Résumé

Livre sur les technologies vertes

Des solutions pour faire face aux catastrophes climatiques



OMPI

© OMPI, 2025 Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

La licence Creative Commons (CC) ne s’applique pas aux images et au contenu de la présente publication qui n’appartient pas à l’OMPI.

Couverture : Getty Images/Iboter, Bilanol, mack2happy

Référence OMPI RN1080/25-ExSum/FR;
DOI: 10.34667/tind.58954

Résumé

Les catastrophes climatiques ne sont plus des événements rares, elles sont devenues la nouvelle norme. Au cours des deux dernières décennies, plus de 80% des catastrophes enregistrées étaient liées au climat et aux conditions météorologiques extrêmes, les risques liés à l'eau étant à l'origine de près de la moitié des décès dus aux catastrophes. La fréquence de ces événements augmente également. Alors qu'en 1950, l'on dénombrait moins de 50 catastrophes, le monde doit aujourd'hui faire face à entre 300 et 500 catastrophes climatiques chaque année. L'élévation du niveau de la mer, l'urbanisation et les effets des îlots de chaleur aggravent les risques, tandis que les populations vulnérables vivant dans des zones d'établissement informelles, des zones rurales à faibles revenus et des communautés déplacées subissent les conséquences les plus graves.

Les catastrophes pèsent toujours plus lourdement sur les systèmes d'intervention traditionnels, les pertes économiques mondiales dépassant 2 300 milliards de dollars par an si l'on tient compte des coûts sociaux et environnementaux indirects. Pourtant, le financement de la réduction des risques de catastrophe reste limité. Moins de 0,5% des dépenses de développement et seule une infime partie de l'aide humanitaire sont consacrés à la prévention et à la préparation. Des mécanismes mondiaux et régionaux, notamment des obligations-catastrophes, des réserves communes et des financements basés sur des prévisions, voient le jour pour permettre une réponse rapide et anticipée. Néanmoins, la couverture demeure inégale, en particulier dans les pays les moins avancés, les petits États insulaires et les communautés marginalisées.

La technologie joue un rôle central pour combler ces lacunes. Les satellites, l'intelligence artificielle (IA), l'Internet des objets, les drones et les analyses basées sur le nuage améliorent la surveillance des risques, l'alerte précoce et l'évaluation des répercussions, tandis que les réseaux et les applications mobiles améliorent la communication en temps réel avec les populations touchées. L'activité en matière de brevets dans le domaine de la réponse aux catastrophes connaît une croissance rapide, en particulier dans les domaines des drones, de la surveillance basée sur l'IA et des plateformes multifonctionnelles, ce qui témoigne d'une évolution vers des solutions plus rapides, plus intégrées et basées sur les données. Le Cadre de Sendai souligne l'importance de ces technologies dans les domaines de la prévention, de la préparation et de la réponse, en mettant l'accent sur l'accès équitable, le renforcement des capacités et la conception inclusive afin que les progrès technologiques se traduisent en une résilience réelle.

Des solutions de prochaine génération pour faire face à des tempêtes plus violentes et des inondations plus fréquentes

Les cyclones tropicaux, également dénommés ouragans ou typhons, s'intensifient en raison du changement climatique, sous l'effet du réchauffement de la température des océans et de l'augmentation de l'humidité atmosphérique. Si la fréquence des tempêtes peut diminuer, leur gravité augmente, les ouragans majeurs devenant plus destructeurs. Ainsi, l'ouragan Helene (2024) a fait 246 morts aux États-Unis d'Amérique, tandis que le cyclone Freddy (2023) a dévasté le Mozambique et le Malawi. Les changements climatiques ralentissent également la progression des tempêtes, prolongeant les précipitations et les inondations. Au cours des 50 dernières années, les cyclones tropicaux ont été responsables de 38% des décès et des pertes économiques liés aux catastrophes naturelles dans le monde, le relèvement à long terme s'étalant souvent sur plusieurs décennies.

Les inondations, conséquence majeure des tempêtes, sont exacerbées par la fonte des glaciers, l'urbanisation et la médiocrité des infrastructures. Plus de 1,8 milliard de personnes sont exposées à un risque important d'inondation, dont 90% vivent dans des pays à revenu faible et intermédiaire. Les inondations dues au débordement des lacs glaciaires (GLOF) menacent 10 millions de personnes, un risque qui devrait tripler dans les hautes montagnes d'Asie d'ici à 2100. Les inondations endommagent les infrastructures, contaminent les réserves d'eau et perturbent les économies, les bidonvilles urbains se révélant particulièrement vulnérables.

L'amélioration des prévisions météorologiques, grâce aux satellites (tel que CYGNSS de la NASA, Sentinel de l'ESA), à l'IA et aux drones, a permis de réduire les erreurs de suivi des ouragans de 400 milles marins dans les années 1970 à moins de 80 milles aujourd'hui. Mais, si les systèmes d'alerte précoce sauvent des vies, la moitié des pays ne disposent pas d'une couverture adéquate. L'initiative Alerte précoce pour tous des Nations Unies vise à combler cette lacune d'ici à 2027. L'IA améliore les systèmes d'alerte précoce en prédisant les risques en cascade (comme les inondations après une tempête), mais elle se heurte à des difficultés telles que le biais des données et les fausses alertes.

À mesure que les tempêtes et les inondations deviennent plus violentes, il est essentiel d'intégrer des prévisions de pointe, des infrastructures résilientes et des systèmes d'alerte précoce inclusifs. Les innovations telles que l'IA, l'Internet des objets et les solutions naturelles offrent une protection modulable, mais l'accès équitable reste un défi, en particulier dans les régions vulnérables. Les efforts de collaboration sont essentiels pour renforcer la résilience mondiale face à l'escalade des menaces climatiques.

Contrer les glissements de terrain grâce à l'innovation

Les glissements de terrain sont déclenchés par de fortes pluies, des tremblements de terre ou des activités humaines telles que la déforestation. Ils constituent des risques graves et sont à l'origine de décès, de dommages aux infrastructures et de perturbations économiques à long terme. Les changements climatiques exacerbent la fréquence des glissements de terrain, en particulier dans les régions montagneuses et tropicales. Bien qu'ils soient imprévisibles, des technologies de surveillance avancées améliorent la détection et la réaction précoces. Des capteurs au sol et souterrains (inclinomètres, piézomètres et capteurs sismiques) surveillent la stabilité des pentes en temps réel. Les technologies satellitaires et de télédétection SAR/InSAR (suivi des déformations avec une précision millimétrique), LiDAR et le modèle LHASA de la NASA permettent d'établir une cartographie des risques à grande échelle. L'IA et les mégadonnées intègrent des données provenant de multiples sources (drones, Internet des objets, archives historiques) en vue d'une évaluation dynamique des risques. Des drones peuvent être déployés pour effectuer des relevés haute résolution après une catastrophe (par exemple, évaluation de l'effondrement d'un tunnel en Suisse) et cartographier les fissures (par exemple, innovation à Tbilissi). Les technologies de gestion des débris vont des barrières aux pompes à boue et aux excavateurs hydrauliques utilisés pour un nettoyage efficace. Les innovations en matière de stabilisation comprennent la bio-ingénierie utilisant le biogrout (méthode de renforcement des sols) et des solutions d'ingénierie telles que le clouage des sols, le boulonnage des roches et les géotextiles.

La technologie permet de résister à l'intensification des sécheresses

Les sécheresses, qui s'intensifient en raison des changements climatiques, dégénèrent en crises systémiques, menaçant la sécurité alimentaire, l'accès à l'eau et la production d'énergie. La hausse des températures et les précipitations irrégulières épuisent les nappes phréatiques, 40% de l'humanité étant déjà confrontée à une pénurie d'eau. L'agriculture, qui consomme 70% de l'eau douce mondiale, subit des pertes de rendement, tandis que les sécheresses perturbent l'énergie hydraulique et amplifient les risques sanitaires tels que le choléra (FAO, 2025 ; OMS, 2024a). Des technologies innovantes offrent des solutions : des satellites (GRACE, InSAR) et l'IA surveillent les nappes phréatiques en temps réel; les cultures modifiées par la technologie CRISPR (par exemple, le blé HB4 résistant à la sécheresse) et l'agriculture de précision (capteurs de l'Internet des objets, drones) optimisent l'utilisation de l'eau. La collecte de l'eau

atmosphérique, des capteurs de brouillard aux réseaux métalloorganiques (RMO), permet d'extraire l'humidité de l'air, tandis que les barrages de sable et la recharge contrôlée des aquifères permettent de restaurer les eaux souterraines. Les systèmes énergétiques s'adaptent, avec des panneaux solaires flottants destinés à compenser les pertes d'énergie hydraulique et des réseaux intelligents pour réduire la production dépendante de l'eau. Le recyclage des eaux usées (par exemple, le système zéro rejet liquide) permet de récupérer plus de 95% de l'eau industrielle.

Pourtant, des obstacles persistent, en particulier pour les petits agriculteurs et les régions vulnérables. Des initiatives telles que le Centre-Réseau des technologies climatiques des Nations Unies (CRTC), qui diffuse des prévisions de sécheresse via WhatsApp à Saint-Kitts, prouvent qu'il existe des modèles modulables. Pour combler les lacunes, il convient de coordonner les politiques et d'investir afin de déployer ces outils de manière équitable. Sans action, les sécheresses pourraient coûter 5% du PIB mondial d'ici à 2050, mais grâce à l'adoption stratégique de technologies, les sociétés peuvent renforcer leur résilience face aux menaces croissantes d'aridification.

Les incendies de forêt s'aggravent, alors que des technologies de pointe permettent de les prévenir, de les prévoir et de s'en protéger

Phénomènes autrefois saisonniers, les incendies de forêt sont désormais des crises qui durent toute l'année, sous l'effet de la hausse des températures, des sécheresses prolongées et des changements dans la configuration des vents. Ils menacent désormais les écosystèmes, les communautés et les économies du monde entier, avec des incendies d'une ampleur record – comme ceux de 2023 au Canada, responsables de 27% de la perte mondiale de couverture forestière – devenant la norme. L'interface entre les zones sauvages et les zones urbaines est particulièrement vulnérable, car l'étalement urbain croise une végétation inflammable, transformant les incendies de forêt en catastrophes urbaines lorsque les braises enflamment des maisons éloignées du front de l'incendie. Pour aggraver le problème, les défaillances des lignes électriques et des réseaux provoquent de plus en plus d'incendies, comme on a pu le voir en Californie, où les infrastructures électriques sont à l'origine de 19% des surfaces brûlées ces dernières années.

La technologie révolutionne la gestion des incendies de forêt, de leur détection précoce à leur extinction et à la remise en état des zones sinistrées. Les réseaux satellitaires (par exemple, FIRMS de la NASA, Sentinel de l'ESA) associés à l'IA analysent les données en temps réel pour détecter les incendies en quelques minutes, tandis que les drones et les caméras thermiques cartographient les points névralgiques à travers la fumée et l'obscurité. Des innovations telles que les minisatellites et les caméras à 360 degrés permettent une réaction rapide, tandis que des outils de modélisation avancés (tels que FARSITE et les jumeaux numériques) prédisent le comportement du feu avec une précision sans précédent. La lutte aérienne contre les incendies a également progressé, avec des drones effectuant des opérations nocturnes et des robots épandant des retardateurs afin de réduire les risques pour les équipes humaines. Au sol, des matériaux résistants au feu (par exemple, le béton de chanvre, des revêtements intumescents) protègent les habitations, tandis que les brûlages dirigés et l'éclaircie mécanique atténuent les risques à venir.

Néanmoins, des difficultés persistent. Les modèles traditionnels de gestion des incendies peinent à faire face aux phénomènes extrêmes liés au climat et les retardateurs nuisent souvent aux écosystèmes. Les nouvelles solutions telles que les agents extincteurs biodégradables et la prévision des incendies de tourbières à l'aide de l'IA en Indonésie mettent en évidence la nécessité d'une innovation durable. Les outils locaux, tels que l'application Watch Duty, qui a surpassé les alertes gouvernementales lors des incendies de 2025 en Californie, mettent en lumière la force des technologies communautaires. À mesure que les incendies de forêt deviennent plus imprévisibles, l'intégration de réseaux de satellites mondiaux, de modèles d'IA adaptatifs et de cadres politiques équitables sera essentielle pour protéger les vies, les écosystèmes et les économies à l'avenir.

Le paradoxe du froid extrême dans un monde en réchauffement

Alors que les températures mondiales augmentent, les épisodes de froid extrême restent des menaces mortelles, exacerbées par les perturbations climatiques des systèmes atmosphériques tels que le vortex polaire. Lorsqu'il s'affaiblit, ce vortex permet à l'air arctique de se répandre dans les latitudes moyennes, provoquant de violentes vagues de froid dans des régions comme l'Amérique du Nord. Bien que moins fréquents, ces épisodes deviennent plus imprévisibles et dangereux, aggravés par le vieillissement des infrastructures et une préparation insuffisante. Les décès liés au froid, dus au stress cardiovasculaire, à l'hypothermie et aux maladies respiratoires, dépassent de loin les décès liés à la chaleur et sont, chaque année, entre quatre et neuf fois plus nombreux que ces derniers dans le monde. Les populations vulnérables, notamment les sans-abri, les personnes âgées et les ménages en situation de précarité énergétique, sont exposées à des risques accrus, en particulier en cas de crise des coûts de l'énergie comme lors de la flambée inflationniste des prix en Europe en 2022.

Les principales technologies de résistance au froid visent à renforcer le réseau énergétique grâce à des centrales électriques adaptées à l'hiver, des pipelines isolés et des réseaux intelligents dotés de systèmes d'analyses prédictives afin d'éviter les pannes comme celle qui a frappé le Texas en 2021. L'innovation dans le domaine de la construction se concentre sur l'isolation à fort coefficient R (par exemple, les murs à double ossature, les fenêtres à quadruple vitrage), les toits chauffants et les abris imprimés en 3D comme les maisons à 4 000 dollars É.-U. d'Icon. Parmi les solutions communautaires, l'on peut citer les chasse-neige guidés par GPS, le chauffage urbain à très basse température et des chauffages à combustible portables pour les urgences (capacité de résistance à -45 °C). La gestion des avalanches fait appel à des systèmes déclenchés à distance et la surveillance par l'IA de la neige accumulée permet d'atténuer les risques dans les régions montagneuses.

L'intensification des chaleurs extrêmes

Les vagues de chaleur sont des "tueurs silencieux", responsables de plus de 35 000 décès en Europe (2003) et d'épisodes record en 2024-2025. Les îlots de chaleur urbains amplifient les dangers, avec des villes comme Phœnix, en Arizona, qui atteignent des températures supérieures de 10 °C à celles des régions avoisinantes. Entre fin mai 2024 et juin 2024, une grave vague de chaleur dans le sud du Pakistan a fait plus de 568 morts, les températures ayant atteint 45 à 49 °C dans de nombreuses régions. Le stress dû à la chaleur met également en danger les travailleurs, les 4 200 décès liés à la chaleur sur le lieu de travail en 2020 touchant de manière disproportionnée les pays à faible revenu. Pour favoriser le refroidissement urbain, il existe des "toits réfléchissants", des systèmes de brumisation (permettant une réduction de la température de jusqu'à 10 °C) et des villes-éponges comme le quartier de Praterstern de Vienne, qui combine des espaces verts et un système intelligent de rafraîchissement par brumisation. Les technologies de protection des travailleurs évoluent rapidement, avec des dispositifs portables tels que des capteurs d'hydratation et des algorithmes de température corporelle de qualité militaire adaptés à la construction et à l'agriculture. En matière d'alerte précoce, les plateformes fondées sur l'IA (par exemple, le projet HEAT-SHIELD en Europe) combinent les prévisions météorologiques et les données sanitaires pour déclencher des alertes et activer les centres de rafraîchissement. Des solutions moins technologiques peuvent s'avérer étonnamment efficaces, comme le programme de toits réfléchissants d'Ahmedabad et le Cartuja Qanat de Séville, qui fait revivre d'anciennes techniques de refroidissement par galeries souterraines.

La logistique des interventions en cas de catastrophe se transforme sous l'effet d'un ensemble diversifié de technologies

Les catastrophes entraînent chaque année le déplacement de millions de personnes et mettent à rude épreuve les systèmes d'intervention traditionnels. Pour la seule année 2024, 45 millions de personnes ont dû être déplacées en raison de catastrophes, les tempêtes et les inondations étant à l'origine de plus de la moitié de ces déplacements. L'ampleur de ces crises exige des solutions innovantes pour acheminer l'aide plus rapidement, coordonner efficacement les efforts et donner les moyens d'agir aux communautés touchées. Des prévisions basées sur l'IA aux chaînes d'approvisionnement reposant sur la chaîne de blocs, les nouvelles technologies

transforment la logistique des catastrophes, rendant les interventions plus efficaces, transparentes et résilientes.

Lorsqu'une catastrophe survient, la priorité immédiate est de mettre en place des capacités opérationnelles dans la zone sinistrée. Les abris imprimés en 3D offrent des solutions de logement durables et évolutives. Des unités médicales mobiles, souvent installées dans des conteneurs de transport reconvertis, dispensent des soins de santé d'urgence, tandis que des abris gonflables peuvent être déployés en quelques minutes pour servir de centres de triage ou de commandement. L'indépendance énergétique est essentielle : les nanoréseaux fournissent de l'énergie renouvelable en moins de 15 minutes, ce qui permet d'alimenter les hôpitaux de campagne et les centres de communication. Pour acheminer l'aide jusqu'au dernier kilomètre dans les zones inaccessibles, des véhicules amphibies tels que les SHERP du PAM circulent sur les routes inondées, réduisant les coûts de transport de 75% par rapport aux ponts aériens.

L'efficacité des interventions en cas de catastrophe dépend de la communication. Si 5,5 milliards de personnes sont connectées à Internet, des disparités persistent : 2,6 milliards n'ont pas accès à Internet, souvent dans des régions sujettes aux catastrophes. Des solutions telles que les réseaux maillés (utilisés après le typhon Haiyan) et les systèmes satellitaires rétablissent la connectivité lorsque les infrastructures traditionnelles sont défaillantes. Des plateformes basées sur l'IA telles que SKAI (développée par le PAM en collaboration avec Google) analysent les images satellites pour cartographier les dégâts en temps réel, tandis que des robots conversationnels et des mécanismes de retour d'information usuels permettent une communication bidirectionnelle entre les intervenants et les survivants. À Cox's Bazar, au Bangladesh, INSTANT, un portail de prévisions, envoie des alertes précoces aux réfugiés rohingyas par SMS, déclenchant des évacuations préventives.

Les pertes économiques liées aux catastrophes ont des répercussions disproportionnées sur les pays à faible revenu, la sécheresse coûtant à certains pays 2% de leur PIB annuel. Les innovations financières comblent les lacunes :

- Transferts d'argent numériques : les plateformes de services monétaires mobiles telles que bKash au Bangladesh permettent le versement instantané de l'aide. Avant l'arrivée du cyclone Remal, le PAM a pu envoyer 43 dollars É.-U. à 30 000 familles via des portefeuilles mobiles, leur permettant ainsi de se préparer en amont.
- Assurance paramétrique : des programmes tels que l'African Risk Capacity (ARC) utilisent des données satellitaires pour déclencher des versements automatiques. En 2024, le Zimbabwe a ainsi reçu 16,8 millions de dollars É.-U. quelques jours après la déclaration d'une sécheresse.
- Chaîne de blocs et données biométriques : l'assurance indicielle météorologique fondée sur la chaîne de blocs d'Igloo indemnise automatiquement les producteurs de café au Vietnam lorsque les seuils de précipitations sont dépassés. Les distributeurs automatiques biométriques (par exemple, GrainATM en Inde) empêchent la fraude dans la distribution de l'aide.

Des technologies telles que la chaîne de blocs et les capteurs de l'Internet des objets améliorent la transparence au sein de la chaîne d'approvisionnement humanitaire, tandis que des drones (comme Zipline au Rwanda) livrent des fournitures médicales dans des zones reculées en quelques minutes. L'IA optimise la gestion des stocks, en prédisant les pics de demande et en permettant le prépositionnement de l'approvisionnement. Durant l'ouragan Harvey, l'analyse des mégadonnées a permis de rediriger les expéditions et de contourner les autoroutes inondées.

Malgré les progrès accomplis, des obstacles subsistent en matière d'équité, d'adaptabilité et d'interopérabilité. Les systèmes d'identification biométrique, s'ils réduisent la fraude, soulèvent des questions de confidentialité et peuvent exclure les personnes sans papiers. L'impression 3D et la livraison par drone sont limitées en raison des coûts et des lacunes en matière d'infrastructures dans les environnements à faibles ressources. Les systèmes de données cloisonnées entravent la coordination; les plateformes en libre accès sont essentielles pour la normalisation. La technologie révolutionne la logistique en cas de catastrophe en accélérant les interventions, en réduisant les coûts et en sauvant des vies. Cependant, l'exploitation de son plein potentiel dépend d'une conception inclusive, du renforcement des capacités locales et d'une collaboration mondiale.

Messages clés

Le changement climatique intensifie les catastrophes partout dans le monde, n'épargnant personne

Les changements climatiques entraînent des catastrophes plus fréquentes et plus graves : tempêtes, inondations, incendies de forêt, sécheresses et glissements de terrain touchent des milliards de personnes, perturbant les infrastructures, les économies et les moyens de subsistance. Les catastrophes frappent indépendamment de la géographie ou de la richesse. Pour la seule année 2024, 45 millions de personnes ont dû être déplacées en raison de catastrophes, les tempêtes et les inondations étant à l'origine de plus de la moitié de ces déplacements. Les risques liés à l'eau sont responsables de la moitié de toutes les catastrophes et de 45% des décès causés par celles-ci au cours des cinq dernières décennies. Les sécheresses touchent désormais plus de 1,5 milliard de personnes, tandis que les incendies de forêt brûlent des zones de plus en plus vastes, menaçant aussi bien les écosystèmes que les communautés urbaines. L'ampleur et la fréquence de ces événements mettent à rude épreuve les infrastructures, les systèmes de santé et les économies et démontrent que les catastrophes climatiques n'épargnent personne et pèsent de manière disproportionnée sur les plus vulnérables.

Des technologies permettent déjà de se préparer aux catastrophes et d'y répondre

Des technologies qui aident les populations touchées à se préparer et à réagir aux catastrophes existent déjà, sont utilisées et évoluent rapidement. Les catastrophes sont mondiales, tout comme la disponibilité de solutions à faible contenu technologique et d'outils de pointe sophistiqués indispensables. Mais toutes les régions ne disposent pas des mêmes moyens. Les organisations de secours ont une grande expérience de l'aide aux communautés isolées et marginalisées et tirent de plus en plus parti de l'utilisation de solutions innovantes dans diverses régions géographiques et pour différents types de catastrophes. L'intelligence artificielle (IA) est un catalyseur majeur qui accroît rapidement l'éventail des capacités dans le paysage technologique. Les brevets internationaux témoignent également d'une forte activité d'innovation, en particulier dans le domaine des outils universels tels que les drones, l'IA, l'apprentissage automatique et les systèmes d'alerte précoce, mais aussi de plus en plus dans celui des technologies spécifiques conçues pour la prévention, la prévision et la réponse aux incendies de forêt. Les nouvelles technologies, qui vont des prévisions fondées sur l'IA, de la surveillance par satellite, des drones et des capteurs de l'Internet des objets aux infrastructures résilientes, aux systèmes d'alerte précoce et aux plateformes logistiques numériques, transforment la manière dont les sociétés anticipent ces crises, y répondent et s'en remettent. Un déploiement équitable et une conception inclusive sont essentiels pour garantir que les communautés vulnérables en bénéficient et pour renforcer la résilience mondiale.

L'innovation donne des résultats et réduit le coût de la préparation aux catastrophes et de la réduction des risques

L'investissement dans la préparation aux catastrophes et dans la réduction des risques est bien plus rentable que de réagir à des crises une fois que celles-ci se sont produites. Pourtant, le financement mondial de la prévention demeure extrêmement faible. Avec plus de 300 millions de personnes qui ont besoin d'une assistance humanitaire chaque année et des financements qui répondent à moins de la moitié des besoins, un financement par stratification des risques et une action précoce sont essentiels. Des mécanismes préétablis, tels que des assurances et des fonds d'urgence pour un financement fondé sur des prévisions, peuvent accélérer les interventions et réduire les pertes, en particulier dans les pays vulnérables où l'accès reste limité. Le Cadre de Sendai souligne le rôle central de la technologie dans toutes les phases d'une catastrophe, encourageant les systèmes d'alerte précoce, la surveillance des risques, les outils géospatiaux et les communications résilientes qui permettent aux gouvernements d'anticiper, d'atténuer et d'intervenir plus efficacement. Il est essentiel d'étendre la couverture, en particulier dans les pays les moins avancés et les petits États insulaires, afin de garantir une préparation et une réponse opportunes, coordonnées et équitables aux catastrophes dans le monde entier. Au-delà de l'efficacité, la préparation et la réponse aux catastrophes constituent un impératif moral : aucune communauté ne doit être laissée pour compte en cas de catastrophes climatiques.

L'écosystème de l'innovation, un catalyseur technologique

Comme l'ont souligné les trois éditions précédentes du *Livre sur les technologies vertes*, l'innovation et la technologie apportent certaines solutions, mais pas toutes, aux changements climatiques et, par extension, aux effets des catastrophes d'origine climatique. Ces solutions émergent d'écosystèmes de l'innovation solides et de processus de transfert de technologie efficaces, passant des laboratoires aux marchés nationaux et étrangers, puis au-delà des frontières, que ce soit du sud au sud, du nord au sud ou du sud au nord. Ces écosystèmes s'appuient sur des fondements sociétaux plus larges, notamment l'éducation, la finance, le droit et les systèmes d'information, le cadre international de la propriété intellectuelle jouant un rôle clé. Il est essentiel de veiller à ce que ces fondements soient équitables et efficaces pour favoriser un écosystème d'innovation dynamique et permettre le transfert de technologie. Le respect de systèmes de propriété intellectuelle efficaces, en particulier, est à la base de la propagation réussie des solutions.

La technologie offre aux intervenants une visibilité en temps réel et une capacité de prévision

Les technologies telles que l'IA, les jumeaux numériques, les capteurs de l'Internet des objets et les systèmes satellitaires donnent aux intervenants les moyens d'anticiper les inondations avant qu'elles ne rompent les digues, de cartographier les risques de chaleur quartier par quartier ou de prépositionner les secours avant l'arrivée d'un cyclone. Cela permet de sauver des vies, de réduire les délais d'intervention et d'utiliser plus efficacement les ressources. La connaissance de la situation en temps réel s'améliore grâce aux capteurs de l'Internet des objets qui suivent le niveau et la température des rivières ou les stocks de fournitures en temps réel, et aux drones et satellites qui offrent une visibilité dans des endroits inaccessibles en toute sécurité pour les humains. Cela facilite la prise de décision et, grâce à l'analyse prédictive de la chaîne d'approvisionnement, garantit que la nourriture, les médicaments et les abris arrivent au bon endroit au bon moment. Au lieu de réagir de manière fragmentée et tardive, les responsables de la gestion des catastrophes peuvent prendre des décisions de manière anticipée, fondées sur des données, qui réduisent l'incertitude, limitent les pertes et sauvent davantage de vies.

La réponse aux catastrophes associe technologie, connaissances locales et solutions fondées sur la nature

Une réponse efficace aux catastrophes nécessite de combiner des technologies de pointe et des approches pragmatiques ancrées localement. Dans les cas de catastrophes liées à l'eau, les réponses évoluent, passant des sacs de sable et des fossés de drainage réactionnels à une résilience numérique et physique intégrée. Les moyens de protection traditionnels tels que les digues et les murs de protection peuvent être complétés par des systèmes intelligents, adaptatifs et fondés sur la nature. Les technologies telles que les modélisations d'inondation par IA, les satellites et les algorithmes d'assurance sont plus efficaces lorsqu'elles sont associées à des outils à faible contenu technologique et à des mesures prises au niveau communautaire. Les innovations combinent de plus en plus d'éléments (drones avec capteurs au sol, financement participatif avec observations des citoyens et analyses avec pratiques traditionnelles) afin de créer des solutions holistiques. La résilience climatique s'accroît lorsque les secteurs abolissent les frontières, comme dans le cas des assurances par satellite reliées à des smartphones pour les agriculteurs, des cultures résistantes à la sécheresse accessibles aux petits exploitants, des collecteurs de brouillard dans les zones d'établissement informelles ou des logements résistants aux inondations pour les communautés vulnérables. La logistique des catastrophes évolue, passant d'une aide cloisonnée à des plateformes interopérables qui intègrent des alertes multirisques, des financements inclusifs et des données en temps réel. Les systèmes descendants, tels que l'Emergency Communications Cluster (ETC, Groupe des télécommunications d'urgence) de l'Organisation des Nations Unies (ONU), normalisent les réponses mondiales, tandis que les efforts déployés localement, tels que les alertes d'urgence, sont essentiels sur le terrain. Un équilibre entre la coordination centralisée et l'action localisée garantit des interventions rapides, efficaces et équitables.

L'anticipation remplace désormais la réactivité

Les technologies de communication utilisées dans le cadre d'interventions en cas de catastrophes permettent de passer d'une logistique réactive et fragmentée après la catastrophe à des systèmes anticipatifs. Les prévisions améliorées par l'IA et les jumeaux numériques simulent les inondations, les vagues de chaleur et les chocs subis par la chaîne d'approvisionnement avant qu'ils ne se produisent. Les systèmes d'alerte précoce permettent aux autorités d'agir plusieurs jours à l'avance. La tendance transversale ne se limite pas à la numérisation, mais consiste plutôt en une fusion de la mobilité physique (drones, véhicules, abris) et de l'intelligence numérique (IA, données, communications). L'IA et les analyses prédictives transforment le financement des catastrophes et la réponse à celles-ci en favorisant la préparation de l'aide bien avant que la catastrophe ne frappe. Par exemple, GiveDirectly a utilisé Google AI pour fournir une aide financière ciblée avant la catastrophe afin de secourir les victimes d'ouragans. Les prévisions d'inondations au Nigeria et au Mozambique déclenchent le versement anticipé d'indemnités d'assurance, tandis que l'assurance paramétrique peut verser des fonds en amont des sécheresses. Les technologies prépositionnées telles que Mobile Makerspace de Field Ready facilitent les réparations locales pendant les inondations. L'IA, combinée aux données satellitaires, permet la mise en place d'une aide préventive et souple et fait passer la gestion des catastrophes d'un mode réactif à un mode anticipatif. Sous l'impulsion notamment du Cadre de Sendai, on a assisté à un changement délibéré d'orientation, passant de la reconstruction à la préparation, ce qui a également favorisé les progrès technologiques. L'accent a ainsi été mis sur les systèmes d'alerte précoce, les jumeaux numériques, l'amélioration des satellites et des systèmes radars, ainsi que sur d'autres avancées.

L'information, une aide précieuse

La technologie est essentielle pour la communication et la coordination en cas de catastrophe. Les outils numériques ne sont pas seulement un appui : ils constituent l'infrastructure centrale des interventions modernes en cas de catastrophe. Aucune technologie ne suffit à elle seule; des systèmes modulables à plusieurs niveaux doivent fonctionner, même en situation de stress. Une communication fiable sauve des vies. Elle nécessite des réseaux décentralisés et redondants : le haut débit mobile, les réseaux de prochaine génération (RPG), les anciens systèmes GSM (2G), les satellites, les radios et les réseaux maillés ont tous un rôle essentiel à

jouer. Les applications mobiles, les robots conversationnels (chatbots) et les systèmes d'alerte permettent de tenir les communautés informées. Les systèmes d'alerte précoce dépendent de canaux robustes, combinant médias modernes et traditionnels. L'IA et les technologies de l'information et de la communication (TIC) améliorent les prévisions, mais les messages doivent être clairs, adaptés à chaque communauté et bidirectionnels. Une coordination sans faille entre les organismes, étayée par des réseaux interopérables fondés sur la propriété intellectuelle et des normes communes, garantit une réponse unifiée aux catastrophes.

La technologie transforme le financement des catastrophes

Le financement des catastrophes ne se limite plus à l'aide apportée après l'événement. Il s'agit désormais de créer une résilience systémique avant que la catastrophe ne frappe. Les assurances, les transferts de fonds et l'aide anticipée sont désormais considérés comme des stratégies essentielles pour réduire les risques de catastrophe. Les assurances paramétriques et indicielles, les modélisations des risques fondées sur l'IA et les obligations-catastrophes automatisent les paiements, réduisent la fraude et élargissent la couverture. L'aide financière numérique ainsi que sous forme de bons, rendue possible grâce aux plateformes de paiement mobile telles que M-Pesa et bKash, permet d'acheminer l'aide rapidement et de manière transparente, même dans les zones où les infrastructures sont insuffisantes. L'analyse prédictive permet d'effectuer des versements avant la catastrophe, ce qui améliore la préparation. Ces technologies modifient la répartition des risques et des effets et contribuent à mieux servir les personnes non assurées.

Le déploiement efficace des technologies d'intervention en cas de catastrophe nécessite une collaboration entre les secteurs public et privé

Une technologie efficace en matière de catastrophes et d'aide humanitaire nécessite une collaboration étroite entre les secteurs public et privé. Par exemple, la résilience face aux inondations dépend de la coordination entre les scientifiques, les ingénieurs, les gouvernements locaux, les communautés, les fournisseurs de technologies et les assureurs. Les prévisions d'inondations combinent les données satellitaires (NASA), les capteurs au sol (services publics) et les alertes d'évacuation (télécommunications). Le partage rapide des données entre les satellites, les drones et les observateurs citoyens est essentiel, les capteurs de l'Internet des objets et les observations participatives fournissant des informations cruciales sur le terrain. Les catastrophes évoluent rapidement et nécessitent un partage instantané des données entre les satellites, les drones et les observateurs communautaires. Le Programme alimentaire mondial (PAM), la Fédération internationale des sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge (IFRC) et de jeunes entreprises développent conjointement des technologies de communication évolutives, démontrant ainsi que les écosystèmes multiacteurs sont essentiels. Certaines technologies adaptent des outils de qualité militaire et combinent l'IA à des systèmes physiques afin de permettre une réponse plus rapide et plus intelligente.

Les technologies liées aux catastrophes sont très performantes, mais comportent des défis

Les technologies recèlent un potentiel transformateur pour la préparation et la réponse aux catastrophes. Mais elles doivent être déployées en accordant une attention toute particulière à la protection des données, aux biais, à l'inclusivité et à la responsabilité. Dans les interventions en cas de catastrophe, l'IA et les outils numériques offrent des analyses en temps réel et une coordination prédictive. Cependant, elles présentent des défis majeurs : qualité des données, biais algorithmiques, manque de transparence et risques liés à la confidentialité des données. Les systèmes d'identification biométrique peuvent réduire la fraude et améliorer l'efficacité. Cependant, ils risquent également d'exclure les personnes sans papiers ou de permettre une surveillance qui peut être utilisée dans d'autres contextes non liés aux catastrophes. Les systèmes fondés sur l'IA nécessitent également un examen minutieux. Les évaluations des dommages par satellites, par exemple, peuvent involontairement négliger des zones d'établissement informelles si elles ne sont pas correctement validées. Sans

cette responsabilisation, la technologie peut renforcer les inégalités existantes et même laisser de côté des groupes et des individus déjà marginalisés. Les technologies liées aux incendies de forêt, en particulier, révèlent des divisions sociétales plus profondes. Alors que les communautés plus riches peuvent se permettre des habitations ignifuges, des outils de modélisation de pointe et même des services privés de lutte contre les incendies, les groupes à faibles revenus et marginalisés peuvent dépendre de systèmes obsolètes ou inaccessibles. Cela crée un "fossé de protection", dû non à des capacités techniques, mais à des priorités et des déséquilibres sociaux et économiques. Par ailleurs, les technologies doivent trouver un équilibre entre la lutte contre les incendies et la sagesse écologique, intégrer les connaissances autochtones pertinentes et garantir un accès équitable aux rénovations et aux solutions à faible coût.

Les technologies liées aux risques et aux interventions en cas de catastrophe sont plus efficaces lorsqu'elles sont inclusives

Si la technologie a révolutionné la préparation aux catastrophes climatiques, ses avantages restent inégalement répartis. Pour éviter d'aggraver la "fracture climatique", il faut désormais se concentrer sur la démocratisation de l'accès à ces innovations. Les régions vulnérables, notamment les pays les moins avancés et les petits États insulaires en développement, sont les plus exposées aux risques, mais disposent des ressources les plus limitées. Par exemple, seuls 50% des pays disposent d'un système d'alerte précoce multirisque. Dans ce contexte, la technologie peut devenir une arme à double tranchant. Si les alertes mobiles générées par des capteurs de l'Internet des objets et l'IA peuvent améliorer la portée et la rapidité, des obstacles tels que le coût, la culture numérique et les biais algorithmiques peuvent marginaliser davantage les communautés à risque. Les outils gratuits, tels que les applications météorologiques gratuites, les modélisations climatiques en libre accès et les plateformes partagées de cartographie des risques, peuvent donner aux acteurs locaux les moyens d'anticiper, de se préparer et de réagir aux risques. L'accès public à la modélisation des catastrophes, aux données météorologiques et aux cartes des risques est fondamental pour l'innovation, mais seulement si cet accès inclut les communautés les plus vulnérables. Il est essentiel que les données qui sous-tendent ces multiples systèmes d'alerte soient fiables et d'excellente qualité. Cela nécessite souvent une coordination et une assurance qualité faisant autorité, en particulier pour les données provenant de sources non vérifiées et multipoints, telles que la production participative et une multitude de capteurs de qualité variable. En fin de compte, il ne s'agit pas simplement de savoir ce que la technologie peut faire, mais qui elle protège, qui elle exclut et qui a le pouvoir de la modeler. L'équité, la transparence et la conception inclusive doivent guider la mise au point et le déploiement des technologies liées aux catastrophes.

Le *Livre sur les technologies vertes, Des solutions pour faire face aux catastrophes climatiques* explore comment l'innovation transforme la réponse de l'humanité à la multiplication des catastrophes d'origine climatique.

Alors que les tempêtes s'intensifient, que les inondations s'aggravent et que les sécheresses se prolongent, la gestion traditionnelle des catastrophes atteint ses limites. Cet ouvrage met en lumière la manière dont des outils de pointe, tels que l'intelligence artificielle (IA), les systèmes satellitaires, les drones et l'Internet des objets, améliorent les prévisions, les alertes précoces et la communication en temps réel.

Il présente des technologies simples et sophistiquées pour faire face aux tempêtes, aux inondations, aux glissements de terrain, aux incendies de forêt, à la sécheresse, aux vagues de froid et aux périodes de canicule. Il propose également des solutions pour la logistique des interventions en cas de catastrophe, allant d'infrastructures d'urgence et d'un déploiement rapide à la communication et à la coordination numérique, en passant par la résilience financière grâce à des technologies d'assurance et de transfert des risques. Les innovations, qui vont de la cartographie des inondations fondée sur l'IA à la distribution de l'aide humanitaire grâce à la chaîne de blocs, en passant par les cultures résistantes à la sécheresse, démontrent l'étendue des solutions émergentes.

Ce livre décrit comment l'innovation technologique transforme la gestion des catastrophes d'une intervention de secours réactive en une démarche anticipative de réduction des risques, de préparation et de résilience à long terme.