

Délimiter les lignes de recul de la construction côtière à partir des solutions fondées sur la nature (NbS) : le cas de la ville de Dalian

An Yibin, Xu Xiaoli, Rong Yuejing, Zhang Ning, Yang Likun

Résumé

Les lignes de recul de la construction côtière constituent un instrument de contrôle de l'aménagement largement utilisé par les pays littoraux. Elles fournissent une base importante pour orienter la planification et la construction dans les zones côtières et occupent une place centrale dans la planification spécialisée du littoral. Or, parce que les zones côtières concentrent des besoins de développement multidimensionnels, les méthodes actuelles de délimitation restent limitées face à la diversité des types de rivage et aux exigences de protection des écosystèmes. En réponse aux besoins de gouvernance spatiale du littoral, cette étude renforce les principes de coordination terre-mer et de priorité écologique. À partir des approches techniques existantes, elle introduit le concept de solutions fondées sur la nature (NbS), intègre une analyse spatiale multicritère par superposition et construit une méthode technique de délimitation des lignes de recul de la construction côtière selon une perspective NbS. La méthode est appliquée à Dalian, importante ville littorale du nord de la Chine. Les résultats montrent que, par rapport aux approches antérieures, la méthode proposée fournit des seuils de recul plus complets pour les rivages complexes dans la pratique de la planification. Elle peut apporter un appui technique à la planification et à la gestion du littoral de Dalian, ainsi qu'à la protection et au développement durable des écosystèmes côtiers.

Mots-clés

planification spécialisée du littoral ; solutions fondées sur la nature (NbS) ; ligne de recul de la construction côtière ; risque de catastrophe et résilience ; services écosystémiques

1 Contexte et analyse des lignes de recul de la construction côtière

En tant qu'écosystèmes composites de transition entre la terre et la mer, les zones côtières se caractérisent par une grande diversité d'écosystèmes, une richesse en ressources naturelles et une forte pluralité d'activités socioéconomiques. Elles constituent donc le principal support spatial de la stratégie de développement coordonné terre-mer [1]. La planification spatiale territoriale en Chine passe d'une logique de plans isolés à une construction systémique coordonnant plusieurs niveaux et types de plans. Les limites de protection de base et les lignes de contrôle sont mobilisées pour renforcer l'efficacité de la mise en œuvre [2-3]. Les plans spécialisés de protection et d'utilisation du littoral, élaborés selon une perspective de coordination terre-mer, dépassent la pensée traditionnelle consistant à « définir la mer à partir de la terre » et, dans un cadre systémique, optimisent globalement la structure spatiale et la gouvernance intégrée des zones côtières [4].

Selon les attributs du rivage et les caractéristiques de l'environnement naturel, une ligne de recul de la construction côtière est une ligne de contrôle qui, à partir du trait de côte, se décale vers la terre sur une certaine distance et interdit ou limite les activités de construction. Elle prend en compte de manière intégrée les effets des catastrophes marines, la protection de l'intégrité des écosystèmes et l'extension des espaces publics tournés vers la mer [5]. Sa délimitation scientifique constitue donc une composante

essentielle de la gestion du littoral, un levier important de la coordination terre-mer et une mesure significative pour réduire les risques de catastrophes marines et protéger les écosystèmes côtiers.

1.1 Progrès des pratiques internationales

Les recherches et les pratiques relatives aux lignes de recul de la construction côtière ont d'abord émergé dans les principaux pays littoraux européens et nord-américains dans les années 1970 et 1980. En désignant des zones d'interdiction ou de restriction de construction dans les plages et les estrans, ces pays ont instauré un contrôle strict des activités d'aménagement côtier (tableau 1) [6]. Les cas étudiés prennent généralement en compte plusieurs facteurs, notamment les événements climatiques extrêmes, l'évolution géomorphologique et le changement climatique. Les distances de recul varient fortement selon les régions, principalement en raison des différences de conditions naturelles et de besoins fonctionnels. À Hawaï, où la demande d'activités liées à l'eau est élevée, la distance de recul de la construction côtière n'est que de 12 m [7]. Dans les zones de mangrove indonésiennes, soumises à des exigences plus strictes de protection écologique, elle atteint 400 m [8-18]. Ces écarts ont favorisé un approfondissement du système théorique de délimitation des lignes de recul.

Tableau 1. Comparaison des systèmes de recul de la construction côtière dans certains pays et régions [9-18]

Pays	Base juridique ou politique	Mécanisme central de gestion	Exemples de distance de recul	Période de mise en œuvre	Base de délimitation
États-Unis	Coastal Zone Management Act et lois fédérales/d'États, notamment en Californie et en Floride, 1972	Lignes de recul dynamiques fondées sur l'érosion historique et des zones tampons ; recul glissant	Californie : 30-60 m en moyenne ; Floride : délimitation dynamique selon les taux d'érosion, avec 50-100 m dans certaines zones ; Hawaï : distance égale à 40 fois le taux annuel d'érosion, soit environ 20-100 m	Depuis les années 1970	Taux d'érosion et modèles de surcote de tempête
Australie	Coastal Protection Act, niveau des États, 1979	Lignes d'érosion centennale, renouvellement adaptatif et interdiction des constructions nouvelles en zone de recul	Nouvelle-Galles du Sud : ligne d'érosion centennale plus tampon de 20 m, recul total d'environ 50-150 m ; Queensland : délimitation dynamique selon les projections d'élévation du niveau marin, recul moyen de 30-80 m	Depuis les années 1980	Projections d'élévation du niveau marin et analyse SIG

Nouvelle-Zélande	Resource Management Act, 1991	Zonage des risques naturels, modélisation dynamique et concertation communautaire	Auckland : recul de base de 30 m plus tampon de risque supplémentaire, total jusqu'à 100 m ; côte de Wellington : événements de tempête à probabilité annuelle de 1 %, recul de 50-200 m	Depuis 1991	Modèles probabilistes de risque
Pays-Bas	National Water Plan, 2009	Espace de recul combinant protection contre les crues et écologie ; conception résiliente	Zones deltaïques basses : recul obligatoire de 500-1000 m ; delta Rhin-Meuse : recul partiel de 300-500 m combiné à des digues	Depuis les années 1990	Modèles hydrologiques et normes de protection contre les crues milléniales
Japon	Coast Act, 1956	Zones de conservation côtière et doubles lignes de recul dans les zones de tsunami	Zones côtières générales : 30-50 m avec restrictions selon le type de bâtiment ; zones à fort risque de tsunami, par exemple Fukushima : plus de 1 km ; Okinawa : 50-100 m dans les zones à typhons fréquents	Depuis 1956, avec révisions	Données historiques de catastrophes et analyse topographique
Royaume-Uni	Marine and Coastal Access Act, 2009	Planification flexible fondée sur le retrait géré	Côte du Norfolk : 100-200 m dans les secteurs fortement érodés ; est de l'Angleterre : ajustement dynamique, avec au moins 50 m lorsque l'érosion annuelle dépasse 2 m	Depuis les années 2000	Suivi de l'érosion côtière et projections climatiques

1.2 Recherches et pratiques en Chine

Bien que les recherches chinoises sur les lignes de recul de la construction côtière aient commencé relativement tard, des travaux récents ont commencé à articuler les services écosystémiques avec la délimitation des lignes de recul. Certaines études partent des besoins fonctionnels et définissent les reculs selon les fonctions d'usage de l'espace maritime, les fonctions côtières ou les services fournis par les écosystèmes marins [7,18-19]. D'autres construisent des cadres analytiques et des méthodes d'évaluation intégrées afin de définir les lignes de recul de manière plus rationnelle [7,20]. Il existe aussi des méthodes reposant sur des modèles 3D de scènes réelles, mais leur application demeure limitée [21].

En 2021 et 2024, le ministère des Ressources naturelles a publié le Guide pour l'élaboration des plans provinciaux de protection et d'utilisation intégrées des zones côtières (essai) [5] (ci-après le Guide) et les Directives techniques pour la délimitation des lignes de recul de la construction côtière (projet pour approbation) [22] (ci-après les Directives techniques), encourageant les régions littorales à délimiter ces lignes. Toutefois, en raison des besoins de développement multidimensionnels des zones côtières, les méthodes proposées dans ces documents et les études connexes conservent plusieurs limites. Elles reposent principalement sur l'analyse d'un seul type de rivage et ne peuvent donc pas pleinement intégrer la réponse aux catastrophes, les services écosystémiques, le potentiel de séquestration du carbone ni le contrôle des usages productifs et résidentiels de l'espace dans un cadre de coordination terre-mer. Cela a renforcé les tensions entre la demande socioéconomique d'usage de la terre et de la mer et la protection de l'écologie marine [23-24].

1.3 Analyse des problèmes et réflexions

La délimitation des lignes de recul côtières est devenue un enjeu important dans la recherche académique et la pratique. Parce que les zones côtières concentrent des besoins multidimensionnels, les conditions de contrainte et les systèmes de classification et de gradation applicables aux lignes de recul restent à approfondir. Premièrement, les recherches sur les mécanismes de contrainte demeurent limitées et n'ont pas encore formé de cadre théorique systématique. Les méthodes existantes reposent surtout sur l'analyse d'un type unique de rivage et peinent à refléter les exigences multiples de la coordination terre-mer, notamment le risque de catastrophe et la résilience, les services écosystémiques et le potentiel de séquestration du carbone. Cela aggrave, dans une certaine mesure, les tensions entre développement socioéconomique et protection écologique marine. Deuxièmement, la pensée systémique n'est pas suffisamment établie : la relation entre la délimitation des lignes de recul et la gouvernance spatiale globale est souvent négligée. Du côté terrestre des zones côtières se trouvent des formes de relief, des éléments de ressources naturelles et des constructions artificielles très divers. Une distance fixe unique ne peut garantir la continuité ni l'intégrité de l'espace de recul et peut entraîner le croisement des lignes de contrôle et la fragmentation spatiale [25]. Par ailleurs, les mesures actuelles de contrôle des zones de recul imposent surtout des exigences strictes aux nouveaux projets de construction, tandis que la gestion des espaces bâtis existants manque de soutien politique et technique, ce qui limite la praticabilité et l'efficacité de la délimitation [26].

1.4 Besoins et orientation de la recherche

Face à ces problèmes, cette étude part des exigences de coordination terre-mer dans la planification spatiale territoriale et prend les processus naturels comme base pour optimiser la méthode technique de délimitation des lignes de recul de la construction côtière. La méthode proposée adopte une perspective de contrôle systémique de l'espace, met l'accent sur la cohérence avec les processus naturels et cherche à renforcer la résilience écologique du territoire ainsi que les fonctions des services écosystémiques tout en répondant à des défis sociaux tels que le changement climatique, la prévention des catastrophes et la réduction des risques. Elle tient aussi compte de sa reproductibilité dans des contextes naturels et économiques différents, se relie aux ressources et aux besoins propres à chaque territoire et vise à rendre la méthode opératoire et la ligne de contrôle effectivement applicable [27-29].

2 Cadre méthodologique de délimitation des lignes de recul de la construction côtière

2.1 Introduction du cadre technique NbS

Les solutions fondées sur la nature (NbS) constituent une voie technique importante pour la construction de la civilisation écologique et sont fortement cohérentes avec les objectifs de protection écologique et de développement sûr des zones côtières. Leur principe central consiste à protéger, restaurer et optimiser les écosystèmes afin de coordonner la prévention et l'atténuation des catastrophes, la conservation de la biodiversité, la séquestration du carbone et d'autres objectifs [30-32]. Elles permettent ainsi de compenser les limites des lignes de recul traditionnelles fondées sur un seuil unique de risque ou sur des facteurs écologiques isolés. Par rapport au contrôle par distance fixe, les NbS mettent l'accent sur une régulation intégrée fondée sur les fonctions écosystémiques. Elles fournissent une base théorique pour passer d'un « contrôle par la distance » à un « contrôle par la fonction » et s'accordent avec les objectifs écologiques du littoral formulés dans le Plan directeur national des grands projets de protection et de restauration des écosystèmes importants (2021-2035).

2.2 Cadre de délimitation des lignes de recul

En s'appuyant sur les NbS, cette étude propose un modèle d'analyse et d'évaluation multicritère des reculs de construction côtière, ainsi qu'une méthode systématique de correction des lignes de recul selon l'usage du rivage (fig. 1). À partir des NbS, le cadre intègre quatre approches techniques comme base de construction de l'espace de recul : l'adaptation fondée sur les écosystèmes (EbA), la réduction des risques de catastrophe fondée sur les écosystèmes (Eco-DRR), les infrastructures fondées sur la nature (NbI) et les solutions climatiques naturelles (NCS). L'EbA met l'accent sur l'amélioration de la capacité d'adaptation climatique par la protection, la restauration et la gestion durable des services écosystémiques. L'Eco-DRR vise à renforcer la résilience des écosystèmes afin de réduire les impacts des catastrophes. Les NbI utilisent les processus naturels pour répondre à l'adaptation climatique, à la gestion des risques de catastrophe, à l'approvisionnement en ressources et à d'autres défis. Les NCS mobilisent le potentiel de séquestration du carbone et les fonctions de régulation climatique des écosystèmes naturels.

Étant donné que les approches actuelles de délimitation du recul côtier ne sont pas suffisamment couplées avec ces quatre objectifs techniques NbS, cette étude construit trois dimensions spatiales : risque de catastrophe et résilience (DRR-NbI), services écosystémiques (EbA) et potentiel de séquestration du carbone (NCS). Une analyse spatiale multicritère par superposition est ensuite utilisée, et la distance la plus éloignée est retenue pour établir une ligne de recul de base. L'étude prend en outre en compte le type de rivage et introduit des facteurs de gestion coordonnée terre-mer, tels que le développement actuel et planifié des terres, les bâtiments existants, les limites de développement urbain et les limites de construction villageoise. Ces facteurs servent à corriger la ligne de base et à former la ligne finale de recul de la construction côtière.

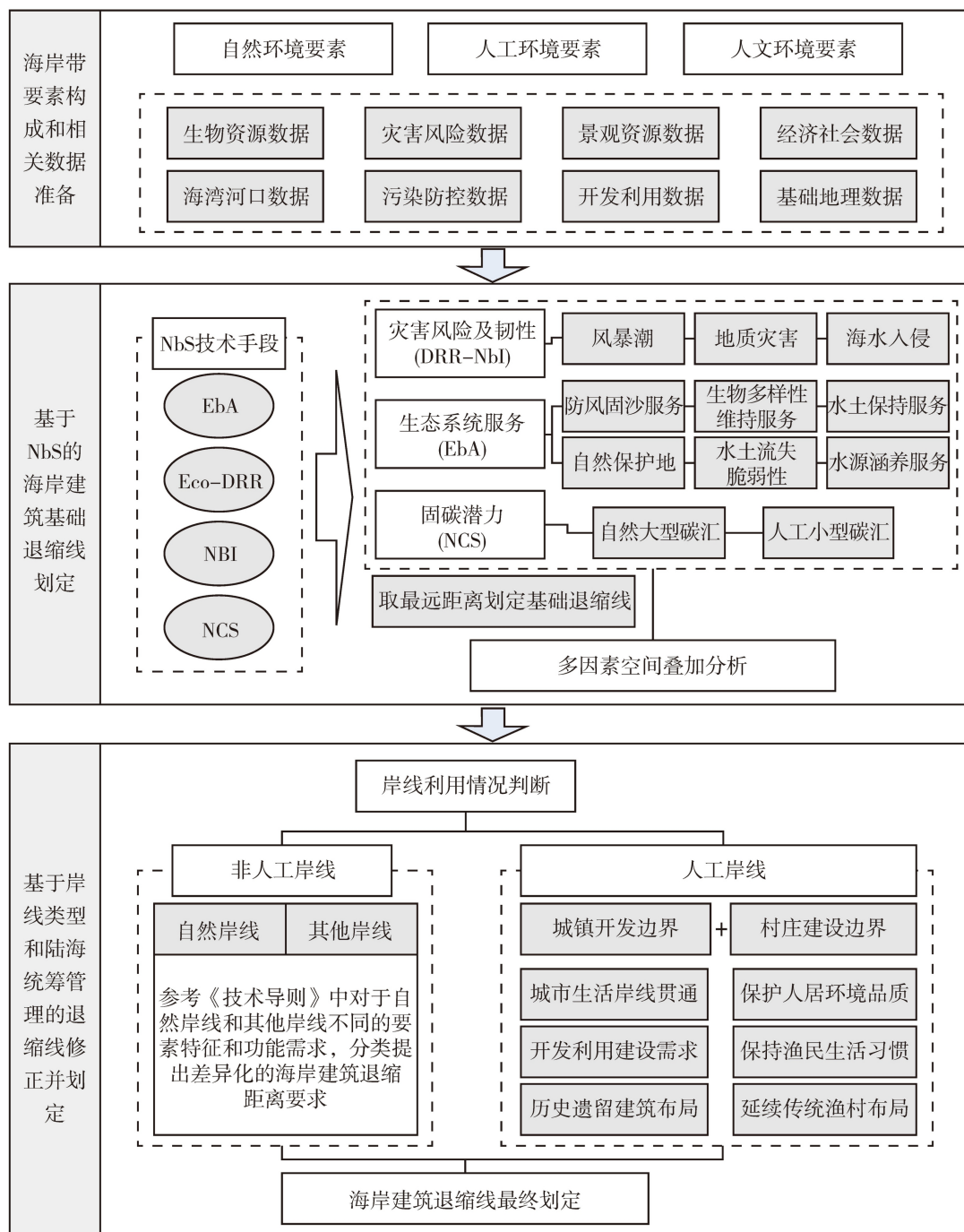


Figure 1. Schéma technique de délimitation des lignes de recul de la construction côtière.

2.3 Modèle d'analyse et d'évaluation multicritère fondé sur les NbS

2.3.1 Risque de catastrophe et résilience (DRR-NbI)

À partir des données spatiales historiques de différents aléas, l'étude considère les effets de trois grands risques liés aux ressources naturelles : la surcote de tempête, les aléas géologiques et l'intrusion d'eau de mer. Elle établit un modèle d'évaluation du risque de catastrophe et utilise la limite externe de la

zone de risque de niveau le plus élevé comme distance de recul côtier. Le modèle d'évaluation du facteur DRR-Nbl est le suivant :

$$R = (H / H_{\max}) \times (E / E_{\max}) \times (V / V_{\max}) \quad (1)$$

où R représente l'indice de risque de catastrophe, H l'aléa, c'est-à-dire la probabilité et l'intensité physique de la catastrophe, E l'exposition, comprenant la population, les biens et les infrastructures dans les zones touchées, et V la vulnérabilité, c'est-à-dire la sensibilité des objets exposés et leur capacité de résistance.

2.3.2 Services écosystémiques (EbA)

Pour les services écosystémiques, et en tenant compte des habitats aquatiques et de la sécurité de l'eau potable, l'étude utilise la méthode des forêts aléatoires en apprentissage automatique afin d'analyser la relation quantitative entre les seuils de recul côtier et la qualité de l'eau. Cinq jeux de données ont été compilés autour des stations de suivi de la qualité des eaux marines de Dalian : types d'usage halieutique de la mer, distance entre les bâtiments et le rivage, état actuel des fonctions du rivage, classe de qualité de l'eau et données météorologiques. Ils ont été divisés en ensembles d'essai et d'apprentissage selon un rapport de 1:4. Après plusieurs ajustements itératifs, avec une qualité d'ajustement supérieure à 0,7, l'étude a simulé les distances seuils de recul nécessaires à la protection de la qualité de l'eau.

L'étude considère également les zones importantes pour les services de brise-vent et de fixation du sable, de conservation des sources d'eau, de conservation des sols et de l'eau, de vulnérabilité à l'érosion et de maintien de la biodiversité. L'objectif est d'éviter et de réduire aussi complètement que possible les effets écologiques négatifs des activités d'aménagement et d'assurer une protection ciblée des points chauds de biodiversité, des habitats d'espèces menacées, des corridors de migration et des écosystèmes spécifiques.

2.3.3 Potentiel de séquestration du carbone (NCS)

Concernant le potentiel de séquestration du carbone, l'étude considère d'abord la protection des puits de carbone naturels. Les mangroves, par exemple, constituent des barrières écologiques côtières essentielles, et les lignes de recul doivent réserver un espace suffisant pour maintenir leur fonction d'atténuation des catastrophes. Pour les espaces naturels protégés, des contraintes de contrôle strictes sont appliquées : les lignes de recul doivent éviter entièrement les zones centrales protégées, tandis que les zones tampons sont soumises à des restrictions de développement strictes. Pour les petits puits de carbone, tels que les arbres d'alignement, les arbustes, les espaces verts urbains et les parcs, l'étude mobilise un jugement de planification spatiale afin de préserver autant que possible leurs fonctions de séquestration et d'établir des zones de coordination et des zones tampons autour des secteurs côtiers.

2.3.4 Superposition spatiale multicritère

Les facteurs précédents sont intégrés au moyen d'une superposition spatiale multicritère pondérée combinant risque de catastrophe et résilience (DRR-Nbl), services écosystémiques (EbA) et potentiel de séquestration du carbone (NCS). La formule est la suivante :

$$M = f \max \sum_{i=1}^m (D_i \times R_i) \quad (2)$$

où M désigne la distance de recul sous l'effet de plusieurs facteurs, D_i la distance de recul sous l'effet du facteur i , R_i le coefficient de correction du facteur i , et m l'ensemble des facteurs, notamment DRR-Nbl, EbA et NCS. Le coefficient R_i est évalué par sept experts en écologie, catastrophes et planification selon

la méthode Delphi et peut être calibré modérément selon les conditions naturelles et les caractéristiques de risque des différentes zones d'étude.

Sur la base de cette superposition spatiale, la limite de recul de la construction côtière est corrigée selon le type de rivage. Pour les rivages artificiels, la méthode intègre les besoins de gestion de la construction urbaine et villageoise et se concentre sur la continuité des rivages de vie urbaine, les besoins de développement et d'utilisation, ainsi que la protection de l'espace de développement rural. Elle corrige les lignes de recul à l'intérieur des limites de développement urbain et des limites de construction villageoise. Pour les rivages non artificiels, elle propose des exigences différenciées de distance de recul selon les caractéristiques et les besoins fonctionnels des rivages naturels et autres.

3 Étude empirique : délimitation des lignes de recul de la construction côtière à Dalian

3.1 État actuel de la zone côtière de Dalian

Dalian se situe à l'extrémité sud de la péninsule du Liaodong, entourée par la mer sur trois côtés et contrôlant le passage entre la mer Jaune et la mer de Bohai. C'est une ville littorale importante reliant l'Asie du Nord-Est au continent eurasiatique ; elle possède le littoral le plus long et le plus diversifié du nord de la Chine. Bien que le Plan directeur urbain (2001-2020) et le Règlement municipal de Dalian sur la protection de l'environnement marin aient formulé des exigences de principe concernant le recul de la construction côtière, ces exigences ont longtemps manqué de méthodes techniques précises et de soutien institutionnel, et n'ont pas été mises en œuvre efficacement. En conséquence, les rivages naturels et l'espace écologique côtier de Dalian ont continué à se réduire (fig. 2), les risques de surcote de tempête et d'intrusion d'eau de mer se sont aggravés, et la continuité des espaces publics côtiers ainsi que la qualité des milieux résidentiels et paysagers restent limitées. Cela met en évidence l'urgence pratique de construire un système scientifique et opérationnel de délimitation et de contrôle des lignes de recul de la construction côtière.

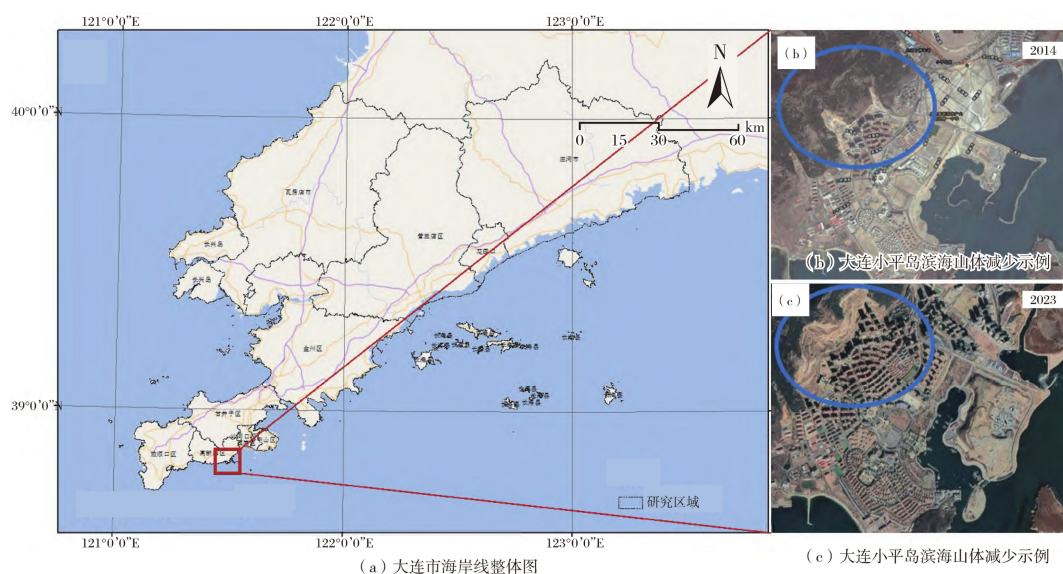


Figure 2. Trait de côte général de Dalian et exemple de compression de l'espace écologique côtier.

3.2 Risque de catastrophe et résilience (DRR-Nbl)

Pour le risque de catastrophe et la résilience, l'étude classe les trois principaux aléas naturels auxquels est confrontée la zone côtière de Dalian. Les risques de surcote de tempête et d'aléas géologiques sont divisés en quatre niveaux, tandis que le risque d'intrusion d'eau de mer est divisé en deux niveaux. Les zones touchées par chaque aléa au cours des dix dernières années, ainsi que leurs zones d'impact maximal, sont localisées spatialement, comme le montre la fig. 3(a)-(c). Au cours de la dernière décennie, les zones à fort risque de surcote à Dalian se sont principalement concentrées du côté de la mer de Bohai, dans les baies de Pulandian et de Hulushan. Certaines zones à fort risque s'étendent à environ 1 km du trait de côte mesuré. Trois zones à fort risque géologique se trouvent à proximité immédiate du trait de côte mesuré, dans les baies de Taiping, de Pulandian et de Xiaoyao, avec une distance maximale d'environ 2 km. Quatre zones graves d'intrusion d'eau de mer se situent dans la baie de Jinzhou, la baie de Dalian, la zone humide de Xingshu et la baie de Zhangxia, également jusqu'à environ 2 km du trait de côte mesuré.

3.3 Services écosystémiques (EbA)

Pour les services écosystémiques, la fig. 3(d)-(h) montre que l'aquaculture enclavée du côté de la mer de Bohai entraîne une proportion relativement élevée d'eaux de qualité inférieure à la classe IV, soit environ 17,39 %, menaçant les habitats aquatiques et la biodiversité. Il convient donc de contrôler l'échelle de l'aquaculture, et le recul correspondant pour les rivages d'aquaculture enclavée doit être d'au moins 86 m afin de réduire l'impact de la pollution aquacole sur la qualité des eaux proches du rivage. Du côté de la mer Jaune, la qualité de l'eau est globalement bonne, 94,05 % atteignant la classe III ou supérieure. Le recul est donc fixé à au moins 19 m afin de protéger les écosystèmes existants et d'éviter que le développement ne dégrade les habitats aquatiques. Les rivages d'infrastructures halieutiques nécessitent au moins 21 m pour garantir l'absence de dommage aux écosystèmes marins côtiers. Pour les rivages inutilisés, en tenant compte des besoins de protection des services écosystémiques, le remblaiement, l'aquaculture enclavée et l'aquaculture ouverte doivent être strictement contrôlés des deux côtés, mer de Bohai et mer Jaune. Le recul de construction pour les rivages inutilisés ne doit pas être inférieur à 56 m.

3.4 Potentiel de séquestration du carbone (NCS)

Le potentiel de séquestration du carbone est examiné sous deux aspects : les grands puits de carbone naturels et les petits puits de carbone. Les grands puits naturels comprennent les mangroves et les espaces naturels protégés. À partir des limites biologiques et géographiques des zones côtières, et en se référant aux distances d'évitement, l'étude détermine les distances de recul vers la terre depuis la côte. Sur la base de l'expertise, cette distance est fixée à 50 m. Les petits puits de carbone comprennent des éléments linéaires, tels que les arbres d'alignement et les arbustes, et des éléments surfaciques, tels que les espaces verts urbains et les parcs. L'étude utilise le bord le plus éloigné vers la terre de ces éléments comme limite pour former une nouvelle ligne de recul, comme le montre la fig. 3(i).

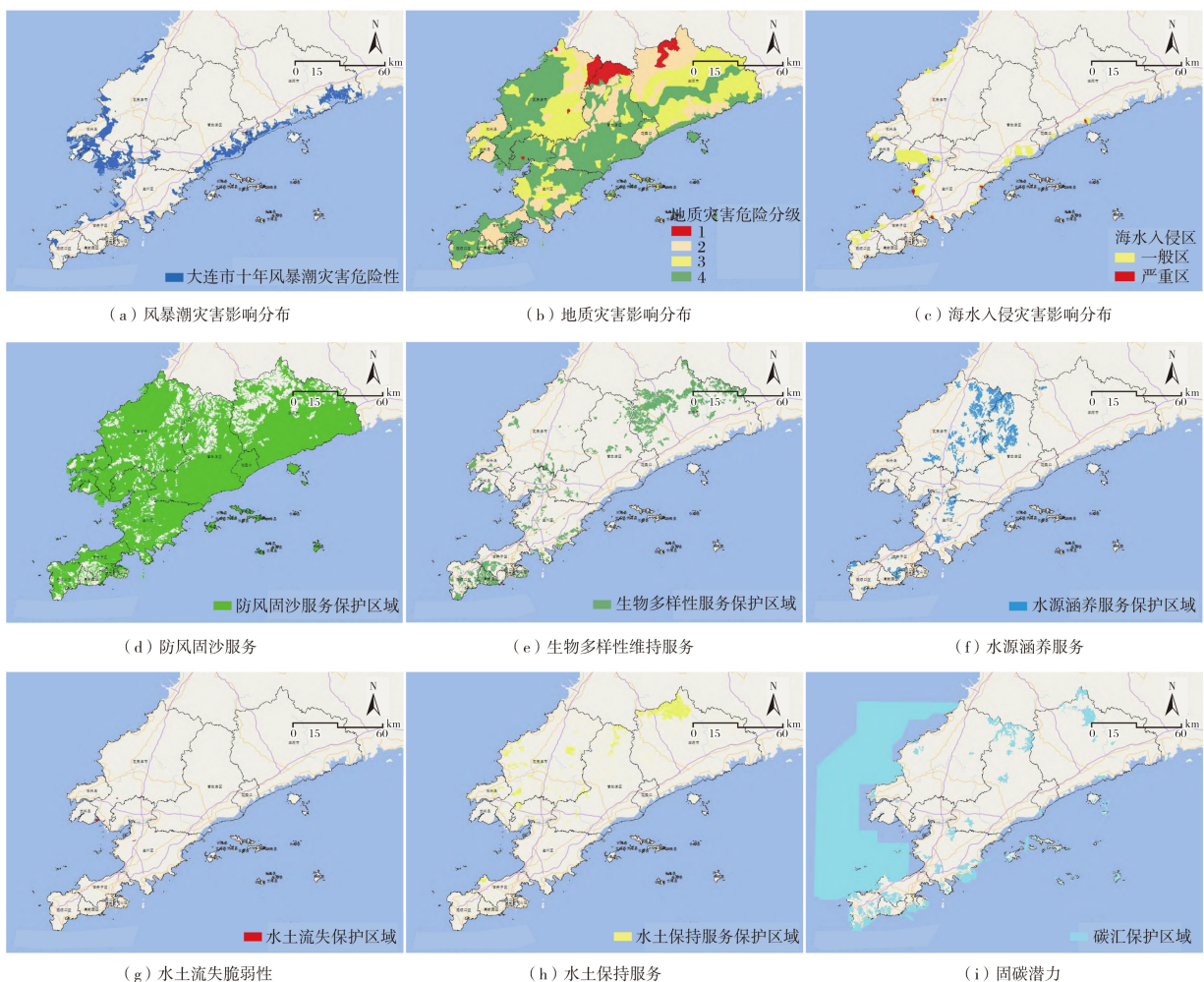


Figure 3. Analyse spatiale du risque de catastrophe et de la résilience, des services écosystémiques et du potentiel de séquestration du carbone à Dalian.

3.5 Délimitation des lignes de recul de la construction côtière à Dalian

À partir des trois dimensions du modèle de recul fondé sur les NbS - DRR-NbI, EbA et NCS -, l'étude utilise une superposition spatiale multicritère pour délimiter initialement les lignes de recul de la construction côtière à Dalian (fig. 4). Les seuils clés de ces trois dimensions sont utilisés comme contraintes de base pour la vérification par superposition. Dans la dimension DRR-NbI, les zones à fort risque géologique et les zones graves d'intrusion d'eau de mer, qui s'étendent jusqu'à 2 km de la côte, sont considérées comme des lignes rouges de sécurité afin que les lignes de recul évitent les secteurs très sensibles aux catastrophes. Dans la dimension EbA, les contraintes écologiques sont intégrées : les rivages d'aquaculture enclavée du côté de la mer de Bohai reculent d'au moins 86 m pour contrôler la pollution aquacole, tandis que les rivages inutilisés du côté de la mer Jaune reculent d'au moins 19 m pour protéger une bonne qualité de l'eau ; les points chauds de biodiversité sont entièrement évités. Dans la dimension NCS, la ligne de protection des puits de carbone est superposée : les puits de carbone naturels reculent vers la terre d'au moins 50 m, et les reculs locaux des petits puits de carbone sont ajustés selon leurs bords extérieurs. Cela produit une ligne de recul côtière initiale intégrant les trois dimensions.

Sur cette base, les lignes de recul sont corrigées selon le type de rivage. À l’intérieur des limites de développement urbain, la distance de recul est fixée à au moins 70 m (fig. 4). À l’intérieur des limites de construction des villages de pêche côtiers, elle n’est pas inférieure à 30 m. Pour les différents types de rivage, notamment naturels, artificiels et autres, l’étude propose des distances de recul de base différenciées conformément au Guide (tableau 2), qui servent de principes et de base au contrôle des lignes de recul de la construction côtière.

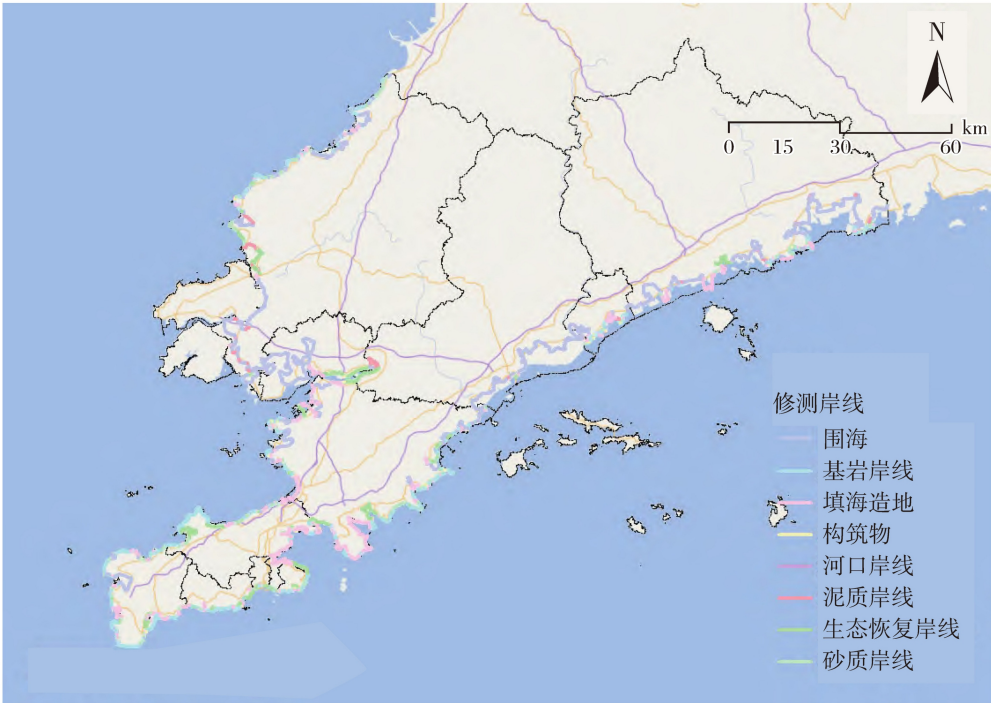


Figure 4. Étendue initiale des lignes de recul de la construction côtière après superposition spatiale multicritère.

Tableau 2. Distances de recul de base selon les types de rivage

Catégorie de rivage	Type de rivage	À l’intérieur de la limite de développement urbain	À l’intérieur de la limite de construction villageoise	Hors de ces limites	Considérations principales
Rivage naturel	Rivage rocheux	-	-	>=100 m	Accès public à la mer et aménagement paysager
Rivage naturel	Rivage sableux	-	-	>=200 m	Protection des ressources de plage et érosion du rivage
Rivage	Rivage vaseux	-	-	>=100 m	Protection des vasières et

naturel					potentiel de séquestration du carbone
Autre rivage	Embouchure fluviale et rivage de restauration écologique	≥ 70 m	≥ 30 m	≥ 100 m	Sécurité des crues, restauration et protection écologiques, potentiel de séquestration du carbone
Rivage artificiel	Rivage artificiel général	≥ 70 m	≥ 30 m	-	Création d'espaces publics côtiers, aménagement paysager et design urbain
Rivage artificiel	Rivage issu du remblaiement	≥ 30 m	-	-	Espace foncier et coûts de remblaiement
Rivage artificiel	Rivage portuaire et industrio-portuaire	≥ 0 m	-	-	Besoins de production nécessitant une localisation littorale
Rivage artificiel	Marais salants et aquaculture enclavée	côté mer de Bohai ≥ 100 m ; côté mer Jaune ≥ 30 m	-	-	Effets sur la qualité de l'eau maritime et l'environnement écologique

Corrections liées à des facteurs spécifiques : (1) si une partie ou la totalité de la route Binhai (G228) se situe dans la zone de contrôle, le côté terrestre de la route dans cette zone sert de limite pour former une nouvelle ligne de recul. (2) Si des espaces existants tournés vers la mer, tels que plages, zones de baignade, parcs côtiers et espaces verts publics ouverts, ou des zones d'impact de catastrophes marines, dépassent la zone de contrôle, le bord extérieur le plus éloigné de ces espaces sert de limite à la nouvelle ligne de recul.

4 Résultats et discussion

4.1 Résultats de délimitation selon la perspective NbS

La délimitation des lignes de recul de la construction côtière constitue un contenu central du soutien à la planification spécialisée du littoral dans une perspective de coordination terre-mer. En introduisant une méthode fondée sur les NbS, cette étude construit un cadre de coordination multicritère associant risque de catastrophe et résilience, services écosystémiques et potentiel de séquestration du carbone. Elle considère systématiquement plusieurs objectifs : protéger l'environnement écologique côtier et les grands puits de carbone, réduire les effets des catastrophes naturelles et contrôler l'extension ordonnée

des activités de développement urbain vers la mer. Grâce à des seuils différenciés et adaptés aux types de rivage, par exemple ≥ 86 m pour les rivages d'aquaculture enclavée du côté de la mer de Bohai et ≥ 70 m à l'intérieur des limites de développement urbain, la méthode transforme les lignes de recul d'un calcul technique en outil de contrôle de planification. Elle fournit un appui opérationnel pour maintenir la sécurité écologique côtière, prévenir et contrôler les risques de catastrophe et guider le développement urbain ordonné de Dalian.

4.2 Articulation et optimisation de la planification spécialisée du littoral par les NbS

L'introduction des NbS aide à remédier aux insuffisances de la planification spécialisée du littoral dans la coordination de plusieurs facteurs. Dans le cadre NbS, cette étude construit un modèle d'analyse multicritère. D'une part, elle quantifie la relation entre qualité de l'eau et distance de recul dans la dimension des services écosystémiques, transformant les fonctions écologiques en seuils mesurables. D'autre part, elle intègre la surcote de tempête, les aléas géologiques et le potentiel de séquestration du carbone. Les limites de recul définies par ce modèle peuvent servir de base au zonage de sécurité écologique et au zonage de prévention des catastrophes dans les plans spécialisés, favorisant le passage d'une orientation qualitative à un contrôle quantitatif. Les seuils différenciés et les mécanismes de correction fonctionnelle orientés par les NbS renforcent aussi l'articulation entre plans spécialisés et planification hiérarchique.

Le Guide et les Directives techniques fournissent un cadre pour la délimitation des lignes de recul de la construction côtière en Chine. Tout en reprenant leurs principes, cette étude comble davantage le déficit de coordination multidimensionnelle au niveau de la mise en œuvre. Bien que ces documents soulignent la coordination terre-mer et la priorité écologique, ils ne proposent pas encore de méthode concrète de couplage multifactoriel. Dans l'application locale, cela peut conduire à privilégier les types de rivage au détriment de la coordination systémique. À partir du concept technique des NbS, cette étude traduit le principe de coordination terre-mer du Guide en un modèle de couplage spatial tridimensionnel DRR-NbI, EbA et NCS. Par superposition multicritère, elle intègre les objectifs de développement urbain terrestre, de réponse aux catastrophes et de protection écologique marine dans des seuils de recul, offrant une référence pratique pour localiser le Guide et les Directives techniques dans les villes littorales du nord.

4.3 Orientation du contrôle classifié des rivages sous considérations multicritères

À mesure que la coordination multidimensionnelle devient nécessaire, les limites des approches à objectif unique apparaissent de plus en plus clairement. Des distances de recul fixes fondées sur un seul risque ou un seul facteur écologique peuvent satisfaire des exigences élémentaires de prévention des catastrophes, mais elles n'intègrent ni la superposition des risques ni la coordination des services écosystémiques composites. Il devient alors difficile de former un réseau de prévention des risques à l'échelle de l'ensemble du territoire. En réponse, cette étude distingue, dans la dimension EbA, les distances de recul liées à la protection de la qualité de l'eau entre les côtés de la mer de Bohai et de la mer Jaune, et exige l'évitement des zones centrales des espaces naturels protégés. Dans la dimension NCS, elle intègre les exigences de protection des grands puits de carbone et les corrections fondées sur les bords des espaces verts urbains. En outre, pour répondre à la rigidité des distances et à la fragmentation spatiale observées dans les pratiques existantes, l'étude met en œuvre un contrôle classifié selon le type de rivage et les besoins de construction urbaine et rurale. Les distances de recul différenciées améliorent l'adaptabilité de la ligne de recul.

4.4 Système de contrôle complémentaire des lignes de recul de la construction côtière

Après avoir délimité les lignes de recul, l'étude, en réponse aux besoins réels de gestion côtière, explore un mécanisme de contrôle combinant rigidité et flexibilité et met en œuvre une gestion zonée fondée sur des listes positives et négatives. Pour les zones écologiquement sensibles et strictement contrôlées, telles que les noyaux d'espaces naturels protégés, les zones à fort risque de catastrophe et les segments centraux des rivages naturels, une approche par liste positive est adoptée. Seuls les ports, les infrastructures de transport, les services publics et équipements de recherche industrielle nécessitant réellement une implantation littorale, les ouvrages de protection côtière et les grands projets de niveau provincial ou supérieur sont autorisés. Pour les zones relativement flexibles, telles que les secteurs conformes à l'intérieur des limites de développement urbain et les zones d'appui des rivages artificiels, une approche par liste négative est adoptée. Le développement immobilier résidentiel, les installations industrielles littorales non nécessaires et les activités de construction affectant les paysages côtiers, les espaces publics, la qualité de l'eau maritime ou l'environnement écologique sont explicitement interdits.

4.5 Perspectives de planification des lignes de recul de la construction côtière

Du point de vue de la mise en œuvre de la planification, la gouvernance coordonnée des espaces bâtis existants issus des remblaiements historiques demeure un goulet d'étranglement essentiel. Certaines opérations de remblaiement vers la mer ont endommagé la continuité de l'espace de recul et sa fonction de tampon écologique, tout en créant des conflits de conformité entre bâtiments existants et nouvelles règles. Sans mécanismes souples de traitement, l'efficacité de gouvernance des lignes de recul sera directement affaiblie. Il convient donc de renforcer à l'avenir l'articulation de la planification selon trois dimensions. Premièrement, au niveau technique, un mécanisme d'ajustement dynamique doit être établi afin que les pondérations multicritères garantissent l'adaptation de la ligne de recul aux processus naturels et aux besoins de développement. Deuxièmement, au niveau de la mise en œuvre, les exigences de contrôle doivent être converties en indicateurs quantitatifs et reliées efficacement au Guide et aux Directives techniques. Troisièmement, au niveau institutionnel, des schémas donnant priorité à la restauration écologique et optimisant la classification fonctionnelle doivent être élaborés pour les terrains issus du remblaiement, en s'appuyant sur l'expérience de gestion zonée par listes positives et négatives pour résoudre les difficultés de gouvernance des espaces existants. En même temps, la transmission et la mise en œuvre de la planification doivent être renforcées afin que les lignes de recul de la construction côtière soient délimitées scientifiquement, contrôlées strictement et ajustées de manière normalisée.

Références

- [1] Liu Zhengyi, Hu Feilong, Xiao Kai, et al. Progrès de la recherche sur la délimitation de l'étendue et des limites des zones côtières[J]. Journal of Applied Oceanography, 2025, 44(1): 15-20.
- [2] Duan Jin, Zhao Min, Zhao Yanjing, et al. Discussion académique sur la relation entre orientation stratégique et contrôle rigide dans le système de planification spatiale territoriale[J]. Urban Planning Forum, 2021(2): 6-14.
- [3] Wu Zhiqiang, Guo Renzhong, Zhang Bing, et al. Discussion académique sur la construction systémique du système national de planification spatiale[J]. Urban Planning Forum, 2024(5): 1-11.
- [4] Gao Jinzhu, Zhang Hongfen, An Taitian, et al. Innovation des mécanismes de planification spatiale marine détaillée dans le cadre de la coordination terre-mer[J]. Planners, 2023, 39(12): 15-21.

- [5] Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Guide pour l'élaboration des plans provinciaux de protection et d'utilisation intégrées des zones côtières (essai)[EB/OL]. (2021-07-23) [2024-12-26]. https://gi.mnr.gov.cn/202109/t20210913_2680305.html.
- [6] Li Yanping, Cao Chengwei, Wang Pengfei, et al. Expériences et enseignements de la coordination terre-mer dans la planification spatiale marine au Royaume-Uni[J]. *Planners*, 2021, 37(23): 84-90.
- [7] Wen Chaoxiang, Liu Xi, Zhang Qibang. Discussion sur les distances de recul de la construction littorale dans les petites villes côtières[J]. *Urban Planning International*, 2016, 31(4): 58-63.
- [8] Dong Huangbiao, Pan Ningning, He Weidong, et al. Recherche sur les méthodes de délimitation des lignes de recul de la construction côtière à partir de la pratique de Wenzhou[C]//Urban Planning Society of China. People's City, Planning Empowerment: Proceedings of the 2023 China Annual National Planning Conference (20: Master Planning). Wenzhou Urban Planning and Design Research Institute Co., Ltd., 2023.
- [9] Sano M, Marchand M, Medina R. Coastal setbacks for the Mediterranean: a challenge for ICZM[J]. *Journal of Coastal Conservation*, 2010, 14(4): 33-39.
- [10] Cai F, Su X, Liu J, et al. Coastal erosion in China under the condition of global climate change and measures for its prevention[J]. *Progress in Natural Science*, 2009, 19(4): 415-426.
- [11] Marra J J, Komar P D, McDougal W G, et al. The rational analysis of setback distances: applications to the Oregon coast[J]. *Shore and Beach*, 1999, 67(1): 41-49.
- [12] Fish M R, Cote I M, Horrocks J A, et al. Construction setback regulations and sea-level rise: mitigating sea turtle nesting beach loss[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2008, 51(4): 330-341.
- [13] Nicholls R J, Hoozemans F M J. The Mediterranean: vulnerability to coastal implications of climate change[J]. *Ocean & Coastal Management*, 1996, 31(31): 105-132. DOI: 10.1016/S0964-5691(96)00037-3.
- [14] Smythe T C. Can coastal management programs protect and promote water-dependent uses?[J]. *Coastal Management*, 2010, 38(6): 665-680.
- [15] Cambers G. Planning for coastline change: guidelines for construction setbacks in the Eastern Caribbean Islands[R]. Paris: UNESCO, 2011.
- [16] Clark. Manuel de gestion des zones côtières[M]. Traduit par Wu Keqin. Beijing: China Ocean Press, 2000.
- [17] Wang Peng, Wang Weiwei, Cai Yueyin. Détermination des lignes de recul de la construction côtière à partir des fonctions d'usage de l'espace maritime[J]. *Ocean Development and Management*, 2009, 26(11): 16-20.
- [18] Tu Zhenshun, Huang Yue, Huang Jinliang, et al. Méthodes et pratiques d'établissement des lignes de recul de la construction côtière[J]. *Marine Environmental Science*, 2018, 37(3): 432-437.
- [19] Cao Shenxi, Guo Yuchen, Zhang Yifan, et al. Méthode de délimitation des lignes de recul de la construction côtière à partir des fonctions du littoral[J]. *Marine Information Technology and Application*, 2022, 37(3): 18-27.
- [20] Wang Gang, Zhang Jiabo, Bai Yuchuan, et al. Système intégré de délimitation des lignes de recul de la construction côtière : le cas du littoral de Qinhuangdao[J]. *Ocean Development and Management*, 2021, 38(12): 58-66.

- [21] Liu Shidong, Zhao Yan, Ma Shaowei, et al. Nouvelle méthode de délimitation et de contrôle des lignes de recul de la construction côtière fondée sur des modèles 3D de scènes réelles[J]. Shandong Land and Resources, 2023, 39(9): 54-59.
- [22] Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Directives techniques pour la délimitation des lignes de recul de la construction côtière (projet pour approbation)[EB/OL]. (2024-04-19) [2024-12-26]. <https://gi.mnr.gov.cn/202404/P020240419663306513014.pdf>.
- [23] Wu Z, Zhao G, Xu H, et al. Multi-view clustering analysis of mega-city regions based on intercity flow networks[J/OL]. Frontiers of Urban and Rural Planning, 2024, 2(20). <https://link.springer.com/article/10.1007/s44243-024-00047-w>.
- [24] Yu T, Shu T, Xu J. Spatial pattern, and evolution of China's urban agglomerations[J/OL]. Frontiers of Urban and Rural Planning, 2024, 2(7). <https://link.springer.com/article/10.1007/s44243-023-00027-6>.
- [25] Tang Shuang, Zhang Jingxiang. Recherche sur le contrôle systémique des espaces urbains réservés pour une gouvernance résiliente : comparaison entre la Chine et Singapour[J]. Urban Planning Forum, 2023(5): 29-36.
- [26] Yu Haitao, Lin Jian, Peng Zhenwei, et al. Discussion académique sur « l'amélioration du système de contrôle de l'usage de l'espace territorial »[J]. Urban Planning Forum, 2023(5): 1-11.
- [27] Zhang Shangwu, Jin Zhongmin, Wang Xinzhe, et al. Orientation stratégique et contrôle rigide : innovation du système de résultats de la planification générale dans la nouvelle période - logique fondamentale de construction du système de résultats du Plan directeur Shanghai 2040[J]. Urban Planning Forum, 2017(3): 19-27.
- [28] Dai Ming, Li Meng. Contrôle du design urbain dans le système de planification spatiale territoriale : nouvelle exploration des schémas réglementaires complémentaires de Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2022(6): 95-101.
- [29] Sun Shiwen. Recherche fondamentale sur le système de supervision de la mise en œuvre de la planification spatiale territoriale[J]. Urban Planning Forum, 2024(2): 12-17.
- [30] Cohen-Shacham E, Janzen C, Maginnis S, et al. Nature-based solutions to address global societal challenges[R]. Gland, Switzerland: IUCN, 2016.
- [31] World Bank. Biodiversity, climate change, and adaptation: nature-based solutions from the World Bank portfolio[R]. Washington, DC: World Bank, 2008.
- [32] Maes J, Jacobs S. Nature-based solutions for Europe's sustainable development[J]. Conservation Letters, 2015, 10(1): 121-124.

Traduction assistée par ai