

**FLOODING OF BÉCHAR ON SEPTEMBER 8, 2024: TOWARDS RISK
MANAGEMENT ENHANCED BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE****INONDATION DE BECHAR DU 8 SEPTEMBRE 2024 : VERS UNE GESTION DES
RISQUES RENFORCEE PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE**

Corresponding Author: Dr Houcine Abdelmalek
Senior Lecturer, Department of Architecture and Urban Planning
University of Béchar, Algeria
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0013-0855>
Email: abdelmalek.houcine@univ-bechar.dz

Co-author: Dr. BENARADJ Abdelmalek
Senior Lecturer, Department of Architecture and Urban Planning
University of Béchar, Algeria
Email: benaradj.abdelmalek@univ-bechar.dz

RESUME.

Cet article examine la vulnérabilité des infrastructures de Béchar face aux risques d'inondation, suite à la crue soudaine de l'oued Béchar survenue le 8 septembre 2024. Il se concentre sur la nécessité de solutions innovantes pour mieux prévenir et gérer ces crises, notamment via l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA). L'objectif principal de cette étude est d'évaluer comment l'IA peut contribuer à la prévention des inondations, à la gestion en temps réel des crises naturelles, et à renforcer la résilience des infrastructures urbaines à travers des outils comme la modélisation des risques, les systèmes d'alerte précoce, et la surveillance des infrastructures critiques. L'analyse repose sur un examen des événements liés aux inondations de 2024 à Béchar, ainsi que sur une exploration des technologies d'IA appliquées à la gestion des risques naturels. Cela inclut la modélisation prédictive, les capteurs intelligents pour la détection en temps réel, et les systèmes d'alerte pour anticiper et réagir efficacement aux crues. Les inondations ont révélé d'importantes faiblesses dans le réseau d'infrastructures de Béchar, en particulier la destruction de deux ponts et l'inondation de quartiers résidentiels. L'article démontre que l'IA, bien qu'encore peu exploitée dans cette région, offre un potentiel significatif pour réduire la vulnérabilité des infrastructures et améliorer la capacité de réponse en cas de catastrophe. L'IA se présente comme une solution clé pour prévenir et gérer les risques d'inondation dans des villes comme Béchar. Bien que des efforts supplémentaires soient nécessaires pour mettre en place ces technologies, leur intégration pourrait significativement améliorer la gestion des crises et limiter les impacts des futures inondations.

Mots-clés : *Inondations, Béchar, Intelligence artificielle, Modélisation des risques, Systèmes d'alerte précoce, Résilience des infrastructures*

ABSTRACT.

This article examines the vulnerability of Béchar's infrastructure to flood risks, following the sudden rise of the Oued Béchar on September 8, 2024. It focuses on the need for innovative solutions to better prevent and manage these crises, particularly through the use of artificial intelligence (AI). The main objective of this study is to assess how AI can contribute to flood prevention, real-time crisis management, and strengthening urban infrastructure resilience through tools such as risk modeling, early warning systems, and monitoring of critical infrastructure. The analysis is based on a review of the events surrounding the 2024 floods in Béchar, as well as an exploration of AI technologies applied to natural disaster management. This includes predictive modeling, smart sensors for real-time detection, and alert systems to anticipate and effectively respond to floods. The floods revealed significant weaknesses in Béchar's infrastructure network, particularly the destruction of two bridges and the flooding of residential areas. The article demonstrates that AI, although still underutilized in this region, offers significant potential to reduce infrastructure vulnerability and improve disaster response capacity. AI emerges as a key solution for preventing and managing flood risks in cities like Béchar. While further efforts are required to implement these technologies, their integration could significantly enhance crisis management and mitigate the impact of future floods.

Keywords: *Floods, Béchar, Artificial intelligence, Risk modeling, Early warning systems, Infrastructure resilience.*

INTRODUCTION

Les villes sahariennes sont de plus en plus exposées aux risques d'inondation en raison du changement climatique, de l'urbanisation rapide et de la faible résilience des infrastructures hydrauliques, notamment dans les régions arides, {plus précisément dans une zone de transition aride à semi-aride telle que Béchar}, située au sud-ouest de l'Algérie, où les oueds jouent un rôle structurant dans l'organisation urbaine et territoriale. Cette ville a été touchée par une inondation majeure le 8 septembre 2024, révélant la vulnérabilité de ses infrastructures. Cet événement souligne l'importance de l'intelligence artificielle (IA) dans la gestion des risques naturels et la préparation aux futurs événements météorologiques extrêmes.

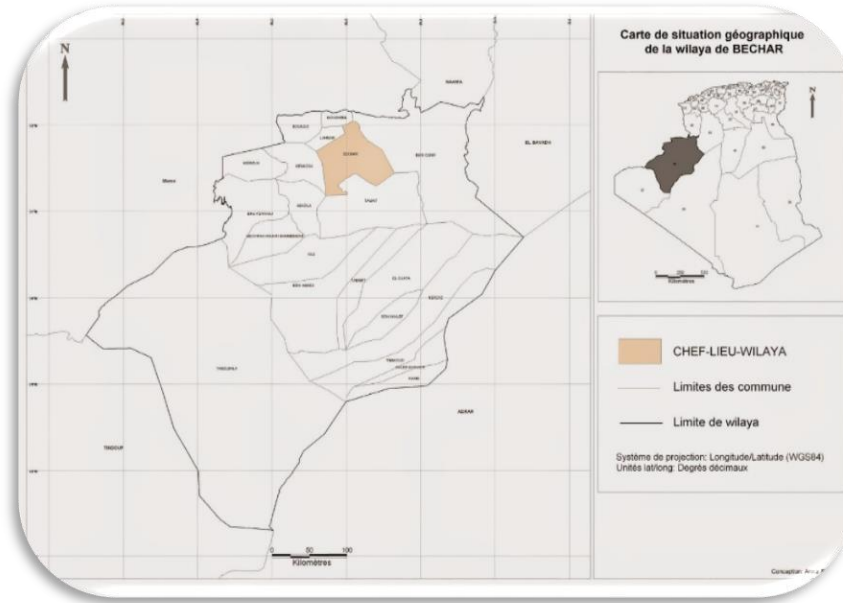


Figure 1. Carte de localisation de Béchar en Algérie
Source : Données cartographiques Google, (2024)

THEORIE / METHODES DE RECHERCHE

Contexte géographique et impact des inondations

Béchar, une ville du sud-ouest de l'Algérie, est située dans une région semi-aride {s'inscrivant dans un contexte bioclimatique de transition aride–semi-aride}, caractérisée par une faible pluviométrie annuelle, une forte variabilité climatique et des épisodes pluvieux courts mais intenses. La ville se trouve à environ 850 km au sud-ouest d'Alger et est entourée par des reliefs montagneux et des plaines désertiques. Ces caractéristiques topographiques influencent directement le comportement des oueds (cours d'eau intermittents) qui traversent la région. L'oued Béchar, qui s'étend sur environ 19 km à travers la ville, est habituellement à sec pendant la majeure partie de l'année. Cependant, en période de précipitations intenses, il se transforme en un torrent imprévisible capable de provoquer des crues soudaines. Ces événements sont aggravés par plusieurs facteurs géographiques et infrastructurels. Le relief accidenté des montagnes environnantes accélère le ruissellement de l'eau vers la plaine où se trouve Béchar, amplifiant ainsi la montée des eaux. De plus, les infrastructures de drainage urbain sont souvent inadaptées pour gérer de grandes quantités d'eau en peu de temps. Les systèmes de drainage existants, lorsqu'ils sont sous-dimensionnés ou mal entretenus, ne parviennent pas à canaliser efficacement ces flux d'eau importants. L'inondation survenue le 8 septembre 2024 en est un exemple frappant. Suite à une série de pluies torrentielles, les eaux de l'oued Béchar ont rapidement monté, atteignant des niveaux critiques en quelques heures (el-Watan, sept 2024). La montée soudaine des eaux a provoqué la destruction de deux ponts, qui étaient des infrastructures clés reliant plusieurs quartiers de la ville. Ces ponts, soumis à une pression intense due à la force des courants et à l'accumulation rapide de débris, n'ont pas pu résister à l'assaut des eaux. En plus des dommages aux infrastructures de transport, l'inondation a eu des répercussions directes sur les habitations situées près des berges de l'oued. (APS, oct. 2024). Les quartiers les plus

vulnérables, souvent constitués de maisons modestes construites sans protections adéquates contre les inondations, ont subi des dégâts matériels importants. Plusieurs maisons ont été submergées, et des centaines de familles ont été contraintes de fuir leurs foyers pour se mettre à l'abri. Outre les dommages matériels immédiats, ces inondations ont révélé la vulnérabilité chronique des infrastructures urbaines de Béchar face aux phénomènes météorologiques extrêmes. Les systèmes d'alimentation en eau potable, d'électricité et de transports ont également été gravement perturbés, plongeant plusieurs quartiers dans le chaos, el-Watan, sept 2024. Cet épisode a mis en lumière l'urgence de moderniser les infrastructures et d'améliorer la gestion des risques dans cette région sujette aux crues soudaines.

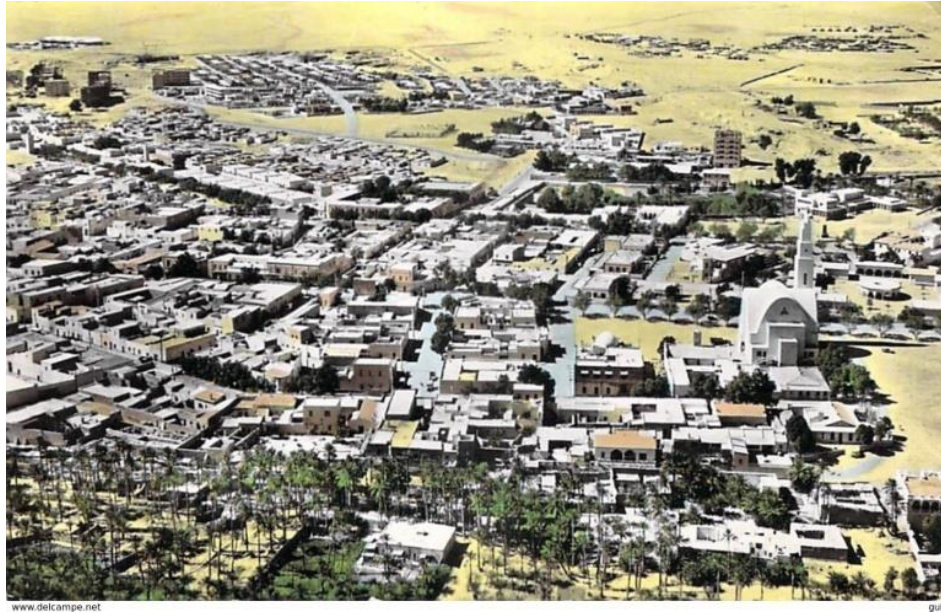


Figure 2. Photographie aérienne de l'oued Béchar
Source : Site web Algérie mes racines, (2018)

Les principaux oueds qui traversent la région de Béchar sont : Oued Guir- Oued Zouzfana - Oued Béchar - Oued Saoura

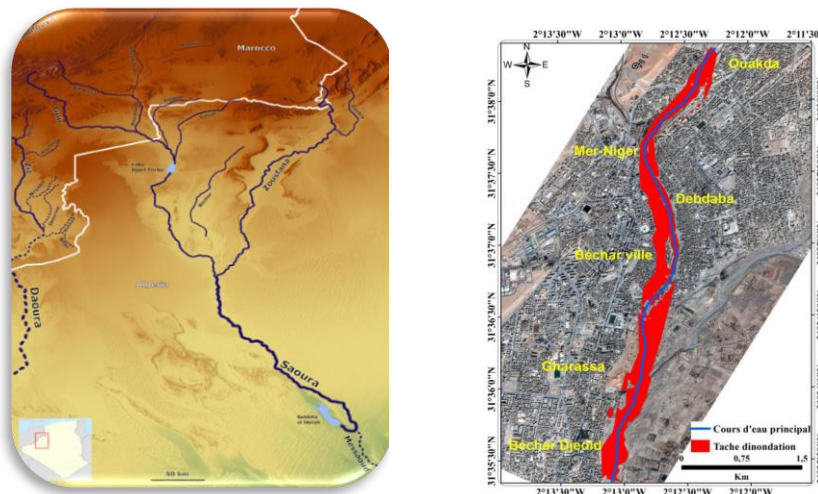


Figure 3. Les zones à risque d'inondation Source. Bekhira A. ,2024

METHODOLOGIE

Utilisation de l'IA pour la gestion des risques

L'intelligence artificielle a été introduite comme outil clé pour la modélisation prédictive des risques et la mise en place de systèmes d'alerte précoce (Moez Krichen, 2024). [Dans le cadre de cette recherche, l'approche méthodologique adoptée repose sur une étude de cas territoriale centrée sur la ville de Béchar, combinant une analyse qualitative de l'événement du 8 septembre 2024 et une exploration prospective des apports potentiels de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques d'inondation.] Les algorithmes de machine Learning permettent une analyse approfondie des données météorologiques et topographiques, favorisant une gestion proactive des risques (Bammou et al., 2024). [Cette étude se fonde sur l'hypothèse selon laquelle l'exploitation de données météorologiques, hydrologiques et topographiques, même issues de sources secondaires, peut améliorer l'anticipation des crues soudaines dans les contextes semi-arides caractérisés par une forte variabilité climatique.] Des exemples comme FloodHub, un outil de Google, illustrent comment l'IA (intelligence artificielle) peut simuler les scénarios d'inondation et anticiper leur impact (Athanasios Valavanidis, 2024). [La méthodologie s'appuie ainsi sur une analyse comparative de solutions internationales existantes basées sur l'IA, afin d'identifier les principes transposables au contexte local de Béchar, sans prétendre à une implémentation opérationnelle immédiate.] [Les sources de données mobilisées dans cette recherche comprennent : (i) des données événementielles issues de la presse nationale et des rapports institutionnels relatifs aux inondations de septembre 2024 ; (ii) des données cartographiques et satellitaires disponibles publiquement ; et (iii) des références scientifiques portant sur la modélisation hydrologique, l'IA et les systèmes d'alerte précoce.] [L'analyse méthodologique s'est déroulée en plusieurs étapes : (1) l'analyse descriptive de la crue de l'oued Béchar et de ses impacts sur les infrastructures urbaines ; (2) l'identification des principales vulnérabilités infrastructurelles ; (3) l'examen critique des outils d'intelligence artificielle utilisés à l'échelle internationale pour la gestion des risques d'inondation ; et (4) la proposition d'un cadre conceptuel d'intégration de ces outils dans le contexte urbain de Béchar.] [Il convient toutefois de souligner certaines limites méthodologiques, notamment l'absence de données hydrologiques locales à haute résolution, le manque de capteurs in situ et le caractère prospectif de l'analyse. Ces limites n'invalident pas l'approche proposée, mais soulignent la nécessité de futurs travaux empiriques pour valider les hypothèses avancées.]

RESULTATS ET DISCUSSION

Les inondations du 8 septembre 2024

Les inondations du 8 septembre 2024 ont marqué un tournant dans l'histoire récente de Béchar en raison de leur ampleur et des dommages qu'elles ont causés. Ce jour-là, une série de pluies torrentielles s'est abattue sur la ville et ses environs, provoquant une montée rapide des eaux de l'oued Béchar. Dans les régions semi-arides {et plus largement dans les zones de transition aride–semi-aride}, les épisodes pluvieux extrêmes peuvent provoquer des crues soudaines,

accentuées par l'imperméabilisation des sols urbains. Les précipitations, qui ont duré plusieurs heures sans interruption, ont rapidement saturé les sols secs et perméables, augmentant le débit des oueds jusqu'à atteindre des niveaux critiques. La brusque montée des eaux a pris de court les habitants et les autorités locales, qui n'ont pas eu suffisamment de temps pour mettre en œuvre des mesures de prévention adéquates. Deux des principaux ponts de la ville, essentiels pour la circulation entre plusieurs quartiers, ont été littéralement emportés par la force du courant. Ces infrastructures, bien que cruciales pour les transports et les connexions inter-quartiers, étaient visiblement vulnérables face à un tel événement hydrologique. La pression exercée par les flots, combinée à l'accumulation de débris charriés par les eaux en furie, a endommagé les fondations et les structures des ponts, les faisant céder. Leur destruction a non seulement interrompu le trafic routier, mais a aussi isolé plusieurs secteurs de la ville, notamment entre Débdaba et Centre-ville, compliquant les efforts de secours et de sauvetage. Les quartiers résidentiels situés à proximité immédiate de l'oued Béchar ont été les plus gravement touchés par l'inondation. Les eaux ont envahi les rues, atteignant plusieurs dizaines de centimètres dans certaines zones, inondant les maisons, les commerces et les infrastructures publiques. Les habitants, surpris par la rapidité de l'inondation, ont dû évacuer précipitamment, souvent sans pouvoir récupérer leurs biens. De nombreux logements ont été gravement endommagés, certains totalement submergés, forçant des dizaines de familles à se réfugier dans des abris temporaires mis en place par les autorités. Outre les dommages aux habitations, l'infrastructure urbaine de Béchar a également souffert. Le réseau de transport a été paralysé, non seulement à cause de la destruction des ponts, mais aussi en raison des routes inondées ou obstruées par les débris. Les déplacements au sein de la ville sont devenus pratiquement impossibles pendant plusieurs jours, ralentissant les opérations de secours et d'assistance. De plus, le réseau électrique a subi de graves avaries. Les lignes électriques situées près des zones inondées ont été endommagées ou coupées, plongeant plusieurs quartiers dans le noir. Ce manque d'électricité a eu un effet domino sur d'autres infrastructures, perturbant les systèmes de communication et aggravant la situation d'urgence. L'inondation a révélé la fragilité des infrastructures de la ville face à des catastrophes naturelles d'une telle ampleur. La planification urbaine de Béchar, comme dans de nombreuses autres villes algériennes, n'a pas été conçue pour résister à des événements climatiques extrêmes, surtout dans une région où les inondations sont perçues comme rares. L'absence de dispositifs de prévention des crues, comme des digues ou des bassins de rétention, ainsi que le manque d'entretien des systèmes de drainage, ont contribué à aggraver l'impact des inondations. Cet événement met en lumière l'urgence de repenser la gestion des risques naturels dans les villes semi-arides et de renforcer les infrastructures critiques pour mieux se préparer à l'avenir. La question de l'adaptation des infrastructures à des événements météorologiques extrêmes devient essentielle dans le contexte des changements climatiques, qui pourraient intensifier la fréquence et la gravité des phénomènes naturels tels que les crues soudaines.



Figure 4. Destruction de deux ponts
Source al- Watan, sept. 2024



Figure 5. Des maisons inondées

La contribution de l'intelligence artificielle dans la gérance des risques

L'intelligence artificielle (IA) s'impose essentiellement comme un instrument inéluctable dans la gestion des catastrophes naturelles, et notamment dans la prévention des inondations. Dans la disposition de changements climatiques où la fréquence et l'intensité des événements extrêmes augmentent, l'IA représente une opportunité innovante pour non seulement anticiper ces phénomènes, mais aussi pour corriger la résilience des infrastructures urbaines et faciliter la gestion en temps réel des crises. L'intégration de l'IA dans la gérance des risques naturels permet une meilleure collecte et analyse des données (Armstrong, William, 2024), ce qui progresse les capacités de prise de décision pour les autorités locales et les gestionnaires de crise. L'un des avantages majeurs de l'IA réside dans sa capacité à traiter des quantités massives de données en temps réel, comme les prévisions météorologiques, les niveaux d'eau des rivières ou oueds, ou encore l'évolution des infrastructures. Ces informations, une fois analysées et croisées avec des

algorithmes de machine Learning, permettent de fournir des alertes précoces et des recommandations précises sur les actions à entreprendre avant, pendant et après une catastrophe. Dans le cas d'une inondation, ces technologies peuvent ainsi réduire le temps de réponse des secours, progresser l'efficacité des évacuations et délimiter les dégâts matériels et humains (Moez Krichen, 2022).

a) Modélisation des risques

L'une des apports les plus sérieuses de l'IA dans la gérance des inondations demeure dans la modélisation prédictive des risques (Ghazi Al-Rawas, and all, 2024). Grâce à des algorithmes complexes, il est possible de développer des modèles capables de simuler l'impact des précipitations sur une zone géographique donnée et d'anticiper les crues. Ces modèles prennent en compte un grand nombre de variables, telles que la cartographie, la perméabilité des sols, les infrastructures existantes, ainsi que l'historique des précipitations et des crues. Bien que de telles simulations n'aient pas encore été mises en œuvre à Béchar, leur potentiel est immense. Dans une ville où l'oued Béchar peut passer d'un état sec à un niveau de crue soudain, ces modèles prédictifs pourraient jouer un rôle clé dans la prévention des inondations futures. En simulant les scénarios possibles à partir de différents niveaux de précipitations, les autorités pourraient identifier les zones les plus vulnérables et développer des plans d'action spécifiques pour protéger les infrastructures et les habitants. Ces simulations prédictives, enrichies par l'IA, pourraient également influencer la planification urbaine à long terme. En identifiant les zones à haut risque d'inondation, il serait possible de réorganiser les infrastructures de drainage, de construire des digues et des barrages adaptés, ou encore de créer des zones tampons pour absorber l'excès d'eau lors des crues. Ainsi, au lieu de simplement réagir aux catastrophes, l'IA permettrait d'adopter une stratégie proactive en matière d'aménagement urbain et de réduction des risques. De plus, l'IA pourrait faciliter l'intégration des données historiques et des informations géographiques dans ces modèles. Par exemple, les données sur les inondations passées à Béchar, combinées aux prévisions météorologiques actuelles, pourraient aider à affiner les prédictions et à mieux comprendre comment l'oued réagit à différents niveaux de précipitations. Cela permettrait de mieux anticiper la fréquence et l'intensité des crues et de proposer des solutions d'aménagement urbain plus résilientes face aux aléas climatiques.

L'outil de simulation FloodHub

Plus de 80 pays peuvent accéder à des informations essentielles jusqu'à sept jours à l'avance afin de se préparer et de s'adapter aux inondations grâce à Flood Hub, la plateforme de Google qui affiche les prévisions d'inondations fluviales, en indiquant quand et où elles se produiront, dans des régions du monde entier comptant une population totale de 460 millions d'habitants (Frandroid, 2023).

Simulations d'inondation. Tout d'abord, il faut récolter plusieurs données météorologiques (telles que les précipitations à venir) pour anticiper une crue potentielle d'un fleuve. Ensuite, l'intelligence artificielle va se baser sur des modèles mathématiques optimisés année après année. Lesdits modèles simulent le comportement de l'eau lorsqu'elle se déplace.

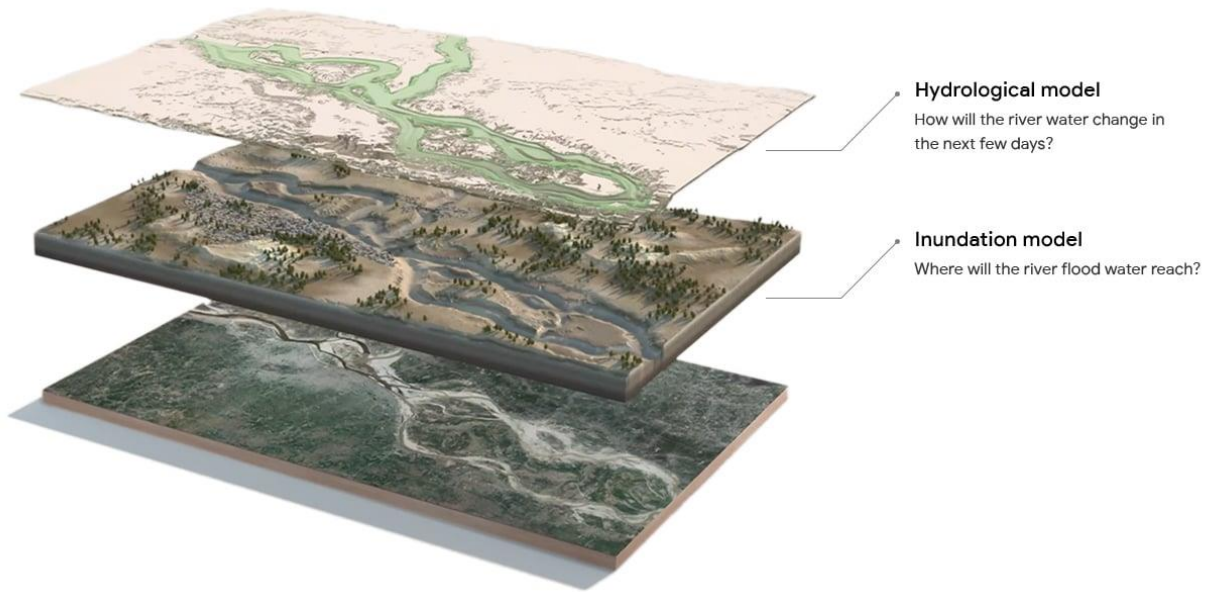


Figure 6. Modèles de simulation de FloodHub

Source : Frandroid, 2023

FloodHub associe prévisions hydrologiques et images satellites pour déterminer les zones géographiques qui risquent d'être inondées.

Processus de modélisation IA des crues

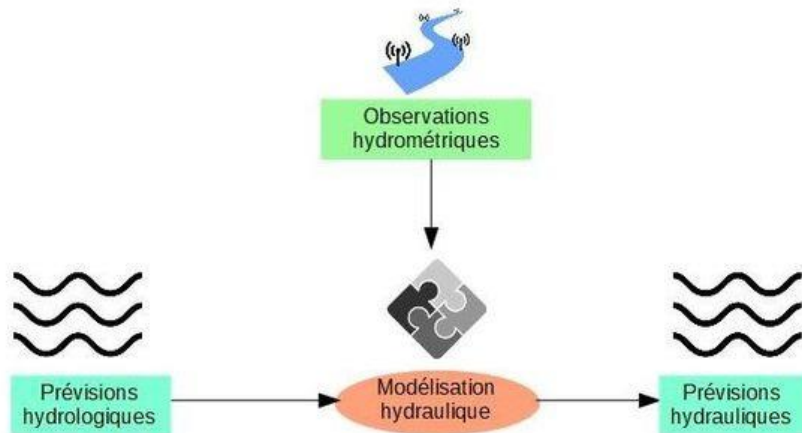


Illustration schématique d'une chaîne de prévision hydraulique sur un tronçon de cours d'eau pour représenter la propagation d'une onde de crue : les "entrées" du modèles sont constituées : des observations hydrométriques, en amont du tronçon sur le cours d'eau principal ainsi que sur les affluents ; des prévisions hydrologiques à l'exutoire des bassins versants "élémentaires" situés immédiatement en amont du tronçon ; de l'estimation des apports hydrologiques intermédiaires entre points d'injection des apports de ces bassins versants "élémentaires" ou entre 2 stations hydrométriques ; et des prévision hydrauliques (Marty, 2020) .

b) Systèmes d'alerte précoce

Les systèmes d'alerte précoce, basés sur l'intelligence artificielle, constituent une avancée majeure dans la gestion des risques d'inondation. Ces technologies utilisent des capteurs intelligents, placés stratégiquement le long des cours d'eau, des oueds, et des infrastructures critiques, pour surveiller en temps réel les variations des niveaux d'eau, les précipitations, et d'autres indicateurs environnementaux. Grâce à l'IA, ces systèmes sont capables d'analyser de manière instantanée ces données et de détecter des anomalies susceptibles de déclencher une crue. Lorsqu'un seuil critique est atteint, des alertes sont envoyées aux autorités locales, leur permettant d'agir rapidement et d'avertir la population. Dans de nombreuses villes exposées aux inondations à travers le monde, ces systèmes d'alerte précoce ont démontré leur efficacité. Par exemple, des villes en Asie du Sud-Est ou en Europe ont installé des réseaux de capteurs qui surveillent en continu les rivières et les zones côtières. À chaque détection d'un changement important dans les niveaux d'eau ou la vitesse d'écoulement, ces systèmes déclenchent des alarmes automatiques, activant les plans d'évacuation et permettant de déployer les équipes de secours en avance. Ces technologies combinent également des prévisions météorologiques à haute résolution avec des modèles hydrologiques pour fournir des estimations précises du moment et de la localisation des crues. Cela donne aux autorités non seulement le temps d'évacuer les populations à risque, mais aussi d'organiser la protection des infrastructures et de mobiliser les services de gestion de crise de manière coordonnée. Dans le contexte de Béchar, où l'oued peut rester sec pendant de longues périodes avant de connaître des crues soudaines, un système d'alerte précoce pourrait jouer un rôle déterminant. Le 8 septembre 2024, la montée rapide des eaux a surpris les habitants et les autorités, causant des dégâts considérables. Un système d'alerte, basé sur des capteurs placés tout le long de l'oued Béchar, aurait permis de détecter en amont l'accumulation d'eau dans le bassin versant et de donner l'alerte quelques heures avant la crue. Cela aurait pu permettre l'évacuation des habitants et la fermeture des ponts vulnérables, limitant ainsi les pertes humaines et matérielles. Ces capteurs intelligents peuvent mesurer divers paramètres environnementaux tels que les niveaux d'eau, la pression atmosphérique, l'humidité des sols, et la vitesse des courants. Reliés à des systèmes d'IA, ils analysent ces données pour établir des prévisions précises et actualisées en permanence, tout en améliorant la précision au fil du temps grâce à l'apprentissage automatique. Ainsi, même en l'absence d'événements passés semblables, l'IA peut s'adapter et améliorer ses prédictions pour anticiper de futures inondations. En outre, ces systèmes d'alerte peuvent être connectés directement aux dispositifs de communication d'urgence, envoyant des notifications via les smartphones, les réseaux sociaux ou les services de messagerie instantanée. Cela permet de toucher rapidement un large public et de coordonner les opérations d'évacuation en temps réel. Cette capacité d'alerte immédiate renforce la résilience des communautés en réduisant les délais de réponse et en minimisant les dégâts.

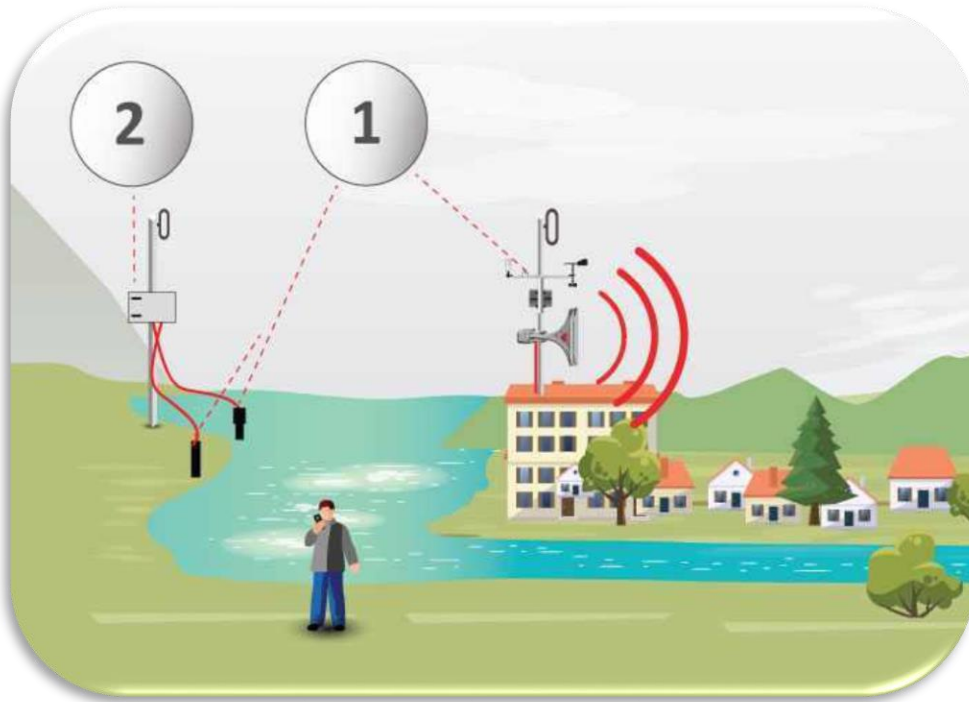


Figure 7. Diagramme du fonctionnement d'un système d'alerte précoce par IA.
Source, Telegrafica, 2021

5. Études de cas et perspectives internationales

Plusieurs villes dans le monde, telles que Rotterdam et Singapour, ont déjà mis en œuvre des solutions IA pour gérer les risques d'inondation. À Béchar, un projet pilote pourrait servir d'exemple pour d'autres régions à risque.

a) Exemple de Rotterdam

Des villes comme Rotterdam, situées en dessous du niveau de la mer, ont adopté des technologies avancées d'IA pour surveiller en temps réel les niveaux d'eau et ajuster les systèmes de drainage. Rotterdam, a adopté **BlueLabel** (C40'smission, 2020), qui procure un aperçu des risques d'inondation à disposition de main en proposant la première analyse numérique de la vulnérabilité de l'eau au monde qui donne des informations détaillées sur les inondations induites par la pluie jusqu'au mètre carré. Cela se interprète par une timbre de risque (AE) sur les bâtiments individuels, les rues et les infrastructures, qui reflète le risque d'inondation. Le but final est d'inciter et d'être proactif dans la protection des catastrophes, plutôt que d'engendrer des mesures de récupération après coup. Rotterdam est un annonciateur et un leader universel dans le domaine de la gestion de l'eau et a une stratégie ambitieuse pour la résilience des villes. Actuellement, 10 % des bâtiments de Rotterdam exposent un risque d'inondation selon BlueLabel. Rotterdam a exploité des technologies intelligentes pour rendre visuelles des données complexes, et donc faciles à comprendre et à appliquer. BlueLabel aide à dégager la résilience climatique et des enseignements d'eau forts dans les villes en procurant une esquisse claire des zones où les inondations d'eau de pluie peuvent s'engendrer. Il montre clairement les points fragiles d'une zone. Cette idée peut être utilisée pour programmer efficacement des interventions

à grande et à petite échelle vers une plus grande résilience aux inondations, améliorant ainsi la qualité de vie.

b) Exemple de Singapour

De même, à Singapour, l'IA est utilisée pour prévenir les inondations dans les zones urbaines denses, grâce à des systèmes automatisés qui régulent les flux d'eau. (Kim, DE., Gourbesville, 2019). ThinkHazard offre une vision ordinaire des risques naturels que présente une zone géographique accordée et dont il faudrait avoir compte dans la vision de la création ou de la mise en œuvre d'un projet, le but étant de renforcer la résilience aux bouleversements et aux coups climatiques (Canavire Bacarreza, 2024). Cet dispositif met en exactitude le degré de vraisemblance d'occurrence de divers risques naturels dans la zone concernée (très faible, faible, modéré et élevé), fournit des directives pour réduire l'influence de ces risques et recommande des ressources documentaires pour aller plus loin. Les rangs de risque indiqués dans l'outil veillent sur les données publiées par divers organisations privés, universitaires et publics.

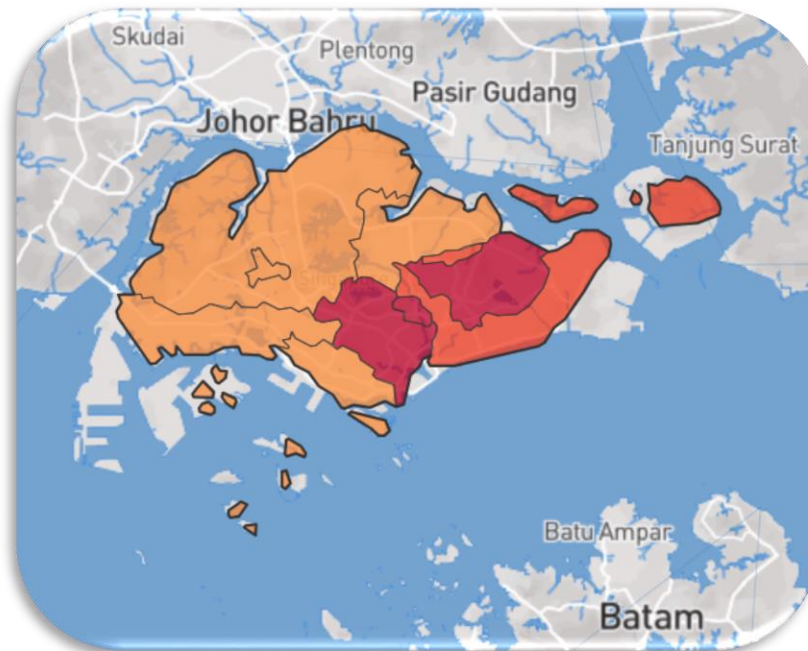


Figure 8. Niveau du risque d'inondation élevé
Source, <https://thinkhazard.org/fr/report/222-singapore/UF>

A Singapour, le danger d'inondation urbaine est élevé, d'après les informations de modélisation dont dispose actuellement ThinkHazard. Par conséquent, on s'attend à ce que des inondations urbaines irritables de causer des dommages et de effrayer des vies surviennent au moins une fois au cours des dix prochaines années.

CONCLUSION

Les inondations de Béchar en 2024 ont mis en lumière la nécessité de moderniser les infrastructures urbaines pour mieux gérer les risques naturels.

[Les résultats de cette étude montrent que la crue soudaine du 8 septembre 2024 a entraîné la destruction de deux ponts structurants, l'inondation de plusieurs quartiers riverains de l'oued Béchar et une perturbation prolongée des réseaux de transport et d'électricité, révélant ainsi une forte vulnérabilité des infrastructures urbaines face aux événements hydrologiques extrêmes.]

L'intelligence artificielle apparaît comme un levier essentiel pour améliorer la résilience des villes face aux phénomènes climatiques extrêmes. [Les analyses menées suggèrent que les outils basés sur l'IA, notamment la modélisation prédictive et les systèmes d'alerte précoce, peuvent contribuer à une réduction significative du temps de réaction des autorités locales et à une meilleure anticipation spatiale des zones à risque, comme le démontrent les expériences internationales présentées.] En combinant modélisation prédictive et systèmes d'alerte précoce, l'IA peut offrir des solutions durables pour la prévention des inondations et la gestion des crises.

[À titre indicatif, la littérature internationale fait état d'un allongement des délais d'alerte de plusieurs heures à plusieurs jours et d'une amélioration notable de la précision des prévisions hydrologiques, ce qui permet de limiter l'exposition des populations et des infrastructures aux crues soudaines.] L'exemple de Béchar montre qu'il est urgent de mettre en place ces technologies pour protéger les populations et les infrastructures. [Toutefois, cette étude présente certaines limites, notamment l'absence de données hydrologiques locales à haute résolution, le manque de dispositifs de mesure en temps réel le long de l'oued Béchar et le caractère prospectif de l'approche proposée, qui ne repose pas encore sur une application opérationnelle de l'IA à l'échelle locale.] Il est essentiel que les décideurs locaux, urbanistes et chercheurs en IA collaborent pour intégrer ces technologies dans les plans de gestion des risques à la ville de Béchar et dans d'autres villes vulnérables. [Dans cette perspective, les recherches futures pourraient porter sur la mise en place de projets pilotes intégrant des capteurs intelligents, le couplage de l'IA avec les systèmes d'information géographique (SIG) et les données hydrologiques locales, ainsi que sur des analyses comparatives entre plusieurs villes semi-arides afin d'évaluer la transférabilité et l'efficacité des solutions proposées.]

REFERENCES

Armstrong, William. Optimisation de la prévision hydrologique d'ensemble par l'intégration de l'apprentissage profond dans une méthode multi-modèle hybride. Mémoire de maîtrise électronique, Montréal, École de technologie supérieure. 2024.

Athanassios Valavanidis, Can Artificial Intelligence (AI) Forecast with Accuracy Flood Events at Global Scale? University Campus Zografou, 15784 Athens, Greece Scientific Reviews, 2024, Global Environmental Problems

Bammou, Y., Benzougagh, B., Igmoullan, B. et al. Spatial Mapping for Multi-Hazard Land Management in Sparsely Vegetated Watersheds Using Machine Learning Algorithms. Environ Earth Sci 83, 447 (2024). <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11741-9>

BEKHIRA A., and all la gestion des risques d'inondations et aménagement des cours d'eaux dans les zones urbaines : cas de la ville de Béchar, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°37, Mars 2019, pp. 75-92

Canavire Bacarreza, Gustavo Javier & Conconi, Adriana & Olivieri, Sergio Daniel & Serio, Monserrat, "Understanding Vulnerability to Poverty and Natural Disasters in Latin America and the Caribbean," Policy Research Working Paper Series 10825, 2024, The World Bank.

Ghazi Al-Rawas, A Critical Review of Emerging Technologies for Flash Flood Prediction: Examining Artificial Intelligence, Machine Learning, Internet of Things, Cloud Computing, and Robotics Techniques, Water 2024, 16(14), 2069; <https://doi.org/10.3390/w16142069>.
Google FloodHub (2024). Flood simulation and prediction tool.

Kim, DE., Gourbesville, P. & Liong, SY. Overcoming data scarcity in flood hazard assessment using remote sensing and artificial neural network. Smart Water 4, 2 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40713-018-0014-5>

Marty, I. Zin and Ch. Obled On adapting PQPFs to fit hydrological needs: the case of flash flood forecasting Atmospheric Science Letter, 9: 73–79 (2008)

Moez Krichen. Utilisation de l'intelligence artificielle pour prédire et atténuer efficacement les inondations. 2024. fahal-04396345f

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

Site web Données cartographiques Google, 2024

<https://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/2014/10/cartegeographiqueBECHAR.html>

Site web <https://elwatan-dz.com/> el-Watan, sept 2024

Site web <https://www.aps.dz/regions/> Algérie Presse Service, APS, oct. 2024

Site web Algérie mes racines <http://www.algeriemeracines.com/index.php>

Site web <https://www.frandroid.com/marques/google/1696707>

Site web <https://www.telegrafia.eu/wp-content/uploads/2021>

Site web <https://www.c40.org/case-studies/rotterdam-blue-label/>