



HAL
open science

Les avancées dans la gestion des catastrophes naturelles basées sur l'IA et les drones : une enquête

Moez Krichen

► **To cite this version:**

Moez Krichen. Les avancées dans la gestion des catastrophes naturelles basées sur l'IA et les drones : une enquête. 2022. hal-04140256

HAL Id: hal-04140256

<https://hal.science/hal-04140256>

Preprint submitted on 24 Jun 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les avancées dans la gestion des catastrophes naturelles basées sur l'IA et les drones : une enquête

Moez Krichen

Laboratoire ReDCAD, Université de Sfax, Tunisie
moez.krichen@redcad.org

Résumé. Cet article explore le potentiel de l'intelligence artificielle (IA) et des technologies basées sur les drones pour les opérations de secours en cas de catastrophe. Les applications potentielles de ces technologies dans la réponse aux catastrophes sont discutées ; elles comprennent l'utilisation de drones pour effectuer des relevés de la zone et rechercher des survivants, ainsi que l'utilisation de systèmes basés sur l'IA pour fournir des données en temps réel aux travailleurs de sauvetage. Nous discutons des orientations futures et des orientations de recherche pour la gestion des catastrophes basée sur l'IA et les drones, notamment l'intégration des technologies basées sur l'IA et les drones, le développement de systèmes multi-agents, ainsi que l'importance de l'IA explicative et des considérations éthiques. Enfin, nous concluons en soulignant la nécessité de faire progresser les technologies basées sur l'IA et les drones pour leur utilisation dans la gestion des catastrophes et leur potentiel de réduire l'impact mondial des catastrophes naturelles.

1 Introduction

La destruction, la perturbation et la perte de vies humaines résultant des catastrophes naturelles imposent un lourd fardeau à la société. De nouveaux outils sont désormais disponibles pour la gestion des catastrophes grâce aux récents développements de l'intelligence artificielle (IA) et des véhicules aériens sans pilote (UAV), parfois appelés drones. Les équipes de réponse aux catastrophes peuvent améliorer leurs capacités et leurs temps de réponse en utilisant des algorithmes d'IA pour l'identification d'objets, l'analyse de données et la reconnaissance d'images, ainsi qu'en utilisant des drones pour les opérations de recherche et de sauvetage, l'évaluation des dommages et le transport de fournitures d'aide (1; 33).

Cet article de revue vise à fournir un aperçu de l'état actuel de la gestion des catastrophes basée sur l'IA et les drones, y compris les technologies et les méthodes formelles utilisées, ainsi que les orientations futures pour la recherche et le développement. Nos principales contributions sont les suivantes :

- Nous discutons des différentes technologies d'IA et de drones qui peuvent être utilisées pour la gestion des catastrophes.

Les avancées dans la gestion des catastrophes naturelles basées sur l'IA et les drones : une enquête

- Nous décrivons les avantages et les défis de la gestion des catastrophes basée sur l'IA et les drones, notamment des temps de réponse plus rapides, une précision accrue et une réduction des risques pour la vie humaine (36).
- Nous discutons également des défis qui peuvent survenir lors de la mise en œuvre de ces technologies, tels que les obstacles réglementaires, les limitations techniques et les préoccupations éthiques.
- Nous soulignons l'utilisation de méthodes formelles telles que la modélisation mathématique, la vérification et la validation pour garantir la correction et la fiabilité des systèmes de gestion de catastrophes basés sur l'IA et les drones.
- Enfin, nous discutons des orientations futures pour la gestion des catastrophes basée sur l'IA et les drones.

Le reste de cet article est structuré comme suit : la Section 2 fournit des informations de base sur la gestion des catastrophes et l'état actuel de la technologie d'IA et de drones. La Section 3 discute des différentes technologies d'IA et de drones qui peuvent être utilisées pour la gestion des catastrophes. La Section 4 examine les avantages et les défis de la gestion des catastrophes basée sur l'IA et les drones, ainsi que l'utilisation de méthodes formelles pour assurer la correction du système. La Section 6 discute des orientations futures pour la recherche et le développement. Enfin, la Section 7 résume nos principales conclusions et fournit une évaluation finale du potentiel de l'IA et des drones pour la gestion des catastrophes naturelles.

2 Contexte

Dans cette section, nous fournirons un aperçu des concepts clés liés à la gestion des catastrophes et à l'IA qui sont pertinents pour notre étude.

2.1 Gestion des catastrophes

Une catastrophe est un événement qui survient soudainement et provoque une destruction généralisée de vies, de biens et d'écosystèmes. Les populations touchées peuvent subir de terribles pertes tant des catastrophes naturelles comme les ouragans, les tremblements de terre et les inondations que des catastrophes d'origine humaine comme les attaques terroristes et les accidents industriels. La préparation, la réponse d'urgence et la reconstruction post-catastrophe font toutes partie du champ d'application plus large de la gestion des catastrophes (4). Les agences gouvernementales, les ONG et les groupes communautaires ne sont que quelques-uns des nombreux acteurs qui doivent se coordonner et collaborer pour une gestion efficace des catastrophes.

2.2 Intelligence Artificielle

Le domaine de l'IA se concentre sur la programmation des ordinateurs pour imiter l'intelligence humaine dans des domaines tels que l'apprentissage et la résolution de problèmes (6). L'apprentissage automatique est une branche de l'IA qui utilise des méthodes statistiques pour apprendre à des ordinateurs de nouvelles compétences sans être explicitement enseigné. En utilisant des réseaux de neurones artificiels avec de

nombreuses couches, l'apprentissage profond est capable d'apprendre des représentations hiérarchiques de données (5; 2). L'IA peut être utilisée dans de nombreux secteurs différents, tels que la médecine, la banque et les transports.

Le processus de construction et de déploiement de modèles de ML implique généralement diverses étapes, notamment la collecte de données pertinentes, le prétraitement et le formatage des données, la sélection et la transformation des caractéristiques, le choix d'un algorithme de ML approprié, la formation et l'évaluation du modèle, et son déploiement pour des prévisions ou des décisions sur de nouvelles données. Ces étapes fournissent un cadre général pour l'utilisation du ML dans diverses applications.

2.3 Drones

Les UAV, plus souvent connus sous le nom de "drones", sont des avions qui peuvent être pilotés à distance ou voler sans opérateur humain à bord. Les drones ont de multiples applications dans la gestion des catastrophes, notamment la recherche et le sauvetage, l'évaluation des dommages et la livraison de fournitures.

Les drones existent sous différentes formes, chacune avec ses propres avantages et inconvénients (14). Les drones peuvent être classés comme à ailes fixes, à rotors tournants ou hybrides. Les drones à ailes fixes, comme les avions, peuvent parcourir de plus grandes distances dans les airs, tandis que les drones à rotors tournants, comme les quadricoptères, sont plus manœuvrables et peuvent stationner en un seul endroit. Les drones hybrides trouvent un juste milieu entre la durabilité et la manœuvrabilité des drones à ailes fixes et à rotors tournants.

La communication avec les drones peut prendre de nombreuses formes, notamment la transmission visuelle, auditive et de données. L'envoi de vidéos en direct et de photographies fixes depuis la caméra du drone vers une station de contrôle terrestre est un exemple de communication visuelle. En utilisant le haut-parleur intégré du drone, les opérateurs peuvent donner des instructions verbales ou des mises en garde aux personnes sur le terrain. La télémétrie et les relevés de capteurs sont deux types de données qui peuvent être communiqués depuis un drone vers une station terrestre ou un autre appareil. Les drones peuvent également être équipés de mécanismes de communication et de contrôle à longue portée tels que la communication par satellite, le Wi-Fi et les réseaux cellulaires (35; 8).

3 Technologies d'IA et de drones pour la gestion des catastrophes

Dans cette section, nous examinerons l'utilisation de chatbots basés sur l'IA et de drones pour les efforts de réponse et de récupération en cas de catastrophe.

3.1 IA dans la gestion des catastrophes

Grâce à une prise de décision améliorée, une conscience de la situation et des capacités de réponse, l'IA a le potentiel d'améliorer la gestion des catastrophes. Par exemple, en analysant des images satellites et d'autres sources de données, l'IA peut aider à

localiser les endroits vulnérables et estimer la gravité d'une catastrophe naturelle. Les médias sociaux et d'autres sources d'information peuvent être analysés par l'IA pour aider à localiser les victimes de catastrophes et coordonner les opérations de sauvetage. Cependant, l'utilisation de l'IA dans la gestion des catastrophes soulève diverses préoccupations en matière de confidentialité, de biais et de responsabilité.

Plusieurs études ont exploré l'utilisation de l'IA dans la gestion des catastrophes. Par exemple, Murphy et Doherty (34) ont évalué les performances d'un petit UAV pour la cartographie autonome du terrain lors de missions de recherche et de sauvetage en extérieur. Imai et al. (10) ont utilisé des réseaux de neurones profonds pour effectuer la cartographie de la réponse aux catastrophes à l'aide d'UAV.

3.2 Chatbots basés sur l'IA

Les chatbots sont des applications logicielles qui tentent de reproduire une conversation humaine. Les chatbots alimentés par l'IA utilisent le NLP et le ML pour interpréter les demandes des utilisateurs et fournir des réponses appropriées. Les chatbots alimentés par l'IA peuvent être utilisés dans la gestion des catastrophes pour fournir des informations vitales aux populations touchées, coordonner les efforts de secours et aider à la recherche et au sauvetage.

Le déploiement de chatbots basés sur l'IA sur des sites de médias sociaux comme Twitter et Facebook, où les personnes touchées peuvent chercher des informations et du soutien, est une méthode pour utiliser les chatbots dans la gestion des catastrophes. Les chatbots alimentés par l'IA peuvent surveiller les médias sociaux en temps réel pour trouver du contenu pertinent et fournir des réponses précises aux questions des utilisateurs. Après l'ouragan Harvey en 2017, par exemple, l'Agence fédérale de gestion des urgences (FEMA) a utilisé un chatbot sur Facebook pour diffuser des mises à jour sur les efforts de secours (?).

Une deuxième stratégie consiste à utiliser des chatbots alimentés par l'IA pour aider dans les missions de sauvetage. Un chatbot peut, par exemple, être utilisé pour transmettre des consignes de sécurité aux personnes bloquées dans une zone sinistrée et aider les secouristes à les localiser. Afin d'aider les chatbots dans les missions de recherche et de sauvetage, Zhao et al. (36) ont construit un réseau encodeur-décodeur léger pour la segmentation sémantique en temps réel des photos capturées par des drones.

3.3 Drones pour la gestion des catastrophes

Les drones peuvent être utiles dans la gestion des catastrophes car ils peuvent atteindre des régions qui seraient dangereuses ou impossibles à atteindre pour les humains. Les drones, par exemple, peuvent être utilisés pour chercher des personnes dans des régions trop dangereuses ou encombrées pour que les humains y pénètrent. L'évaluation des dommages dans les zones sinistrées pourrait être grandement aidée par l'imagerie haute résolution fournie par les drones.

L'utilité des drones dans les opérations de secours en cas de catastrophe peut également être améliorée avec l'aide de l'IA. Un réseau de neurones convolutifs basé sur la région de masquage (Mask R-CNN) a été créé par He et al. (9) pour la détection et

la segmentation d'objets dans les photos aériennes, ce qui pourrait être utilisé pour localiser et cataloguer les bâtiments sinistrés et autres infrastructures. Les UAV peuvent jouer un rôle important avant, pendant et après une catastrophe.

4 Avantages et défis de la gestion des catastrophes basée sur l'IA et les drones

4.1 Avantages

L'utilisation de technologies basées sur l'IA et les drones dans la gestion des catastrophes offre plusieurs avantages par rapport aux approches traditionnelles. Certains de ces avantages comprennent :

4.1.1 Meilleure connaissance de la situation

Les données en temps réel sur les zones de catastrophe, telles que les évaluations des dommages, les comptages des survivants et les niveaux de fournitures, peuvent être collectées avec l'aide de la technologie basée sur l'IA et les drones. Les premiers intervenants peuvent utiliser ces données pour mieux évaluer les situations et déployer des ressources (31).

4.1.2 Temps de réponse plus rapide

Le déploiement rapide de drones dans les zones de catastrophe facilite l'évaluation précoce des dommages et le lancement des efforts de sauvetage. Les chatbots alimentés par l'IA peuvent également diffuser des mises à jour en temps opportun aux groupes vulnérables, permettant aux gens de se protéger eux-mêmes et leurs proches immédiatement (21).

4.1.3 Risque réduit pour les intervenants

La sécurité des intervenants peut être améliorée en utilisant des drones pour accéder aux régions dangereuses ou inaccessibles. Les opérations de recherche et de sauvetage peuvent également bénéficier des chatbots basés sur l'IA, rendant possible l'envoi de moins de secouristes dans des situations potentiellement dangereuses (32; 3).

4.1.4 Efficacité accrue

Les chatbots alimentés par l'IA peuvent automatiser plusieurs aspects de la gestion de crise, notamment la communication et la gestion des ressources. La livraison de fournitures et d'équipements par drones supprimerait le besoin de conducteurs humains.

Le tableau 1 résume les avantages de l'utilisation de technologies basées sur l'IA et les drones dans la gestion des catastrophes.

Les avancées dans la gestion des catastrophes naturelles basées sur l'IA et les drones : une enquête

TAB. 1 – *Avantages de l'utilisation de technologies basées sur l'IA et les drones dans la gestion des catastrophes.*

Avantage	Description
Meilleure connaissance de la situation	Les données en temps réel sur les zones de catastrophe, telles que les évaluations des dommages, les comptages des survivants et les niveaux de fournitures, peuvent être collectées avec l'aide de la technologie basée sur l'IA et les drones.
Temps de réponse plus rapide	Le déploiement rapide de drones dans les zones de catastrophe facilite l'évaluation précoce des dommages et le lancement des efforts de sauvetage. Les chatbots alimentés par l'IA peuvent également diffuser des mises à jour en temps opportun aux groupes vulnérables.
Risque réduit pour les intervenants	La sécurité des intervenants peut être améliorée en utilisant des drones pour accéder aux régions dangereuses ou inaccessibles. Les opérations de recherche et de sauvetage peuvent également bénéficier des chatbots basés sur l'IA.
Efficacité accrue	Les chatbots alimentés par l'IA peuvent automatiser plusieurs aspects de la gestion de crise, notamment la communication et la gestion des ressources. La livraison de fournitures et d'équipements par drones supprimerait le besoin de conducteurs humains.

4.2 Défis

Malgré les nombreux avantages des technologies basées sur l'IA et les drones dans la gestion des catastrophes, il existe également plusieurs défis qui doivent être relevés. Certains de ces défis comprennent :

4.2.1 Limitations techniques

Les technologies émergentes, telles que l'IA et les drones, peuvent ne pas encore être complètement développées ou testées pour une utilisation dans la gestion de crise. Leur utilité peut être limitée par des facteurs techniques tels que la durée de vie des batteries et les problèmes de communication.

4.2.2 Préoccupations liées à la vie privée

Il existe des problèmes de vie privée liés à l'utilisation de la technologie basée sur l'IA dans la gestion des catastrophes, notamment en ce qui concerne la collecte et l'utilisation de données personnelles. Les données doivent être utilisées uniquement à des fins appropriées, et la protection de la vie privée des populations touchées doit être une priorité absolue.

4.2.3 Défis réglementaires

Les réglementations, telles que les autorisations et la conformité aux règles de l'espace aérien, s'appliquent à l'utilisation des drones dans la gestion des catastrophes. Ces règles peuvent être difficiles à décrypter et peuvent différer d'une juridiction à l'autre.

4.2.4 Considérations éthiques

Des préoccupations éthiques, telles que la possibilité de biais et de discrimination dans la prise de décisions, sont soulevées par l'utilisation de la technologie basée sur l'IA dans la gestion des catastrophes. Pour prévenir davantage d'inégalités, il est crucial que ces technologies soient utilisées de manière ouverte et responsable.

Le tableau 2 résume les défis associés à l'utilisation de technologies basées sur l'IA et les drones dans la gestion des catastrophes.

TAB. 2 – *Défis de l'utilisation de technologies basées sur l'IA et les drones dans la gestion des catastrophes.*

Défi	Description
Limitations techniques	Les technologies émergentes, telles que l'IA et les drones, peuvent ne pas encore être complètement développées ou testées pour une utilisation dans la gestion de crise. Leur utilité peut être limitée par des facteurs techniques tels que la durée de vie des batteries et les problèmes de communication.
Préoccupations liées à la vie privée	Il existe des problèmes de vie privée liés à l'utilisation de la technologie basée sur l'IA dans la gestion des catastrophes, notamment en ce qui concerne la collecte et l'utilisation de données personnelles. Les données doivent être utilisées uniquement à des fins appropriées, et la protection de la vie privée des populations touchées doit être une priorité absolue.
Défis réglementaires	Les réglementations, telles que les autorisations et la conformité aux règles de l'espace aérien, s'appliquent à l'utilisation des drones dans la gestion des catastrophes. Ces règles peuvent être difficiles à décrypter et peuvent différer d'une juridiction à l'autre.
Considérations éthiques	Des préoccupations éthiques, telles que la possibilité de biais et de discrimination dans la prise de décisions, sont soulevées par l'utilisation de la technologie basée sur l'IA dans la gestion des catastrophes. Pour prévenir davantage d'inégalités, il est crucial que ces technologies soient utilisées de manière ouverte et responsable.

5 Utilisation des méthodes formelles pour la gestion des catastrophes basée sur l'IA et les drones

L'exactitude et la fiabilité des programmes informatiques et du matériel peuvent être testées via des approches formelles. Les systèmes basés sur l'IA et les drones utilisés dans la réponse et la récupération après une catastrophe peuvent être rendus plus sécurisés et fiables grâce à l'utilisation d'approches formelles (18; 28; 26).

5.1 Vérification formelle des systèmes basés sur l'IA

Les solutions basées sur l'IA utilisées dans la gestion des catastrophes, telles que les chatbots et les algorithmes de détection d'objets, sont complexes et difficiles à tester de manière exhaustive. La vérification de modèle et la démonstration de théorème sont deux exemples de techniques de vérification formelle qui peuvent être utilisées pour vérifier que ces systèmes fonctionnent comme prévu (12; 17; 20; 24).

Pour vérifier qu'un système est conforme à une spécification donnée, la vérification de modèle consiste à examiner de manière exhaustive tous ses états concevables (27; 13; 29). Des preuves mathématiques sont utilisées dans le processus de démonstration de théorème pour vérifier la validité d'un argument. Les deux méthodes peuvent être utilisées pour garantir l'exactitude des systèmes basés sur l'IA déployés lors des opérations de réponse en cas d'urgence (22; 19; 11; 23).

Par exemple, l'auteur de (25) a présenté une technique récente qui permet de vérifier certaines propriétés pour un réseau de neurones récurrent sous-jacent, qui peut être utilisé comme outil pour déterminer si le système appris est correct. Cette technique fournit un moyen de valider les systèmes basés sur l'apprentissage automatique et peut être utilisée pour améliorer leur sécurité et leur fiabilité dans les applications critiques en matière de sécurité.

5.2 Vérification formelle des systèmes basés sur les drones

Les drones de recherche et de sauvetage et d'évaluation des dégâts utilisés dans la gestion des catastrophes sont parmi les plus sophistiqués et les plus difficiles à tester de manière exhaustive. La correction et la sécurité des systèmes basés sur les drones peuvent être vérifiées à l'aide d'approches de vérification formelle (37; 15; 16; 30).

Par exemple, les auteurs de (7) ont proposé une approche interdisciplinaire qui combine des méthodes formelles et une analyse de planification pour fournir un moyen évolutif et unifié de mettre en œuvre efficacement et de manière rigoureuse des robots temps réel. L'article propose également un nouveau mécanisme de verrouillage de ressources multiples qui est efficace, prévisible et adapté aux robots temps réel, et montre comment il améliore leur comportement temps réel. L'approche est démontrée à l'aide d'un exemple de drone réel et est comparée favorablement à la littérature existante.

5.3 Défis

Il y a de nombreux obstacles à surmonter avant que la gestion des catastrophes basée sur l'IA et les drones puisse pleinement bénéficier des techniques formelles. Des exemples de ces difficultés comprennent :

5.3.1 Complexité

L'utilisation de techniques de vérification formelle peut être difficile et chronophage. La vérification formelle peut être difficile en raison de la complexité des systèmes basés sur l'IA et les drones.

5.3.2 Évolutivité

Lorsqu'appliquées à des systèmes volumineux et sophistiqués, les méthodes de vérification formelle peuvent être prohibitives en termes de coûts informatiques. Dans le contexte de la gestion de crise, où les systèmes doivent fonctionner en temps réel et face à l'incertitude et au changement, cela peut présenter un défi unique.

5.3.3 Intégration

L'intégration d'approches de vérification formelle dans la création de systèmes basés sur l'IA et les drones est essentielle. Cela peut être difficile si la vérification formelle n'est pas prise en compte dès le début du développement.

6 Directions futures

Les futures pistes de recherche et de développement pour l'IA et les drones dans la gestion des catastrophes seront discutées.

6.1 Intégration des technologies basées sur l'IA et les drones

La combinaison de l'IA avec la technologie basée sur les drones est l'une des avenues les plus prometteuses pour l'avenir dans la gestion des catastrophes. Les drones collectent une multitude de données, y compris des photos et des relevés de capteurs, qui peuvent être traitées par des systèmes basés sur l'IA et transmises en temps réel aux équipes de réponse aux catastrophes. Les drones peuvent également être utilisés pour recueillir des informations dans des environnements dangereux ou inaccessibles. Lorsque ces technologies sont combinées, elles peuvent rendre les opérations de sauvetage plus rapides et plus précises.

6.2 Systèmes multi-agents

La création de systèmes multi-agents est une autre voie potentielle pour la gestion des catastrophes. Les agents autonomes dans les systèmes multi-agents peuvent coordonner leurs efforts pour accomplir une tâche. Les systèmes multi-agents peuvent être utilisés pour mieux coordonner les efforts de réponse et allouer les ressources dans le

Les avancées dans la gestion des catastrophes naturelles basées sur l'IA et les drones : une enquête

contexte de la gestion des catastrophes. Les drones et les robots terrestres, par exemple, peuvent coopérer dans la recherche de survivants et l'évaluation des dommages.

6.3 IA explicative

Le domaine de l'IA explicative vise à créer des machines intelligentes capables de justifier leurs choix et actions. L'IA explicative peut aider à établir la crédibilité entre les intervenants humains et les systèmes automatisés lors de situations d'urgence. Un système basé sur l'IA qui rapporte la position actuelle des survivants, par exemple, devrait être en mesure de justifier son raisonnement.

6.4 Considérations de confidentialité et d'éthique

Il est crucial de réfléchir à la confidentialité et à l'éthique à mesure que des technologies comme l'IA et les drones deviennent plus courantes dans la gestion des catastrophes. Il y a des préoccupations de confidentialité associées à l'utilisation de drones pour la surveillance, par exemple. De plus, la discrimination et le biais doivent être explicitement éliminés des systèmes basés sur l'IA.

Le tableau 3 résume les futures pistes pour les technologies basées sur l'IA et les drones dans la gestion des catastrophes.

TAB. 3 – *Futures pistes pour les technologies basées sur l'IA et les drones dans la gestion des catastrophes.*

Piste future	Description
Intégration des technologies basées sur l'IA et les drones	La combinaison de l'IA avec la technologie basée sur les drones est l'une des avenues les plus prometteuses pour l'avenir dans la gestion des catastrophes.
Systèmes multi-agents	Les agents autonomes dans les systèmes multi-agents peuvent coordonner leurs efforts pour accomplir une tâche. Les systèmes multi-agents peuvent être utilisés pour mieux coordonner les efforts de réponse et allouer les ressources.
IA explicative	Le domaine de l'IA explicative vise à créer des machines intelligentes capables de justifier leurs choix et actions.
Considérations de confidentialité et d'éthique	Il est crucial de réfléchir à la confidentialité et à l'éthique à mesure que des technologies comme l'IA et les drones deviennent plus courantes dans la gestion des catastrophes.

7 Conclusion

Dans cette recherche, nous avons exploré comment les technologies basées sur l'IA et les drones peuvent être utilisées dans la réponse aux urgences. Des pistes futures et des directions de recherche pour la gestion des catastrophes basées sur l'IA et les

drones ont également été examinées, telles que l'intégration des technologies basées sur l'IA et les drones, le développement de systèmes multi-agents et l'importance de l'IA explicative et des considérations éthiques.

Les avantages potentiels des technologies basées sur l'IA et les drones dans la gestion des catastrophes sont considérables, malgré les nombreux défis à relever. Ces technologies ont le potentiel de sauver des vies et de réduire l'impact des catastrophes en augmentant l'efficacité et la précision des activités de réponse.

En conclusion, nous pensons qu'il sera crucial de continuer le développement et l'intégration des technologies basées sur l'IA et les drones dans la gestion des catastrophes pour réduire l'impact des catastrophes sur les communautés du monde entier.

Références

- [1] Mohamed S. Abdalzaher, Hussein A. Elsayed, and Mostafa M. Fouda. Employing remote sensing, data communication networks, ai, and optimization methodologies in seismology. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15 :9417–9438, 2022.
- [2] Mohamed S. Abdalzaher, Mohamed Elwekeil, Taotao Wang, and Shengli Zhang. A deep autoencoder trust model for mitigating jamming attack in iot assisted by cognitive radio. *IEEE Systems Journal*, 16(3) :3635–3645, 2022.
- [3] Mohamed S. Abdalzaher, Sayed S. R. Moustafa, Mohammed Abd-Elnaby, and Mohamed Elwekeil. Comparative performance assessments of machine-learning methods for artificial seismic sources discrimination. *IEEE Access*, 9 :65524–65535, 2021.
- [4] Mohamed S. Abdalzaher, Sayed S. R. Moustafa, H.E. Abdel Hafiez, and Walid Farid Ahmed. An optimized learning model augment analyst decisions for seismic source discrimination. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60 :1–12, 2022.
- [5] Mohamed S. Abdalzaher, M. Sami Soliman, Sherif M. El-Hady, Abderrahim Benslimane, and Mohamed Elwekeil. A deep learning model for earthquake parameters observation in iot system-based earthquake early warning. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(11) :8412–8424, 2022.
- [6] Wadii Boulila, Maha Driss, Eman Alshantiti, Mohamed Al-Sarem, Faisal Saeed, and Moez Krichen. Weight initialization techniques for deep learning algorithms in remote sensing : Recent trends and future perspectives. *Advances on Smart and Soft Computing : Proceedings of ICACIn 2021*, pages 477–484, 2022.
- [7] Mohammed Foughali and Alexander Zuepke. Formal verification of real-time autonomous robots : An interdisciplinary approach. *Frontiers in Robotics and AI*, 9 :1, 2022.
- [8] Essam Ghamry, Emad K. Mohamed, Mohamed S. Abdalzaher, Mohamed Elwekeil, Dedalo Marchetti, Angelo De Santis, Mostafa Hegy, Akimasa Yoshikawa, and Adel Fathy. Integrating pre-earthquake signatures from different precursor tools. *IEEE Access*, 9 :33268–33283, 2021.

- [9] Kaiming He, Georgia Gkioxari, Piotr Dollár, and Ross Girshick. Mask r-cnn. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, pages 2961–2969, 2017.
- [10] Fumitoshi Imai, Koichi Matsuura, and Ryosuke Shibasaki. Uav-borne disaster response mapping using deep neural networks. In *Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pages 1943–1946, 2017.
- [11] Moez Krichen. *Model-based testing for real-time systems*. PhD thesis, PhD thesis, Université Joseph Fourier (December 2007), 2007.
- [12] Moez Krichen. A formal framework for conformance testing of distributed real-time systems. In *International Conference On Principles Of Distributed Systems*, pages 139–142. Springer, 2010.
- [13] Moez Krichen. *Contributions to model-based testing of dynamic and distributed real-time systems*. PhD thesis, École Nationale d'Ingénieurs de Sfax (Tunisie), 2018.
- [14] Moez Krichen, Wilfried Yves Hamilton Adoni, Alaeddine Mihoub, Mohammed Y Alzahrani, and Tarik Nahhal. Security challenges for drone communications : Possible threats, attacks and countermeasures. In *2022 2nd International Conference of Smart Systems and Emerging Technologies (SMARTTECH)*, pages 184–189. IEEE, 2022.
- [15] Moez Krichen, Omar Cheikhrouhou, Mariam Lahami, Roobaea Alroobaea, and Afef Jmal Maâlej. Towards a model-based testing framework for the security of internet of things for smart city applications. In *Smart Societies, Infrastructure, Technologies and Applications : First International Conference, SCITA 2017, Jeddah, Saudi Arabia, November 27–29, 2017, Proceedings 1*, pages 360–365. Springer International Publishing, 2018.
- [16] Moez Krichen, Afef Jmal Maâlej, and Mariam Lahami. A model-based approach to combine conformance and load tests : an ehealth case study. *International Journal of Critical Computer-Based Systems*, 8(3-4) :282–310, 2018.
- [17] Moez Krichen, Seifeddine Mechti, Roobaea Alroobaea, Elyes Said, Parminder Singh, Osamah Ibrahim Khalaf, and Mehedi Masud. A formal testing model for operating room control system using internet of things. *Computers, Materials & Continua*, 66(3) :2997–3011, 2021.
- [18] Moez Krichen, Alaeddine Mihoub, Mohammed Y Alzahrani, Wilfried Yves Hamilton Adoni, and Tarik Nahhal. Are formal methods applicable to machine learning and artificial intelligence ? In *2022 2nd International Conference of Smart Systems and Emerging Technologies (SMARTTECH)*, pages 48–53. IEEE, 2022.
- [19] Moez Krichen and Stavros Tripakis. State identification problems for timed automata. In *TestCom*, volume 5, pages 175–191, 2005.
- [20] Moez Krichen and Stavros Tripakis. Interesting properties of the real-time conformance relation tioco. In *Theoretical Aspects of Computing-ICTAC 2006 : Third International Colloquium, Tunis, Tunisia, November 20-24, 2006. Proceedings 3*, pages 317–331. Springer Berlin Heidelberg, 2006.

- [21] Chitra Krishnan, Aditya Gupta, Astha Gupta, and Gurinder Singh. Impact of artificial intelligence-based chatbots on customer engagement and business growth. In *Deep Learning for Social Media Data Analytics*, pages 195–210. Springer, 2022.
- [22] Mariam Lahami, Moez Krichen, Hajer Barhoumi, and Mohamed Jmaiel. Selective test generation approach for testing dynamic behavioral adaptations. In *Testing Software and Systems : 27th IFIP WG 6.1 International Conference, ICTSS 2015, Sharjah and Dubai, United Arab Emirates, November 23-25, 2015, Proceedings 27*, pages 224–239. Springer International Publishing, 2015.
- [23] Mariam Lahami, Moez Krichen, Mariam Bouchakwa, and Mohamed Jmaiel. Using knapsack problem model to design a resource aware test architecture for adaptable and distributed systems. In *Testing Software and Systems : 24th IFIP WG 6.1 International Conference, ICTSS 2012, Aalborg, Denmark, November 19-21, 2012. Proceedings 24*, pages 103–118. Springer Berlin Heidelberg, 2012.
- [24] Mariam Lahami, Moez Krichen, and Mohamed Jmaiel. Runtime testing approach of structural adaptations for dynamic and distributed systems. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 51(4) :259–272, 2015.
- [25] Martin Leucker. Formal verification of neural networks? In *Formal Methods : Foundations and Applications : 23rd Brazilian Symposium, SBMF 2020, Ouro Preto, Brazil, November 25–27, 2020, Proceedings 23*, pages 3–7. Springer, 2020.
- [26] Afef Jmal Maâlej, Manel Hamza, Moez Krichen, and Mohamed Jmaiel. Automated significant load testing for ws-bpel compositions. In *2013 IEEE sixth international conference on software testing, verification and validation workshops*, pages 144–153. IEEE, 2013.
- [27] Afef Jmal Maâlej and Moez Krichen. A model based approach to combine load and functional tests for service oriented architectures. In *VECoS*, pages 123–140, 2016.
- [28] Afef Jmal Maâlej, Moez Krichen, and Mohamed Jmaiel. Conformance testing of ws-bpel compositions under various load conditions. In *2012 IEEE 36th annual computer software and applications conference*, pages 371–371. IEEE, 2012.
- [29] Afef Jmal Maâlej, Moez Krichen, and Mohamed Jmaiel. Model-based conformance testing of ws-bpel compositions. In *2012 IEEE 36th annual computer software and applications conference workshops*, pages 452–457. IEEE, 2012.
- [30] Afef Jmal Maâlej, Mariam Lahami, Moez Krichen, and Mohamed Jmaiel. Distributed and resource-aware load testing of ws-bpel compositions. In *ICEIS (2)*, pages 29–38, 2018.
- [31] Tamal Mondal, Swaraj Pramanik, Prithviraj Pramanik, Kashi Nath Datta, Partha Sarathi Paul, Sujoy Saha, and Subrata Nandi. Emergency communication and use of ict in disaster management. *Emerging Technologies for Disaster Resilience : Practical Cases and Theories*, pages 161–197, 2021.
- [32] Sayed S. R. Moustafa, Mohamed S. Abdalzaher, Farhan Khan, Mohamed Metwaly, Eslam A. Elawadi, and Nassir S. Al-Arifi. A quantitative site-specific classification approach based on affinity propagation clustering. *IEEE Access*, 9 :155297–155313, 2021.

- [33] Sayed S. R. Moustafa, Mohamed S. Abdalzaher, Mohamed H. Yassien, Taotao Wang, Mohamed Elwekeil, and Hesham E. Abdel Hafiez. Development of an optimized regression model to predict blast-driven ground vibrations. *IEEE Access*, 9 :31826–31841, 2021.
- [34] Sean Og Murphy, Cormac Sreenan, and Kenneth N Brown. Autonomous unmanned aerial vehicle for search and rescue using software defined radio. In *2019 IEEE 89th vehicular technology conference (VTC2019-Spring)*, pages 1–6. IEEE, 2019.
- [35] AN Wilson, Abhinav Kumar, Ajit Jha, and Linga Reddy Cenkeramaddi. Embedded sensors, communication technologies, computing platforms and machine learning for uavs : A review. *IEEE Sensors Journal*, 22(3) :1807–1826, 2021.
- [36] Hengshuang Zhao, Orazio Gallo, Iuri Frosio, and Jan Kautz. A lightweight encoder-decoder network for real-time semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 5485–5493, 2019.
- [37] Xingyu Zhao, Matt Osborne, Jenny Lantair, Valentin Robu, David Flynn, Xiaowei Huang, Michael Fisher, Fabio Papacchini, and Angelo Ferrando. Towards integrating formal verification of autonomous robots with battery prognostics and health management. In *Software Engineering and Formal Methods : 17th International Conference, SEFM 2019, Oslo, Norway, September 18–20, 2019, Proceedings 17*, pages 105–124. Springer, 2019.