblement différents d'un pays à l'autre, ils identifient cependant toutes les autorités compétentes pour la gestion de crise, proposent des alertes graduées avec la montée en puissance des mesures à prendre, précisent les mesures générales pour les populations, recensent les centres d'accueil et d'hébergement, dressent les listes des personnels et responsables d'astreintes. Dans les départements d'outre-mer en France,

les Agences régionales de santé, les hôpitaux, les SAMU et leurs cellules médicopsychologiques sont intégrées dans ces plans [17]. Une réflexion et une expérience sont en cours dans certains SAMU d'outre-mer pour identifier dans ces plans tous les malades tributaires de soins infirmiers, de technologies médicales électriques ou oxygénodépendants à domicile, afin de procéder à leur sécurisation avant le passage du cyclone.

Pour exemple, le système d'alerte à l'île de la Réunion, un des départements français d'outre-mer les plus exposés, comporte 4 phases, avec à chacune de ces phases des mesures spécifiques :

- la pré-alerte cyclonique qui indique la présence d'une perturbation avec menace potentielle dans les 72 heures ;
- l'alerte orange cyclonique avec un danger potentiel dans les 24 heures ;
- l'alerte rouge cyclonique avec un danger imminent (préavis de 3 heures) ;
- la phase de sauvegarde cyclonique où la vie économique peut reprendre lentement.

Cette hiérarchisation des alertes sert aujourd'hui de modèle à de nombreux autres plans météorologiques dans de nombreux pays : inondations, fortes pluies, orages, risques avalanches...

Conclusion

Catastrophe naturelle majeure, un cyclone se caractérise par l'exposition des populations civiles à de très graves dangers médicaux, psychologiques, sociologiques et économiques. La connaissance par les populations de ces risques encourus et l'élaboration de plans efficaces sont essentielles pour limiter toutes ces conséquences. Si, dans un pays développé, le cyclone est une catastrophe que les assurances et le budget de l'état peuvent malgré tout absorber, c'est l'avenir qui peut être en effet remis en question dans un pays en voie de développement.

Bibliographie

1. Favre R. L'Homme et les catastrophes. Aubervilliers : France-Selection ; 1992.
2. Martin JL, Alibert P. Le grand livre des cyclones et tempêtes tropicales. Sainte-Clotilde (La Réunion) : Orphie ; 2002.
3. Mayoka M. Les cyclones à La Réunion. Saint-André (La Réunion) : Météo-France ; 1998.
4. Bourdé A, Kalifa G, Le Gallo A, Chen chi song L. Cyclones. In : Tazarourte R, dir. Urgences 2005 : Catastrophes naturelles ; 30 mars 2005 ; Paris. p. 3-13.
5. Kossin JP, Emanuel KA, Vecchi GA. The poleward migration of the location of tropical cyclone maximum intensity. *Nature*. 2014 ; 509 : 349-52.
6. Henry M. Les 15 cyclones les plus meurtriers et dévastateurs des 50 dernières années. *Maxisciences* [en ligne] 2013 novembre [consulté le 11/06/2014]. Disponibilité sur internet : http://www.maxisciences.com/cyclone/les-15-cyclones-les-plus-meurtriers-et-devastateurs-des-50-dernieres-annees_art31311.html/

7. Bohonos JJ, Hogan DE. The medical impact of tornadoes in North America. *J Emerg Med.* 1999 ; 17 : 67-73.
8. Stolle LB, Jorgensen B, Hvass I. Hurricane-related orthopedic surgical admissions to an emergency department in December 1999. *Ugeskr Laeger.* 2001 ; 163 : 6916-18.
9. Campanella N. Infectious diseases and natural disaster the effects of Hurricane Mitch over Villanueva municipal area, Nicaragua. *Public Health Rev.* 1999 ; 27 : 311-9.
10. Morgan O. Infectious disease risks from dead bodies following natural disasters. *Rev Panam Salud Publica* 2004 ; 15 : 307-12.
11. Goenjian AK, Molina L, Steinberg AM et al. Posttraumatic stress and perspective reactions among Nicaraguan adolescents after hurricane Mitch. *Am J Psychiatr.* 2001 ; 158 : 788-94.
12. Jones L, Asare JB, El Masri M, Mohanraj A, Sherief H, van Ommeren M. Severe mental disorders in complex emergencies. *The Lancet, Health Policy.* 2009 ; 374 : 654-61.
13. The Philippines : learning lessons from past disasters. *The Lancet.* 2013 ; 382 : 1679.
14. Cranmer H, Biddinger P. Typhoon Haiyan and the Professionalization of Disaster Response. *N Engl J Med.* 2014 ; 370 : 1185-87.
15. Redlener I, Reilly MJ. Lessons from Sandy – Preparing Health Systems for Future Disasters. *N Engl J Med.* 2012 ; 367 : 2269-71.
16. Weddle M, Prado-Monje H. Utilization of military support in the response to hurricane Marilyn : implications for future military-civilian cooperation. *Prehospital Disaster Med.* 1999 ; 14 (2) : 81-6.
17. Djardem Y, Bourdé A, Henrion G et al. Le rôle du Samu de La Réunion dans la gestion des cyclones dans l'océan Indien. *Urgences* 1997 ; 16 : 99-102.
18. Armanet M, Bourdais G, Mercoyrol E et al. La chaîne médicale des secours lors du passage du cyclone Dina sur l'île de La Réunion : Janvier 2002 – Expérience du Samu 974. *Revue SAMU.* 2002 ; 24 : 372-6.
19. Lagadec P. Leçons sanitaires et hospitalières de l'ouragan Katrina. *Gestion des risques, Enjeux hospitaliers.* 2007 ; 6 : 37-9.

