

# **Mécanismes de réponse et stratégies de construction des environnements urbains et ruraux face aux catastrophes causées par l'effet de cascade des typhons**

— Une étude basée sur la région de Hongqiao à Yueqing

**Guo Rui, Wang Qing, Zhang Huanwang, Zhu Libing**

**Résumé:** L'effet de cascade des typhons, c'est-à-dire l'interaction en chaîne des événements catastrophiques et des facteurs multiples entraînant une amplification progressive des pertes, pose un défi majeur aux environnements urbains et ruraux des zones affectées. Réduire les risques et améliorer la résilience urbaine et rurale à travers des stratégies de construction adaptées devient un objectif essentiel pour le développement des environnements de vie. En suivant une approche technique fondée sur la « Mécanisme de réponse – Mécanisme de catastrophe – Stratégies de construction », cette étude empirique se concentre sur le processus en cascade des typhons, des inondations de pluie, des marées et des inondations urbaines dans la zone urbaine de Hongqiao, dans le bassin versant de Yueqing. Elle explique comment les trois niveaux d'échelles (base maritime et terrestre, caractéristiques des bassins versants, et espaces urbains et ruraux) entraînent le processus de cascade des catastrophes. Elle met en lumière la gouvernance orientée vers le « contrôle du processus » et propose des unités de construction de l'environnement urbain et rural basées sur la coordination de l'hydrologie, de la géomorphologie et des besoins sous un objectif combiné de gestion des catastrophes et de résilience. Ce travail vise à définir les mécanismes de réponse des environnements urbains et ruraux face aux catastrophes de l'effet de cascade des typhons, à comprendre les mécanismes non linéaires de transformation des catastrophes et à élaborer des stratégies appropriées pour la construction des environnements urbains et ruraux, afin de fournir des pistes et des méthodes techniques pour améliorer la résilience des environnements urbains et ruraux dans les zones fréquemment touchées par les typhons.

**Mots-clés :** Effet de cascade des typhons ; Environnements urbains et ruraux ; Mécanisme de réponse ; Mécanisme de catastrophe ; Stratégies de construction

## **1. Introduction : La nécessité d'une construction sécuritaire et résiliente face aux catastrophes causées par l'effet de cascade des typhons**

### **1.1 Contexte : Les défis posés par l'effet de cascade du vent, des pluies, des inondations, des marées et des inondations**

Les statistiques de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) montrent qu'entre 1970 et 2019, 38 % des décès mondiaux et 38 % des pertes économiques étaient liés aux cyclones tropicaux, plaçant ces événements au sommet des catastrophes hydrométéorologiques mondiales. Ces dernières années, les catastrophes extrêmes composites déclenchées par les typhons ont causé d'importantes pertes dans les zones affectées de Chine, particulièrement dans

la province du Zhejiang. En 2019, le typhon super fort “Liqima” a provoqué des pluies torrentielles sur presque tous les ruisseaux, réservoirs et écluses dans le bassin de Jiaojiang, augmentant les niveaux d’eau de manière significative, et la ville de Taizhou a été frappée par des pluies exceptionnelles, avec des stations pluviométriques atteignant des niveaux supérieurs à 500 mm, entraînant des inondations urbaines. En 2020, le typhon “Hagupit” a frappé la ville de Wenzhou, combinant des vents, des pluies et des marées de manière dévastatrice. En 2021, le typhon “Yanhua” a créé un record historique de 95 heures de stagnation sur le continent. En 2022, le typhon “Meihua” a causé des pluies de plus de 300 mm dans de nombreuses villes et a coïncidé avec un marée astronomique, entraînant des inondations. En 2023, le typhon “Doksuri” a également provoqué des inondations urbaines et des crues dans les zones du Fujian et du Zhejiang, provoquant des catastrophes à une échelle plus large. Ces événements démontrent que, face aux changements climatiques et à l’évolution des tendances des typhons, ces événements peuvent déclencher des réactions en chaîne avec des interactions complexes, entraînant une expansion continue du risque et l’amplification des pertes, phénomène que l’on appelle l’“effet de cascade”. Ce phénomène est un reflet réel des perturbations des typhons sur les environnements urbains et ruraux.

Face à l’urbanisation croissante et aux défis liés aux incertitudes, il devient essentiel de prévenir les risques et de maintenir une sécurité dynamique, ce qui constitue un objectif majeur pour le développement des environnements humains. En 2021, le plan quinquennal chinois pour 2021-2025 a intégré pour la première fois la notion de « développement et sécurité » dans les orientations de développement socio-économique, plaçant la sécurité au cœur des priorités de développement. En novembre 2023, lors d’une visite à Shanghai, le président Xi Jinping a proposé pour la première fois la « construction des villes résilientes et sûres », mettant en évidence l’importance de la résilience dans la planification et la gestion urbaine. Par conséquent, répondre activement à la stratégie de nouvelle urbanisation et construire un espace national résilient et sûr sont des priorités absolues pour la gestion des environnements urbains et ruraux face aux catastrophes naturelles.

## **1.2 Revue des tendances de recherche sur l’effet de cascade des typhons**

Ces dernières années, à mesure que la compréhension des relations complexes entre les événements catastrophiques et de leurs impacts s’est approfondie, l’effet de cascade des typhons a attiré de plus en plus d’attention. De nombreuses études ont été menées sur l’analyse des scénarios de cascade, les calculs des conditions de catastrophe, la quantification des risques et de la résilience, ainsi que les méthodes de planification d’adaptation. Certains chercheurs ont innové des modèles à l’aide de données historiques de catastrophes ou de données hydrologiques pour renforcer l’explication de la complexité et de l’échelle transversale de l’effet de cascade des typhons, afin d’améliorer la précision des décisions de gestion des risques. D’autres ont abordé des perspectives telles que le couplage des inondations et des vents forts, la corrélation entre typhons et inondations, les chaînes de catastrophes (typhons, inondations, géorisques), les menaces multiples dues aux typhons, aux fortes pluies et aux marées astronomiques, en proposant des solutions d’optimisation des infrastructures urbaines (digues, systèmes de drainage, ponts, équipements industriels, infrastructures vitales) sous des conditions

multirisques. De plus, des études statistiques ont quantifié la probabilité des catastrophes, la distribution des risques, les pertes économiques et le degré de résilience dans différentes régions, mais ces résultats sont souvent à une échelle globale, régionale ou urbaine. Elles tendent également à développer des systèmes d'évaluation de la résilience à partir de dimensions horizontales, telles que l'économie, la société, la perception et les infrastructures, afin de fournir des stratégies macroéconomiques de réduction des catastrophes.

Dans le domaine de la planification et de la construction adaptée aux catastrophes spatiales, l'interaction et la mécanique des liens entre les processus sociaux et naturels ont de plus en plus attiré l'attention[18]. Par exemple, dans le cadre du plan de reconstruction du comté de Nassau à New York après l'ouragan "Sandy", le cabinet néerlandais H+N+S a proposé une vision de la construction "symbiotique avec la baie", qui repose sur cinq types de paysages côtiers tels que les bancs de sable, les îles barrière, les marais, les ruisseaux et les montagnes pour créer un ensemble de stratégies d'adaptation globales. En utilisant la dynamique des formes géomorphologiques comme mécanisme d'intervention spatiale, cette vision offre des stratégies de conception urbaine qui respectent les règles hydrogéomorphologiques[19]. En Chine, des chercheurs[20-21] ont également proposé des stratégies dynamiques d'adaptation aux inondations pendant les typhons pour assurer le fonctionnement normal des villes, au lieu de se contenter de mesures de résilience horizontale pour des stratégies de réduction des risques à l'échelle macroscopique. De plus, des chercheurs[22] soulignent la nécessité de s'intéresser à la construction de villes résilientes à l'échelle transversale afin de répondre aux défis à différentes échelles des "effets en cascade" des typhons, en soutenant les initiatives de la stratégie internationale pour la réduction des risques de catastrophes. Cependant, les recherches existantes ont encore peu exploré les éléments clés de déclenchement et les processus de développement des "effets en cascade" des typhons, rendant difficile de fournir des orientations précises pour la prévention, l'adaptation et l'atténuation des catastrophes dans les zones affectées. La sécurité et la résilience de l'environnement urbain et rural ne dépendent pas simplement d'une optimisation locale sous des technologies spécifiques, ni d'une identification raffinée des risques, mais devraient se concentrer sur l'analyse des relations non linéaires exhibées par les "effets en cascade", en maîtrisant les mécanismes de réponse précis et les méthodes de construction pour atteindre simultanément les objectifs de construction normale et de réduction des risques de catastrophes extrêmes tout en étant compatibles dans l'espace.

### **1.3 Voies de recherche et importance**

Le processus de survenance et de développement des "effets en cascade" des typhons implique différentes échelles spatiales, écosystèmes et systèmes de construction urbains et ruraux, et leurs relations d'interaction. L'environnement urbain et rural, en tant que partie d'un écosystème plus large, devrait chercher une approche holistique de la collaboration homme-nature pour l'adaptation aux catastrophes et la réduction des risques. Sur cette base, cette recherche adopte une perspective multi-échelle, multidimensionnelle et fortement connectée, en prenant pour objet d'étude empirique le groupe urbain de Hongqiao dans la ville de Yueqing, Wenzhou, afin de révéler les mécanismes de réponse de la construction spatiale pour atténuer les risques en

cascade des typhons, d'analyser la mécanique non linéaire du processus des catastrophes en cascade et d'explorer des chemins pratiques précis pour, espérons-le, fournir de nouvelles idées de recherche et de pratique pour les espaces de réduction des risques à petite échelle dans la région du delta du Yangtsé, tout en inspirant les disciplines liées à la planification, à l'architecture et au paysagisme sur la manière dont elles peuvent concilier les exigences rigides de prévention des risques, et saisir les exigences de la construction de la sécurité résiliente pour ouvrir de nouvelles voies de développement pour chaque domaine professionnel.

## **2. Présentation de la zone de recherche**

### **2.1 Objet d'étude : le groupe urbain du bassin de Hongqiao à Yueqing**

Yueqing est une ville de niveau comté sous la juridiction de Wenzhou, située au nord de cette dernière, dans la province du Zhejiang. Elle fait partie de la deuxième vague des zones pilotes pour la construction d'un modèle de développement de haute qualité et de prospérité commune. Le produit intérieur brut de la ville se classe chaque année parmi les premiers de la région. La ville est bordée à l'ouest par les montagnes Yandang et à l'est par la baie de Yueqing. Les montagnes Yandang divisent Yueqing en plusieurs petits bassins fluviaux qui se jettent directement dans la mer. La zone d'étude se situe dans le bassin de Hongqiao, qui couvre une superficie de 236,28 km<sup>2</sup>. Ce bassin est entouré de montagnes et son bassin versant se divise principalement en deux sources : le ruisseau Danxi et le ruisseau Meixi. Les deux ruisseaux se rejoignent après avoir quitté les vallées, formant un réseau dense de rivières. Le canal côtier, après modification pour la gestion de l'eau douce, est relié aux cours d'eau, formant deux embouchures, l'Est et l'Ouest, qui se déversent dans la baie de Yueqing. Le groupe urbain du bassin de Hongqiao, centré autour de la ville de Hongqiao, fait partie des trois principaux groupes urbains du centre-ville de Yueqing, selon le plan général de l'espace du pays de Yueqing 2021-2035, en association avec les groupes urbains de Liubai et de Lecheng (voir la figure 1).

### **2.2 Processus en cascade des catastrophes : Typhon – Pluie-Inondation-Maree – Inondation urbaine**

Au cours des 40 dernières années, les typhons qui ont frappé les villes de Wenzhou et Taizhou ont représenté 75 % de l'ensemble des typhons frappant la province du Zhejiang. Yueqing, situé à la frontière entre Wenzhou et Taizhou, est constamment en première ligne des zones affectées. Bien que le nombre de morts et d'effondrements de bâtiments dus aux vents forts ait considérablement diminué, les inondations restent une réalité systématique à chaque typhon.

Le plan de sécurité de l'eau de Yueqing pour la période du 14e Plan quinquennal a analysé les problèmes du système de sécurité de l'eau et a indiqué que l'interaction entre des niveaux d'eau élevés et de fortes pluies entraîne souvent des inondations urbaines. Les capacités de drainage du groupe urbain de Hongqiao n'ont pas encore atteint les normes[23]. Le plan de défense contre

les catastrophes d'inondations de montagne de Yueqing a souligné que la ville est historiquement une zone à haut risque pour les inondations soudaines, principalement causées par les fortes pluies liées aux typhons[24]. Ainsi, la pluie, l'inondation et la marée servent de lien entre le typhon et les inondations urbaines. Le processus en cascade de catastrophes "Typhon – Pluie-Inondation-Maree – Inondation urbaine" peut être résumé comme une série de phénomènes d'inondation causés par la combinaison de fortes pluies, de crues, et de marées, engendrées par les typhons. Dans ce contexte, où "l'inondation est inévitable, et les gens se noient", il est urgent d'analyser les causes sous-jacentes de la catastrophe et d'explorer leurs interconnexions.

### **3. Mécanismes de réponse de l'environnement urbain et rural face aux catastrophes en cascade des typhons**

Depuis le 13e Plan quinquennal, les zones de comté comme Yueqing ont commencé à renforcer les exigences en matière de sécurité résiliente et de gestion des typhons et des inondations, avec des stratégies de plus en plus systématiques et détaillées qui intègrent les idées de réduction des risques et de gestion des catastrophes[Tableau 1]. Actuellement, le travail de planification de l'espace national se concentre de plus en plus sur la planification détaillée. Ainsi, établir des mécanismes de réponse aux "effets en cascade" des typhons dans le cadre de la planification de l'espace national et de la sécurité du développement devient un préalable pour les méthodes de construction de l'environnement urbain et rural adaptées.

#### **3.1 Interprétation du processus en cascade des catastrophes à trois niveaux : "Surface marine et terrestre – Caractéristiques des bassins versants – Espaces urbains et ruraux"**

Les différents processus écologiques et sociaux opèrent à différentes échelles spatiales, et la compréhension du changement d'échelle est une clé pour comprendre les processus transversaux. Le processus en cascade "Typhon – Pluie-Inondation-Maree – Inondation urbaine" présente un phénomène de dégradation de l'échelle spatiale : à l'échelle macroscopique, la conversion de l'énergie du typhon est influencée par l'interaction entre la surface marine et terrestre ; à l'échelle mesoscopique, les lois hydrologiques de la pluie, de l'inondation et de la marée sont intimement liées aux caractéristiques du bassin versant ; à l'échelle microscopique, l'inondation urbaine est un retour d'interaction entre l'espace urbain et les lois hydrologiques. Actuellement, les interactions entre les espaces terrestres urbains, écologiques, agricoles et marins sont de plus en plus serrées[25], et la planification de l'espace national à tous les niveaux met de plus en plus l'accent sur la sécurité résiliente[26]. Ainsi, il est nécessaire de saisir les mécanismes des catastrophes typhoniques, d'analyser les facteurs moteurs et de les intégrer dans une perspective multi-échelle et multidimensionnelle, en combinant les caractéristiques de la surface marine et terrestre, du bassin versant et de l'espace urbain et rural.

#### **3.2 Orientation de la gestion des risques en cascade basée sur le contrôle des processus**

L'interaction du typhon avec la surface marine et terrestre entraîne une conversion d'énergie inévitable, ce qui nécessite principalement des stratégies de prévention et de protection.

Cependant, les processus hydrologiques de pluie, d'inondation et de marée, ainsi que la formation d'inondations urbaines, sont le résultat d'une "collision violente" entre l'eau et les espaces humains. Bien que les lois de couplage hydrologique, régies par les caractéristiques du bassin versant, soient difficiles à éviter, des mesures d'atténuation peuvent encore être prises grâce à la restauration écologique, la construction d'infrastructures hydrauliques et des ajustements structurels dans la construction de l'environnement urbain et rural.

Ainsi, l'atténuation des risques en cascade des typhons nécessite la mise en place d'un système de gestion orienté vers le "contrôle des processus", visant à réduire la dynamique des sous-processus hydrologiques, à dissiper l'énergie de l'eau et à retarder l'impact des phénomènes hydrologiques. Ce type de gestion permet d'orienter de manière efficace la planification et la construction de l'environnement urbain et rural en tenant compte des spécificités des risques en cascade liés aux typhons. En intégrant ces processus de contrôle, il devient possible de mieux répondre aux défis imposés par les catastrophes et de renforcer la résilience des territoires affectés.

Ces sections traduites visent à approfondir l'analyse de la réponse des environnements urbains et ruraux face aux effets des typhons, en mettant l'accent sur des stratégies adaptées et des solutions intégrées à plusieurs échelles. L'objectif est de contribuer à la recherche et à la mise en œuvre de pratiques de gestion des risques dans les régions vulnérables, en particulier celles affectées par des catastrophes naturelles complexes comme les typhons.

### **3.3 Unités de construction de l'environnement urbain et rural sous l'objectif d'intégration de la prévention des catastrophes : Coordination "Hydrologie-Géomorphologie-Demande"**

Les textures géomorphologiques étant différentes, les conditions hydrologiques varient également. Certaines unités géomorphologiques peuvent favoriser les processus hydrologiques, tandis que d'autres peuvent les atténuer. Par conséquent, les unités géomorphologiques qui aident à atténuer les sous-processus hydrologiques sont en réalité des supports naturels jouant un rôle de "contrôle des processus" dans le système de construction. La direction des sous-processus hydrologiques peut être utilisée comme base pour ancrer les unités géomorphologiques et, en combinaison avec les besoins de développement urbain et rural, à travers la réorganisation spatiale et fonctionnelle, renforcer la texture des unités géomorphologiques, dissiper l'énergie des sous-processus hydrologiques et former des unités de construction de l'environnement urbain et rural favorisant la coordination "Hydrologie-Géomorphologie-Demande" (figure 2). Cela permet de réguler la capacité des sous-processus hydrologiques liés aux typhons, de retarder leur rencontre, de générer une structure coopérative protégeant les environnements urbains et ruraux en amont et en aval, et de compléter les niveaux de gouvernance spatiale pour la prévention et la réduction des catastrophes.

## **4 Stratégies de coopération des unités de construction de l'environnement urbain et rural de la**

**ville de Yueqing, zone de Hongqiao.**

#### **4.1 “Port résilient” pour maintenir l’efficacité de la réduction des marées des plages côtières.**

##### **4.1.1 Pentas sous-marines et géographie de la baie de Yueqing favorisant l’augmentation des marées de tempête**

Les marées de tempête des typhons sont un phénomène d’élévation anormale du niveau de la mer causé par les vents forts et les changements brusques de pression atmosphérique lors du passage d’un typhon au-dessus de la mer. Le degré d’augmentation des eaux est généralement la superposition des effets des vents, de la pression atmosphérique basse et des marées astronomiques.

Cependant, les caractéristiques géographiques côtières et de la baie de Yueqing contribuent également à l’augmentation des marées de tempête. Les pentes sous-marines près de Zhejiang ont une pente moyenne de seulement 1%, ce qui signifie que l’inclinaison est très faible. Près de Wenzhou, la profondeur des pentes sous-marines est inférieure à 20 m, mais leur largeur varie entre 20 et 50 km. La réduction de la profondeur de la mer ralentit la vitesse de propagation des vagues, augmente la hauteur des vagues et élève le niveau de la marée. En même temps, la baie de Yueqing présente une géographie typique de rétrécissement, de sorte que lorsque la marée de tempête avance dans des zones plus étroites, l’espace pour le flux d’eau se restreint, ce qui fait augmenter encore le niveau de la marée. Les données montrent que le niveau de marée le plus élevé enregistré à la station de Shagangtou, près du groupe Hongqiao, a atteint 4,57 m, dû au typhon “Tanmei” de 2013.

##### **4.1.2 L’expansion du port extérieur aggrave la concentration de l’énergie des marées**

L’amplitude maximale des marées dans la baie de Yueqing peut atteindre 8,34 m, et l’amplitude maximale mesurée à la station de Shagangtou est de 7,95 m, ce qui génère une conversion vigoureuse de l’énergie potentielle et cinétique de l’eau. Depuis 2000, les plages côtières de Yueqing ont été progressivement transformées en terrains pour la construction de ports, les canaux de marée ont été interrompus par de nouveaux étangs et des écluses, les canaux à l’intérieur des étangs ont été canalisés, tandis que les canaux de marée à l’extérieur des étangs se sont développés plus lentement en raison de la réduction de l’énergie hydraulique, entraînant la dégradation du système de canaux secondaires, qui ne peut plus dissiper l’énergie des marées et des vagues. Lorsque des marées de tempête se produisent, la pression sur les digues augmente. De plus, les fluctuations du niveau de l’eau érodent et vident les digues, réduisant davantage la stabilité de leur structure. Bien que les structures des digues aient été mises à jour, les digues du groupe Hongqiao ont été conçues avec une hauteur d’environ 6 m, mais le problème fondamental de la concentration de l’énergie des marées reste non résolu.

#### **4.1.3 “Port résilient” et régénération des canaux de marée**

Le plan détaillé de la première phase de l’extension du port de la baie de Yueqing a abandonné l’idée de remblayer totalement les plages côtières et a opté pour un réseau d’eau de surface. Par conséquent, chaque module portuaire, divisé par le réseau d’eau, pourrait planifier un digue circulaire standard, formant des modules de défense contre les marées, brisant le paradigme traditionnel des digues de marée et ouvrant les réseaux d’eau internes comme des canaux de marée, restituant ainsi l’espace aux vagues et aux marées. Cela permettrait de fournir plusieurs routes pour répartir la pression. De plus, l’exemple du projet de restauration écologique des terres basses de Bolsa Chica dans le comté d’Orange en Californie pourrait être pris en référence, en utilisant des stratégies intégrées telles que le remplissage préalable des bancs de sable, le dragage des bassins de marée, la création d’îles artificielles et le renforcement des digues pour renforcer l’impact des marées complètes, créant des conditions favorables à la croissance des marais salants et à la stabilité des dunes de sable. À l’avenir, la construction du “port résilient” de Yueqing devra se concentrer sur les mécanismes de régénération des systèmes de canaux secondaires et des marais salants, la réservation de bassins de marée et des stratégies de remplacement de l’espace pour compenser l’occupation des ressources des plages par la construction du port, optimiser l’organisation des éléments spatiaux et favoriser l’atténuation de l’énergie et le stockage de l’eau en cas de catastrophe, tout en maintenant l’équilibre de la sédimentation et la biodiversité dans la baie de Yueqing.

#### **4.2 Réaménagement de la fonction de dérivation côtière à travers les “casiers écologiques port-ville”**

##### **4.2.1 Les changements dans l’ordre du profil côtier modifient la direction de l’écoulement**

Dans la zone côtière du groupe Hongqiao, grâce à la présence de petites collines, les établissements traditionnels étaient situés sur les pentes, tandis que les terres agricoles gagnées sur la mer étaient situées au centre, laissant les plages et les canaux de marée comme la surface la plus basse et flexible, formant un ordre de dérivation de l’écoulement. Actuellement, avec le développement industriel et portuaire du groupe Hongqiao, certaines terres agricoles ont été transformées ou planifiées pour des zones commerciales et industrielles, les nouvelles parcelles, routes et les digues ayant des normes de construction élevées et des cotes plus hautes, ce qui a créé de petites différences de hauteur entre les anciennes et nouvelles surfaces. En même temps, à mesure que la fonction des anciens digues se transforme en une fonction de protection contre les inondations et de réseau secondaire, des problèmes de subsidence et de déformation sont devenus courants. Même certains digues de première ligne, comme Changshengtang et Youyitang, ont subi une subsidence d’environ 80 à 100 cm, ce qui les empêche de continuer à bloquer les inondations extérieures et à protéger les terres agricoles internes. Lors de l’élévation des marées, l’écoulement de surface dans la région côtière est facilement concentré dans les terres agricoles entourées de vieux digues ou dans les zones planes du centre et du nord-ouest.



#### **4.2.2 “Compartiment écologique de la ville portuaire” : Convergence et dissipation sur place**

Avec la mise en œuvre du projet d’extension de la zone portuaire de la phase I, la région côtière sera reculée pour devenir une zone tampon entre la ville centrale du groupe Hongqiao et la zone portuaire. Elle deviendra un secteur clé pour l’émergence de nouveaux types de commerces et l’upgrading des modes de vie dans le cadre de l’intégration ville-port. Il est donc nécessaire de redéfinir l’ordre du profil et de créer un micro-relief qui permet de diriger et de dissiper l’eau sur place, afin de réduire le risque d’inondation en transférant le problème des terres agricoles et des plaines centrales, tout en créant un sens de compartimentage régional. Les stratégies de construction spécifiques sont les suivantes :

##### **1. Restructuration de l’élévation du profil multiple**

Bien que l’ordre traditionnel du profil de la terre à la mer soit perturbé, il est toujours possible de chercher des opportunités de restructuration de l’élévation à partir d’autres profils. Par exemple, en démolissant et déplaçant les anciens étangs à bords courts, on peut libérer de l’espace pour des zones aquatiques ou des zones humides écologiques inondables, permettant ainsi de créer un modèle de construction semblable à celui des terres asséchées, et augmentant la probabilité de connexion avec la rivière extérieure. Les nouvelles zones aquatiques ou zones humides doivent être reliées au réseau hydraulique existant, avec une attention particulière à connecter les rivières coupées et à réaliser des travaux de dragage pour améliorer la capacité de régulation du réseau.

##### **2. Définition des frontières**

Le standard de construction élevé de l’autoroute Shenhai, qui constitue la frontière arrière, permet d’implanter des infrastructures de développement à faible impact telles que des bords de route pour la gestion des eaux de pluie, des caniveaux végétalisés, et des bassins de rétention le long des deux côtés de l’autoroute. Les carrefours de circulation agissent comme des zones vertes de grande échelle pour réduire les risques, servant de nœuds pour relier le réseau de drainage et les infrastructures de développement à faible impact. En outre, le système de gestion des eaux de pluie le long de l’autoroute Shenhai peut également devenir un passage reliant les rivières Donggan et Xigan, facilitant ainsi l’amélioration de la capacité de régulation des rivières.

##### **3. Activation des espaces gris**

Dans la zone industrielle portuaire déjà construite, il existe de nombreuses friches et pelouses urbaines qui, en raison de la nature de l’occupation humaine et du type d’utilisation des sols, ne jouent pas encore de rôle dans l’optimisation de l’environnement écologique et l’amélioration de la qualité urbaine. Ces espaces gris peuvent être transformés en sites déprimés, adaptés à des usages alternatifs en cas de catastrophe, et combinés avec l’orientation centrale du corridor récréatif et touristique de la baie de Yueqing pour créer des nœuds culturels portuaires. En temps normal, ces espaces peuvent offrir des zones de détente et d’accueil pour les travailleurs et les visiteurs du port, tandis qu’en cas de catastrophe, ils peuvent être convertis en espaces de stockage d’eau, reliés au développement de l’espace souterrain par des techniques de drainage souterrain et d’infiltration.

### **4.3 Stimuler la collaboration des terrains en pente pour la gestion des inondations : “Barrière circulaire de montagne”**

#### **4.3.1 La topographie complexe intensifie l’intensité des typhons et des pluies torrentielles, les caractéristiques du bassin favorisant les inondations de montagne**

Les montagnes de Zhejiang sont élevées et complexes, et lors de l’approche d’un typhon, les montagnes exercent un effet de soulèvement et de blocage sur les courants près du sol, forçant la vapeur d’eau à monter et se condenser, ralentissant la vitesse de déplacement du typhon et intensifiant les précipitations. Par ailleurs, l’effet de convergence des courants dans les vallées favorise la formation de petites turbulences et de convulsions locales, amplifiant davantage les pluies de typhon dans des terrains complexes. Par conséquent, la forme d’intensité des pluies de typhon dans la province de Zhejiang se caractérise souvent par une forte intensification après l’atterrissage.

Les montagnes entourant le groupe Hongqiao présentent une disposition spatiale en forme d’anneau, avec des montagnes élevées à l’ouest et des collines basses de plus de 200 mètres d’altitude à l’est. Les pentes de la ligne circulaire sont généralement supérieures à 25 %, créant principalement des ruisseaux de montagne rapides à l’ouest, tandis qu’à l’est, il n’y a pas de rivières permanentes. Les processus de convergence des eaux se manifestent généralement sous forme de flux de pente, et lors des fortes pluies, les inondations de montagne se déversent de tous côtés vers la plaine centrale.

Le coefficient de ruissellement est le rapport entre la profondeur du ruissellement  $R$  à un moment donné et la profondeur moyenne des précipitations  $P$  pendant la même période, noté  $\alpha$ . Selon la définition, on a :

$$\alpha = R/P$$

Pour un bassin fermé, puisque  $R < P$ , alors  $\alpha < 1$ . Un coefficient de ruissellement  $\alpha$  élevé indique que les précipitations sont moins susceptibles d’être absorbées par le sol, augmentant la charge du système de drainage les jours de forte pluie. Le coefficient de ruissellement du bassin de Hongqiao est  $\alpha = 0.7$ , ce qui signifie qu’environ 70 % des précipitations se transforment en ruissellement de surface, limitant considérablement la capacité de pénétration du sol. Par exemple, pendant l’impact du typhon “Liqima” en 2019 et du typhon “Haigubi” en 2020, les précipitations moyennes dans le bassin de Hongqiao ont atteint respectivement 341,1 mm et 257,7 mm, entraînant des volumes de ruissellement respectifs d’environ 5,65 millions de m<sup>3</sup> et 4,26 millions de m<sup>3</sup>, provoquant des inondations de montagne.

#### **4.3.2 Planification tardive de la gestion des inondations en amont**

Pour prévenir les inondations de montagne en amont, le groupe Hongqiao s'appuie principalement sur les infrastructures hydrauliques telles que le réservoir de Danxi et les barrages le long de l'axe de la rivière, construits en 1968. Cependant, la complexité géomorphologique de la zone en amont de Meixi est bien plus grande que celle de Danxi, ce qui rend difficile une gestion uniforme des inondations de montagne. La zone amont de Meixi est en grande partie une petite unité de bassin, avec des vallées et des terrains variés, notamment des cônes de débris au pied des montagnes à l'ouest et des méandres fluviaux avant l'exutoire de la vallée à l'est. La diversité des caractéristiques géomorphologiques implique des conditions hydrologiques différentes, et la seule construction d'infrastructures hydrauliques le long des rivières ne suffit pas à maîtriser les inondations de montagne dans le bassin supérieur de Meixi. Par ailleurs, ces dernières années, la région a fortement développé l'industrie du tourisme culturel et accéléré la construction des canaux et des réseaux de drainage, réduisant ainsi les capacités de rétention et de stockage, sans qu'il y ait eu d'efforts pour discuter de la planification de la gestion des inondations de manière ciblée.

#### **4.3.3 L'imperméabilité des pentes est accentuée, et les surfaces des cours d'eau de montagne sont insuffisantes**

Les types de terrains du groupe Hongqiao présentent une structure imbriquée à plusieurs niveaux allant des forêts, des jardins, des villages et des terres agricoles à la ville centrale, notamment dans les zones de vallées montagneuses. Grâce aux aménagements du terrain et à la mise à niveau de l'agriculture, des structures en terrasses se sont formées, pouvant agir comme des réservoirs pour les eaux pluviales. Cependant, avec l'industrialisation et l'urbanisation progressant sur place, l'imperméabilisation du sol par le durcissement des routes et la construction massive de zones industrielles a considérablement augmenté la surface imperméable, affaiblissant ainsi le système de gestion des inondations de montagne déjà fragile.

Actuellement, le groupe Hongqiao renforce la connectivité des cours d'eau autour des montagnes. Des rivières telles que Lehongtang, Shifan et Dongpai ont relié de petits et grands réseaux d'eau radiaux, facilitant ainsi la réparation partielle du système de gestion des inondations de montagne. Cependant, le niveau global des cours d'eau de montagne reste faible, avec une superficie totale de seulement environ 0,73 km<sup>2</sup>, manquant encore de capacité pour atténuer efficacement les inondations de montagne causées par les fortes pluies.

#### **4.3.4 Gestion spatiale partagée à plusieurs niveaux du "bouclier de montagne circulaire" à double couche et double réservoir**

L'espace montagneux entre le groupe de Hongqiao et la plaine centrale présente une diversité de formes géographiques. Il est nécessaire de le réorganiser avec une perspective globale, en utilisant l'inondation comme guide, afin de former un "bouclier de montagne circulaire". Les stratégies d'ajustement correspondantes sont illustrées dans la figure 6.

Dans les conditions de vallées et de cônes de déjection fluvioglaciaires, il est essentiel d'optimiser l'espace utile en abaissant ou en élevant les niveaux. Pour l'abaissement, il convient de repérer les zones unilatérales existantes des rivières montagneuses, de revitaliser le réseau hydraulique existant, et de transformer les rivières montagneuses à un seul niveau en un système à double couche, pour compléter la capacité de stockage insuffisante. En ce qui concerne l'élévation, il faut compléter les rivières montagneuses dans le bassin amont de la rivière Meixi, activer le potentiel de rétention des inondations du bassin, et créer une structure de "double réservoir" avec le réservoir de Danxi, afin d'atténuer la pression sur les zones en aval après l'évacuation des rivières Danxi et Meixi pendant la période de crue. Sur cette base, il est nécessaire de continuer à construire un rôle synergique de rétention des inondations pour les quatre types d'utilisation des terres dans l'espace montagneux : les jardins, l'environnement bâti, les terres agricoles et les petites étendues d'eau. En suivant le principe de "répartition ponctuelle et développement vertical" des villages en pente dans la province du Zhejiang, les conceptions architecturales doivent respecter les limites des frontières des bâtiments, en s'adaptant au terrain pour créer une disposition en hauteur, utilisant des techniques comme l'élévation ou le semi-souterrain, tout en conservant au maximum la texture en terrasse des jardins et des terres agricoles environnantes. Les petites étendues d'eau peuvent être utilisées pour retarder l'évacuation des eaux en modifiant le tracé et en augmentant l'espace de stockage de l'eau.

En résumé, bien que le groupe de Hongqiao soit confronté à plusieurs facteurs qui favorisent les fortes pluies et les inondations de montagne, il est toujours possible de réduire les menaces des crues et des inondations en ajustant la structure de l'espace et les méthodes de construction, pour former un système de gestion de l'eau à "double couche et double réservoir" et créer des textures multi-niveaux où le "jardin – construction – agriculture – eau" participe conjointement au processus de chute d'eau.

#### **4.4 Activation de l'espace de réserve de catastrophe par le "réseau sensible à l'eau"**

##### **4.4.1 Objectifs de construction empiétant sur les espaces riverains de la plaine centrale**

Les espaces riverains de la plaine centrale du groupe de Hongqiao sont plats et bien desservis par des transports, ce qui en fait une zone principale pour l'expansion de l'urbanisation spatiale. En utilisant les données de couverture de sol à 30 m de précision de 1985 à 2020, nous avons calculé les tendances de changement des différents types d'utilisation des terres dans les zones riveraines. Les résultats montrent que l'environnement bâti urbain a empiété sur les espaces de rizières basses et les ressources écologiques, ce qui a entraîné la perte de la fonction naturelle de rétention et de stockage de l'eau des rizières. Au cours des 35 dernières années, dans les espaces riverains de 10 m, 30 m et 50 m, les tendances de changement de l'utilisation des terres sont similaires, avec une diminution des superficies de rizières de 4,35 km<sup>2</sup>, 7,5 km<sup>2</sup> et 10,5 km<sup>2</sup> respectivement, une réduction des zones forestières de 0,4 km<sup>2</sup>, 1,06 km<sup>2</sup> et 1,71 km<sup>2</sup>, tandis que l'environnement bâti a augmenté de 2,79 km<sup>2</sup>, 6,07 km<sup>2</sup> et 9,28 km<sup>2</sup>. Dans les espaces riverains de 50 m, l'augmentation de l'environnement bâti et sa distribution sont étroitement alignées

avec les objectifs de construction de l'urbanisation : de 1995 à 2005, l'expansion du centre-ville dépendait entièrement de la rive centrale ; de 2005 à 2015, la construction de portes urbaines comme les sorties d'autoroutes, les gares à grande vitesse et les ports a fortement empiété sur les rives locales ; de 2015 à 2020, l'industrialisation des zones rurales a continué à empiéter sur les rives périphériques.

#### **4.4.2 Faibles capacités de dissipation et de protection des rivières**

Les rivières du bassin de Hongqiao ne sont globalement pas encore bien développées, et la plaine centrale possède de nombreuses petites rivières et étangs de faible niveau. La topographie des rivières et les zones humides de faible altitude, qui pourraient dissiper l'énergie de l'eau, sont naturellement insuffisantes, comme l'absence de séquences de fossés profonds – bancs peu profonds, courbes de rivières, lits de rivières en dépression, ainsi que de bras morts, de lacs en fer à cheval, de fossés de barrages roulants, ce qui rend difficile l'absorption des eaux de pluie, des crues et des inondations. En même temps, les petites collines naturelles le long des rives sont rares, ce qui empêche les villages de former des enclaves naturelles. Les sites ont été choisis de manière relativement aléatoire, et les espaces résidentiels sont susceptibles d'être inondés.

L'empiétement sur l'espace construit a aggravé la perte de la capacité naturelle de dissipation et de protection des rives, rendant difficile l'atténuation de l'impact des catastrophes extrêmes causées par les typhons. Par exemple, pendant le passage du typhon "Hagupit" (2020, n°2004) à Wenzhou, la capacité totale de stockage d'urgence du réseau hydraulique de la plaine centrale du bassin de Hongqiao était seulement de 2,5 millions de m<sup>3</sup>, alors que la pluie du 3 novembre atteignait 4,97 millions de m<sup>3</sup>, et le 4 novembre, à 5 heures du matin, la pluie maximale de 1 heure était de 117 mm à la station Shifan, dans le groupe de Hongqiao. Ces deux villes ont accumulé environ 5,07 millions de m<sup>3</sup> d'eau en une heure. En même temps, la marée montante de la baie de Leqing a commencé à 5 heures, créant une rencontre de pluie, de crue et de marée. À 6 h 20 le 4 novembre, tous les canaux du bassin de Hongqiao ont dépassé le niveau d'alerte, atteignant 1,57 m de marée au niveau de la station de Shagangtou et 3,69 m à la station de Hongqiao à 12 h, entraînant des problèmes importants d'évacuation de l'eau et des inondations sévères.

#### **4.4.3 Combinaison des niveaux de dissipation du "réseau sensible à l'eau"**

À l'avenir, l'accélération des typhons entraînera une intensification des pluies extrêmes et des tempêtes, et la proximité des points de forte intensité des typhons avec la côte renforcera l'intensité des vagues de tempête. Le groupe de Hongqiao, avec sa faible capacité de dissipation et de protection naturelle des rives, devra renforcer la construction d'un réseau d'infrastructures sensibles à l'eau, afin de maximiser l'activation de l'espace de réserve en cas de catastrophe extrême et de réduire la pression sur les systèmes de drainage.

En lien avec la planification de l'espace du groupe de Hongqiao, le "réseau sensible à l'eau" peut être constitué de cinq sous-systèmes combinés : les rivières, les espaces verts et ouverts de catégorie G, les espaces non intérieurs des zones A/B/M, les petites infrastructures de transport de type S, et les espaces résiduels dans les zones résidentielles de type R. Dans l'environnement bâti, l'espace doit être ajusté en fonction de la forme des types d'espace et des scénarios hydrologiques, et les infrastructures hydrauliques doivent être organisées. Les interventions humaines dans les processus de transport des sédiments et de déviation des courants permettront d'augmenter les nœuds de processus dans les rivières et de restaurer leur capacité d'adaptation aux inondations et aux crues.

Le "réseau sensible à l'eau" se superpose spatialement avec les zones résilientes des ports, les modules écologiques des villes portuaires, et le bouclier de montagne circulaire, mais se concentre davantage sur la correction à l'échelle du site, consolidant ainsi les trois éléments pour dissiper et transférer l'énergie de l'eau. De plus, le paradigme du réseau sensible à l'eau a une signification topologique d'échelle et peut être étendu à l'ensemble du bassin tout en étant appliqué à des sites spécifiques comme

## **5. Conclusion**

Afin de répondre aux défis posés par les effets en cascade des typhons sur les environnements urbains et ruraux, cette étude prend comme exemple le groupe urbain de la vallée de Hongqiao dans la ville de Yueqing. En analysant le processus en cascade "typhon-pluie-inondation-marée-coûtière", elle explique trois mécanismes de réponse de l'environnement urbain et rural :

Premièrement, des informations sont collectées à l'aide d'une échelle hiérarchique en trois niveaux : "surface terrestre et marine - caractéristiques du bassin versant - espace urbain et rural", afin de saisir les caractéristiques des systèmes et des processus écologiques-sociaux à différents niveaux tels que la mer, la terre, le bassin versant et l'espace urbain et rural, et de comprendre la relation d'interaction entre les catastrophes causées par les typhons et les systèmes impliqués, renforçant ainsi l'interprétation des "effets en cascade" des typhons.

Deuxièmement, un orienté vers la "gestion des risques par le contrôle des processus" est défini, visant à promouvoir la dissipation et le transfert de l'énergie des sous-processus hydrologiques du typhon, à retarder la rencontre et le couplage des sous-processus hydrologiques, et à atténuer l'intensification des lois de couplage hydrologique due au développement urbain et rural.

Troisièmement, une unité de construction de l'environnement urbain et rural "hydrologique-géomorphologique-demande" est conçue sous l'objectif de combinaison de prévention et de gestion des catastrophes. Cette approche, orientée vers la résolution de problèmes, promeut la gouvernance des risques de catastrophes tout en assurant la compatibilité spatiale des objectifs

de développement durable.

Sur cette base, grâce à des calculs quantitatifs et des enquêtes de terrain, les mécanismes non linéaires des catastrophes causées par les typhons dans le groupe urbain de Hongqiao ont été clarifiés. Les facteurs spatiaux à différentes échelles affectant l'accumulation d'énergie des marées cycloniques sur les plages côtières, le flux désordonné des eaux côtières, les inondations de pentes et le manque d'espace de réserve dans les plaines centrales ont été analysés. Ainsi, des unités de construction de l'environnement urbain et rural telles que le "port résilient", la "cloison écologique du port et de la ville", la "barrière de protection des montagnes" et le "réseau sensible à l'eau" ont été formées, accompagnées de stratégies adaptées. Un modèle de coopération entre ces unités a été créé pour atténuer l'accumulation d'inondations dues à la combinaison de la pluie, des inondations et des marées, dans l'espoir que les résultats de la recherche puissent guider et servir de référence pour les activités de construction de la résilience aux catastrophes dans les environnements urbains et ruraux des régions fréquemment touchées par les typhons.

#### Notes :

1. Les données proviennent du Centre de publication des informations hydrologiques de Taizhou. <http://www.shui00.com/ZhswFloodWater/web/html/index.html?module=wssyq>
2. Les données proviennent de l'"Annuaire des catastrophes météorologiques de Chine (2004-2021)", du site web des typhons de Chine et des documents officiels des départements concernés de la province de Zhejiang.
3. Les données proviennent du "Plan de construction du projet de sécurité côtière de Yueqing (2020-2030)". [http://www.yueqing.gov.cn/art/2020/12/7/art\\_1229265762\\_25141.html](http://www.yueqing.gov.cn/art/2020/12/7/art_1229265762_25141.html)
4. Les données proviennent du Département des ressources en eau de Yueqing.
5. Les données proviennent de l'Institut de recherche en information aérospatiale de l'Académie chinoise des sciences. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8239305>
6. Les données proviennent du "Rapport sur l'état de l'eau à Wenzhou, début août 2020". [http://wzsl.wenzhou.gov.cn/art/2020/8/11/art\\_1324820\\_54270962.html](http://wzsl.wenzhou.gov.cn/art/2020/8/11/art_1324820_54270962.html)

#### Références

- [1] WMO. Atlas de l'OMM sur la mortalité et les pertes économiques dues aux extrêmes météorologiques, climatiques et liés à l'eau (1970-2019) [EB/OL]. 31-10-2023. <https://library.wmo.int/records/item/57564-wmo-atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climate-and-water-extremes-1970-2019#.YS4KedP7TX0>.
- [2] Ding Yeyi. "Force de l'intensité des catastrophes de 'Meihua', allant de très forte à grave" [N]. Ningbo Daily, 16-09-2022 (A2).

- [3] Ministère chinois de la gestion des urgences. Le Ministère de la gestion des urgences publie la situation des catastrophes naturelles nationales pour les trois premiers trimestres de 2023 [EB/OL]. 02-11-2023. [https://www.mem.gov.cn/xw/yjglbgzdt/202310/20231008\\_465002.shtml](https://www.mem.gov.cn/xw/yjglbgzdt/202310/20231008_465002.shtml).
- [4] Wei Jiuchang. Couplage et cascades de risques : les causes complexes de l'évolution des risques émergents sociaux [J]. *Xuehai*, 2019(4): 125-134.
- [5] UNDRR. Etude préliminaire sur les risques combinés, en cascade et systémiques en Asie-Pacifique [EB/OL]. 31-01-2024. <https://www.undrr.org/publication/scoping-study-compound-cascading-and-systemic-risks-asia-pacific>.
- [6] Gouvernement central de la République populaire de Chine. Le plan quinquennal pour le développement économique et social de la République populaire de Chine pour la quatorzième période et les objectifs à long terme pour 2035 [EB/OL]. 20-06-2023. [https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\\_5592681.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm).
- [7] Tang P, Zhong W, Wen J, et al. Développer et comprendre le scénario des effets en cascade des typhons dans les grandes villes côtières du point de vue des systèmes pour la réduction des risques de catastrophe : étude de cas de Shenzhen, Chine [J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2023, 92: 103691.
- [8] Zhang Z, Lu Y, Hu D, et al. Cadre de modélisation multi-échelles pour simuler les inondations composées induites par les typhons et évaluer la réponse d'urgence dans les régions urbaines [J]. *Ocean and Coastal Management*, 2023, 245.
- [9] Lan Meng. Mécanisme de catastrophe et quantification des risques dans les clusters industriels côtiers induits par les typhons [D]. Université des sciences et technologies de Chine, 2022.
- [10] Xu Wei, Liu Pei, Huang Pengfei, et al. Analyse des risques combinés des inondations et des marées dans le bassin du fleuve Pearl [J]. *Hydrologie*, 2023, 43(2): 110-114.
- [11] Yang Haiyan, Ye Guihong, Zhou Guangyu, et al. Analyse et optimisation du système de drainage urbain et de prévention des inondations face aux marées et aux pluies [J]. *Science et technologie et ingénierie*, 2019, 19(21): 271-277.
- [12] Snaiki R, Wu T, Whittaker A S, et al. Effets du vent des ouragans et des vagues de tempête sur les ponts côtiers dans un climat changeant [J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2020, 2674(6): 23-32.
- [13] Xie Lei, Zhou Pengfei, Yang Hongyi, et al. Exploration du paradigme de résilience des infrastructures vitales côtières sous l'impact du changement climatique : Cas de la ville de Ningbo [J]. *Journal d'Urbanisme*, 2022 (S2): 81-88.
- [14] Wang Qing. Simulation des typhons et étude des risques de tempêtes dans les zones côtières de Chine sous l'effet du changement climatique [D]. Université de Zhejiang, 2022.
- [15] Wang Ting, Wu Shaohong, Gao Jiangbo, et al. Évaluation des capacités de réduction des risques dans les chaînes de catastrophes typhons-inondations-catastrophes géologiques [J]. *Études sur les catastrophes*, 2022, 37(4): 193-200.



- [16] Xu Hongshi, Lian Jijian, Bin Lingling, et al. Étude sur la distribution conjointe des facteurs multifacteurs des catastrophes de typhons [J]. *Géographie*, 2018, 38(12): 2118-2124.
- [17] Zeng Peng, Su Chaohui, Fang Weihua, et al. Évaluation des pertes des catastrophes d'inondation secondaires des typhons dans la ville de Haikou, basée sur des données de type de bâtiment de haute précision [J]. *Études sur les catastrophes*, 2022, 37(4): 155-165.
- [18] Wang Qianwen, Zhao Guangyu, Zeng Jian. De "l'opposition" à "l'unification" : Exploration des voies de développement urbain combinant développement socio-économique et protection écologique [J]. *Urbanisme*, 2022, 46(12): 110-120.
- [19] Rebuild by Design. Vivre avec la baie [EB/OL]. 30-06-2022. <https://rebuild-by-design.org/work/funded-projects/living-with-the-bay/>.
- [20] Chen Bilin, Li Yinglong. Évaluation de la transformation adaptative des villes côtières à forte densité sous la résilience aux inondations : Cas de la zone de mangroves de Shenzhen [J]. *Journal d'Urbanisme*, 2023 (4): 77-86.
- [21] Guo Rui, Wang Zhu, Qiu Zhi, et al. Stratégies d'adaptation de la construction de l'habitat sous le mécanisme de catastrophe des typhons et des inondations : étude basée sur les plaines côtières de Zhejiang [J]. *Journal d'Habitat et Environnement*, 2022, 37(6): 52-58.
- [22] Peng Xiongliang, Jiang Hongqing, Huang Duo, et al. Stratégies spatiales de résilience des villes du Guangdong-Hong Kong-Macao Bay Area pour s'adapter aux climats de typhons [J]. *Recherche en développement urbain*, 2019, 26(4): 55-62.
- [23] Gouvernement municipal de Yueqing. Plan de sécurité en eau de Yueqing pour la période "14e Cinq-Ans" [EB/OL]. 25-10-2023. [http://www.yueqing.gov.cn/art/2021/12/31/art\\_1229597093\\_4006343.html](http://www.yueqing.gov.cn/art/2021/12/31/art_1229597093_4006343.html).
- [24] Gouvernement municipal de Yueqing. Bureau du gouvernement municipal de Yueqing. Plan de défense contre les inondations de montagne à Yueqing [EB/OL]. 05-03-2024. [https://www.yueqing.gov.cn/art/2022/6/9/art\\_1229145288\\_1999343.html](https://www.yueqing.gov.cn/art/2022/6/9/art_1229145288_1999343.html).
- [25] Pan Haixiao, Dai Shenzhi, Zhao Yanqing, et al. "Résilience urbaine face aux changements climatiques et aménagement spatial" [J]. *Journal d'Urbanisme*, 2021 (5): 1-10.
- [26] Dai Shenzhi, Liu Tingting, Gao Xiaoyu, et al. Système de planification de la réduction des risques et des catastrophes dans l'espace terrestre et mécanisme de mise en œuvre [J]. *Journal d'Urbanisme*, 2023 (1): 48-53.
- [27] Guo Rui, Wang Zhu, Zheng Yuan, et al. Concept de la résilience aux inondations dans les environnements d'habitation sous une perspective de point de vue imbriqué et stratégies de construction [J]. *Nouvelle architecture*, 2022 (6): 129-133.
- [28] Yan Wentao, Ren Jie, Zhang Shangwu, et al. Planification des villes résilientes à Shanghai : enjeux clés, cadre général et stratégies de planification [J]. *Journal d'Urbanisme*, 2022 (3): 19-28.
- [29] Li Shanglu, Zeng Jian, Zhu Ye, et al. Catastrophes de typhons et de tempêtes sur la côte de Zhejiang : 1949-2020 [M]. Pékin : Éditions océaniques, 2021.

[30] Cao Chao, Cai Feng, Zheng Yongling, et al. Analyse des caractéristiques du fond marin et des types de profils dans les eaux côtières de la Chine [J]. Journal de l'Université du Sud-Central (Sciences naturelles), 2014, 45(2): 483-494.

[31] Cai Feng. **Atlas océanographique des côtes chinoises, fonds marins et formes géomorphologiques** [M]. Pékin : Éditions océaniques, 2016.

[32] Comité de rédaction de l'**Encyclopédie des baies chinoises. Encyclopédie des baies chinoises (Volume 6 : Baies du sud de la province de Zhejiang)** [M]. Pékin : Éditions océaniques, 1993.

[33] Xia Ruoqi, Han Zhiyuan, Xu Ting. **Caractéristiques hydrodynamiques et sédimentaires de la baie de Yueqing** [J]. Voies navigables et ports, 2014 (5): 503-508.

[34] Wetlands Recovery Project. **Restauration des zones humides de Bolsa Chica** [EB/OL]. 06-12-2023. <https://scwrp.org/projects/bolsa-chica-lowlands-restoration/>.

[35] Chen Lienshou, Xu Yinglong. **Revue des typhons et des pluies torrentielles en Chine**. Météorologie et sciences de l'environnement, 2017, 40(1): 3-10.

[36] Lou Xiaofen, Ma Hao, Huang Xuanxuan, et al. **Analyse des causes des précipitations extrêmes provoquées par le typhon "Lekima" en Zhejiang** [J]. Sciences météorologiques, 2020, 40(1): 78-88.

[37] Wang Kai, Li Yuan, Gao Li, et al. **L'impact de la topographie de l'est de Zhejiang sur la nature des typhons : le cas du typhon "Lekima" n° 1909** [J]. Prévisions océaniques, 2022, 39(1): 11-20.

[38] Yu Zhenshou, Ji Chunxiao, Dong Meiyong, et al. **Étude statistique des caractéristiques d'amplification des pluies de typhons sur plusieurs échelles temporelles en Zhejiang** [J]. Météorologie, 2017, 43(12): 1496-1506.

[39] Bureau des ressources en eau de la ville de Yueqing. **Ressources en eau de Yueqing** [M]. Nankin : Presses de l'Université de l'eau et des eaux, 1994.

[40] Knutson T R, McBride J L, Chan J, et al. **Les cyclones tropicaux et le changement climatique** [J]. Nature Geoscience, 2010, 3(3): 157-163.

[41] Patricola C M, Wehner M F. **Influences anthropiques sur les événements majeurs de cyclones tropicaux** [J]. Nature, 2018, 563(7731): 339-346.

[42] Wang S, Toumi R. **Migration récente des cyclones tropicaux vers les côtes** [J]. Science (American Association for the Advancement of Science), 2021, 371(6528): 514-517.