

Article

Recherche sur les méthodes de mesure et les facteurs d'influence de Degré de dommages spatiaux des sites historiques : une étude de cas de trois Villes anciennes du Shanxi, Chine

Bing Zhao et Weicheng Han*

Collège d'architecture, Université de technologie de Taiyuan, Taiyuan 030024, Chine ; zhaobing1652@link.tyut.edu.cn
 * Correspondance : hanweicheng@tyut.edu.cn ; Tél. : +86-1393-456-9366

Résumé : Les sites historiques sont des éléments importants de l'histoire culturelle de chaque ville car ils préservent de riches connaissances historiques et des valeurs distinctives transmises des générations précédentes jusqu'à aujourd'hui. En raison des progrès de l'urbanisation et de la modernisation, de nombreux sites historiques sont confrontés à des pressions liées aux dommages et à la transformation. Dans cet article, une méthode d'évaluation des dommages au patrimoine culturel a été développée pour mesurer l'étendue des dommages spatiaux dans les sites historiques. À l'aide d'échantillons de données obtenus à Xiyang, Qi et Xiaoyi, toutes les villes historiques de la province du Shanxi, en Chine continentale, ainsi que les poids combinés ont été estimés à l'aide de la technique Delphi et de la méthode de pondération CRITIC. Suite à cela, le modèle de degré de dommage spatial (SDDM) basé sur l'analyse groupée de moyennes K et la classification du voisin le plus proche (KNN) a été développé. Les résultats montrent que le modèle résout efficacement le problème de l'évaluation des niveaux de dommages spatiaux dans les sites historiques. Grâce à une analyse de régression linéaire multiple, il a été démontré que les dommages causés aux sites historiques étaient principalement causés par trois facteurs : l'érosion naturelle, les dommages causés par la construction, ainsi que la planification et la politique. SDDM a été utilisé pour calculer les niveaux de dommages spatiaux des sites historiques, permettant aux restaurateurs de comprendre pleinement les caractéristiques et les préoccupations liées aux sites historiques. En conséquence, des approches de préservation plus scientifiques et rationnelles peuvent être développées, améliorant l'efficacité de la restauration et de la conservation des sites historiques et encourageant le développement durable du patrimoine urbain et rural.



Citation : Zhao, B. ; Han, W. Recherche sur les méthodes de mesure et les facteurs d'influence du degré de dommages spatiaux des sites historiques : une étude de cas de trois villes anciennes du Shanxi, en Chine. *Bâtiments* 2023, 13, 2957. <https://doi.org/10.3390/building13122957>

Rédacteurs académiques : Dan Bompà, Cristina Coscia, Carla Bartolozzi et Daniele Dabbene

Reçu : 30 octobre 2023

Révisé : 17 novembre 2023

Accepté : 24 novembre 2023

Publié : 28 novembre 2023



Copyright : © 2023 par les auteurs.

Licencié MDPI, Bâle, Suisse.

Cet article est un article en libre accès distribué selon les termes et

conditions des Creative Commons

Licence d'attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Mots-clés : sites historiques ; degré de dommage spatial ; K-signifie regroupement ; K classification du voisin le plus proche ; facteurs de dommages

1. Introduction

Le patrimoine culturel urbain sert de moteur au développement urbain durable [1], les sites historiques étant des éléments essentiels de ce patrimoine. La rénovation de ces sites historiques tout au long du processus d'urbanisation améliore l'habitabilité et le caractère distinctif de la ville. Selon le Conseil international des monuments et des sites (ICOMOS), la conservation signifie le développement d'un site pour préserver sa « signification culturelle » [2]. Cependant, une mauvaise préservation pourrait entraîner des dommages spatiaux au sein de ces sites historiques urbains lors de leur utilisation adaptative. À l'heure actuelle, l'engagement de la Chine en faveur de la protection du patrimoine culturel est de plus en plus reconnu, mais elle est en même temps confrontée à une pression immense en raison du développement rapide du pays. Alors que les autorités nationales et municipales se concentrent de plus en plus sur le patrimoine culturel et accélèrent la mise en œuvre de lois de protection, les sites du patrimoine culturel subissent toujours de graves dommages, certains sites historiques se détériorant rapidement. De plus, étant donné les conditions nationales spécifiques et le stade de développement de la Chine, la tâche de protection du patrimoine culturel doit être menée par étapes en raison de ressources matérielles limitées, ce qui empêche une couverture complète de tous les sites historiques. Pour résoudre ces problèmes, il est crucial de comprendre la signification de la valeur patrimoniale, ainsi que des questions connexes telles que l'évaluation de la valeur. Ces informations faciliteront la recherche sur l'étendue des dommages sur divers sites historiques. En distinguant les niveaux de dommages sur différents sites historiques, les villes peuvent optimiser la planification des initiatives de protection et

Cette approche améliore non seulement l'efficacité de la restauration du patrimoine, mais contribue également à une utilisation prudente des ressources humaines et matérielles.

Les sites historiques sont bien plus que de simples structures autonomes ; ce sont des paysages urbains et ruraux qui révèlent des cultures uniques, des développements importants et des événements historiques [3].

Le concept de sites historiques a été développé dans cette perspective. De la Charte de Venise de 1964 à la Charte de Washington de 1987, la définition des sites historiques a évolué de « la zone entourant un bâtiment historique » à « de grandes et petites zones d'importance historique dans une ville, englobant le vieux centre-ville et d'autres zones ». d'intérêt historique » [3,4]. Le patrimoine est indissociable de l'histoire dont ils ont été témoins et du contexte dans lequel ils ont été conçus ou construits, ce qui souligne l'importance de la recherche sur les sites historiques.

Premièrement, le terme « dommages » est utilisé pour désigner les dommages physiques infligés aux sites historiques, attribuables à la fois à des éléments naturels tels que les intempéries, les inondations et l'activité sismique, et à des actions humaines telles que des dommages délibérés ou une utilisation excessive. Cette définition est formulée en fonction de l'intégrité et de l'authenticité de ces sites historiques, critères cruciaux pour évaluer leur importance historique et culturelle. Deuxièmement, le concept de dommage spatial relatif aux sites historiques est un concept composite qui englobe l'espace physique de ces sites ainsi que les relations qui le composent. Concrètement, elle prend en compte non seulement les dommages physiques causés au site lui-même, mais également ses ramifications sur le milieu environnant. Cela englobe la perturbation de la configuration spatiale, de l'infrastructure architecturale et de l'interaction entre les différents bâtiments et le site, ainsi que le style architectural du site lui-même.

Lors de l'observation des tendances mondiales de la recherche sur ce sujet, l'accent principal a été mis sur l'évaluation des dommages, les méthodes technologiques de détection des dommages et les facteurs contribuant à la détérioration des bâtiments historiques, des reliques, des anciens murs de la ville et d'autres biens culturels. Cependant, on constate un manque notable de recherches concernant les dommages causés à des régions plus vastes, telles que les sites historiques et les grands centres urbains historiques. Bien que la plupart des études sur les sites historiques visent à identifier les défis et à proposer des solutions, il existe une absence flagrante de méthodes quantitatives ou d'indicateurs permettant d'évaluer l'échelle géographique des dommages causés aux sites historiques. Plusieurs facteurs contribuent à cette situation. Tout d'abord, l'étude des sites historiques est une entreprise multidisciplinaire couvrant des domaines tels que l'architecture, l'urbanisme, la sociologie, l'économie, etc. Cela en fait une tâche plus complexe que l'étude de monuments individuels. Deuxièmement, les monuments étant des objets tangibles, il est plus facile de détecter, mesurer, documenter et surveiller leurs dommages. En revanche, les sites historiques sont plus abstraits. Ils englobent des éléments tels que l'architecture spatiale, les facteurs environnementaux et l'évolution historique, ce qui rend difficile la définition et l'estimation claires de leur valeur et de l'étendue des dommages.

Il existe de nombreuses recherches internationales sur le patrimoine culturel. Les recherches antérieures sur l'évaluation des dommages causés au patrimoine culturel se sont principalement concentrées sur l'évaluation post-catastrophe, principalement après des catastrophes naturelles [5,6], des incendies [7] et des guerres [8-10]. Cela se fait principalement en enregistrant en détail le degré et l'étendue des dommages causés au patrimoine et en créant des archives ou des bases de données [9,11,12]. En termes de reconnaissance du patrimoine endommagé, la méthode de reconnaissance est passée de la méthode traditionnelle d'inspection visuelle sur site à des méthodes de reconnaissance intelligentes telles que la technologie d'image de télédétection [13,14], la technologie UAV [15], la technologie de traitement automatique d'image [16] et la photogrammétrie [17].

Ces dernières années, de nombreux chercheurs ont exploré les méthodes d'évaluation des dommages au patrimoine culturel [18] et les ont appliquées à la protection du patrimoine. Zhang (2021) a amélioré l'algorithme d'intelligence artificielle pour créer l'application CHDA [19], qui localise avec précision les zones endommagées du patrimoine culturel en explorant les données d'images publiées sur les réseaux sociaux lors de catastrophes. Tejedor et coll. (2022) ont analysé le degré de dommages causés au patrimoine culturel grâce à la technologie des tests non destructifs (CND) [20-24]. P. Jouan (2019) a amélioré le modèle HBIM et appliqué le principe du jumeau numérique (DT) pour prédire les menaces sur l'intégrité du patrimoine grâce à l'analyse et à la simulation des données collectées par les capteurs de terrain et pour accompagner les gestionnaires de sites dans la protection préventive de leurs actifs. De nombreux ch

a proposé de dessiner la carte des risques du patrimoine culturel via WebGIS [25,26] et de l'appliquer à la gestion, au suivi et à la prévision du patrimoine culturel. Le système GreatWatcher, basé sur des techniques de détection de foule mobile (MCS) et un algorithme d'apprentissage profond, a été développé par Wang (2019), en se concentrant sur la collecte de données massives et la détection des dommages pour la Grande Muraille [27]. Baharak et coll. (2021) ont mené une revue et des perspectives sur le cadre d'évaluation du patrimoine (HIA). Ils ont également discuté du rôle clé de la phase « d'évaluation d'impact » dans la procédure globale d'EIP et cherchent à explorer les différentes méthodes courantes d'évaluation d'impact d'EIE et leur applicabilité aux biens culturels du patrimoine mondial [28]. Cucco, P. (2023) a développé une méthode d'évaluation des changements dans les façades des bâtiments historiques basée sur le comportement humain qui a un impact potentiel sur le patrimoine culturel [29].

En outre, la combinaison de l'analyse groupée et de l'apprentissage automatique (ML) avec la protection du patrimoine est devenue une tendance de recherche dominante. Cette intégration permet à l'analyse groupée et à l'apprentissage automatique de jouer un rôle crucial dans la classification du patrimoine et la formulation de mesures de protection sur mesure pour diverses classifications. Agapiou (2016) a obtenu des données à partir d'images de télédétection, a utilisé l'analyse AHP et l'analyse groupée pour classer plus de 150 monuments et sites protégés à Paphos, à Chypre, et a analysé les éventuelles menaces naturelles et anthropiques qui pèsent sur eux [30]. Jboor et al. (2019) ont proposé un nouveau cadre d'inpainting d'images pour les données culturelles visuelles qui utilise une stratégie diviser pour régner basée sur le clustering [31]. Jiang et coll. (2022) ont divisé l'ensemble de données des sous-bassins versants de la zone culturelle de la Grande Muraille de Pékin en cinq groupes grâce au calcul de regroupement des moyennes K, et ont proposé différentes stratégies de gestion pour différents types de sous-bassins versants afin de s'adapter aux conditions socio-économiques et biophysiques uniques de chaque sous-bassin [32]. Solla M. et coll. (2020) ont utilisé le classificateur KNN pour classer la pathologie des façades des bâtiments historiques, combiné à une technologie de tests non destructifs, afin d'améliorer l'efficacité de l'enregistrement des informations sur les bâtiments historiques [33].

Alors que la recherche sur les méthodes d'évaluation quantitative des dommages au patrimoine culturel fait son apparition, il existe peu de littérature sur les méthodes de mesure permettant d'évaluer l'étendue des dommages dans le contexte global des sites historiques. En fin de compte, seuls le calcul et le suivi du degré de dommage du patrimoine culturel ne peuvent pas fournir une impulsion culturelle durable pour le développement durable du patrimoine urbain et doivent être étendus aux sites entièrement historiques ayant une valeur de protection. Les éléments culturels des sites historiques sont principalement composés de divers types de patrimoine culturel ; les facteurs de dommages sont donc plus compliqués. Par conséquent, sur cette base, cet article s'appuie sur des études antérieures sur l'évaluation des dommages au patrimoine culturel, apprend des méthodes et des idées d'évaluation et construit le modèle spatial de degré de dommage (SDDM) des sites historiques. Le modèle utilise une méthode d'évaluation complète, une analyse groupée, un apprentissage automatique et une analyse de régression linéaire multiple pour prendre en compte de manière exhaustive la valeur spatiale culturelle et les facteurs de dommages des sites historiques ; et, dans une certaine mesure, résoudre les problèmes d'acquisition de données difficiles et de méthodes d'analyse compliquées dus au contenu important de ces données.

La principale contribution de cette étude est d'élargir l'évaluation des dommages au patrimoine historique, passant de l'accent mis auparavant sur les bâtiments individuels à un examen complet des bâtiments, des rues, des tissus et des éléments environnementaux historiques au sein des sites historiques. Cela aboutit à l'établissement du modèle de degré de dommage spatial (SDDM) pour les sites historiques. Ceci est accompli en examinant et en assimilant les méthodes et idées de recherche antérieures, afin de sélectionner les méthodes les plus appropriées pour établir le modèle dans cette étude. L'article se concentre principalement sur les questions suivantes : 1. Explorer la méthode d'établissement du système d'indice de mesure du degré de dommages spatiaux des sites historiques ; 2. Classifier le degré de dommage des unités de sites historiques des trois domaines de recherche sur la base d'une analyse de regroupement K-means ; 3. Formation et test des résultats de clustering basés sur le K-plus proche voisin (KNN) classificateur;

4. Utilisation de plusieurs équations de régression linéaire pour analyser les facteurs de dommages des sites.

2. Méthodes et matériels

2.1. Méthodes de recherche

Pour établir le SDDM dans cette étude, l'exploration et l'analyse de données sont appliquées pour calculer le degré de dommages spatiaux des sites historiques de l'ancienne ville de Xiyang, de l'ancienne ville de Xiaoyi et de l'ancienne ville de Qi. Ce modèle pourrait être utilisé à l'avenir pour prédire l'ampleur spatiale des dommages sur d'autres sites historiques.

La méthode de recherche comprend principalement six étapes, qui sont les suivantes : 1.

Construction d'un système d'indicateurs pour mesurer le degré de dommages spatiaux ; 2. Détermination des poids des indicateurs ; 3. Calcul de la valeur d'évaluation globale ; 4. Classification du degré de dommage des échantillons dans les zones de recherche par K-moyennes analyse de regroupement ; 5. Vérifier les résultats du clustering à l'aide du classificateur du K-voisin le plus proche ; 6. Utilisation d'équations de régression linéaire multiples pour analyser les facteurs de dommages des sites.

2.1.1. Étape 1 : Construction d'un système d'indexation des dommages spatiaux

Le nombre spécifique d'indicateurs actuellement utilisés dans la préservation du patrimoine peut être difficile à quantifier, car il peut varier considérablement selon le pays et le type de patrimoine culturel en question. Cependant, de nombreux critères clés sont utilisés à l'échelle mondiale, notamment les listes du patrimoine mondial, les registres nationaux, les sites d'intérêt scientifique particulier, les monuments historiques nationaux, les fiducies nationales, les monuments nationaux, les labels du patrimoine européen, etc., comme mentionné ci-dessus. En outre, de nombreux pays disposent de leurs propres systèmes et critères supplémentaires pour la préservation du patrimoine, ce qui ajoute à l'étendue et à la diversité de ces indicateurs.

Pour déterminer ces indices, les auteurs se sont référés à des recherches connexes tant au niveau national qu'à l'étranger et ont fait des choix en fonction de nos objectifs de recherche et des conditions réelles. Dans cette étude, la validation d'un site comme historique reposait sur l'authenticité et l'intégrité de ses espaces historiques et culturels ainsi que de son patrimoine. Par conséquent, l'évaluation des dommages spatiaux dépend largement de l'étendue des dommages causés à ces attributs : l'intégrité et l'authenticité. Sur cette base, les prédécesseurs ont mené des recherches approfondies sur l'évaluation de la valeur spatiale des sites historiques. Les critères d'évaluation du système d'évaluation des villes historiques et culturelles chinoises incluent le degré de préservation des bâtiments historiques, des ruines, des rues et des ruelles [34]. Les conditions d'approbation pour la Liste du patrimoine culturel mondial incluent les reliques culturelles, les complexes architecturaux et les sites [35]. Ces lignes directrices constituent la base de la construction du système d'indicateurs dans cette étude.

Wu (2015) a utilisé les cinq éléments du design urbain de Kevin Lynch pour établir un système d'évaluation permettant d'évaluer la valeur de trois sites historiques du Guangdong, en Chine [36]. Li et coll. (2019) ont proposé une catégorisation tripartite des indicateurs : valeur du patrimoine architectural, valeur culturelle populaire et méthodes de production traditionnelles. Cette catégorisation comprend 16 sous-indicateurs, dont le degré de préservation du bâtiment, la dimension du bâtiment et l'étendue de la coordination environnementale [37]. De même, Liu et al. (2019) ont divisé leurs indicateurs d'évaluation en quatre catégories : authenticité historique, continuité de la vie, intégrité stylistique et rationalité de la rénovation, conformément au Règlement sur la protection et la planification des villes historiques et culturelles chinoises [38]. Cheng (2016), quant à lui, a créé un système d'indicateurs intégrant le cadre de vie, l'architecture traditionnelle, les modèles de sélection de sites et les éléments culturels immatériels pour évaluer la valeur des sites historiques [39]. Cette étude a adopté une approche d'évaluation de la valeur pour examiner les dommages spatiaux des sites historiques. Des études antérieures basées sur le système de valeurs ont choisi des indicateurs statiques tels que les bâtiments historiques, les rues et ruelles historiques et le patrimoine. Compte tenu des caractéristiques des dommages spatiaux dans les sites historiques, les auteurs ont incorporé un indicateur dynamique – l'évolution du tissu – pour délimiter les dommages spatiaux dans les zones historiques au cours de leur développement et de leur évolution, en s'appuyant sur des recherches antérieures. Par la suite, les auteurs ont utilisé les cinq éléments de conception urbaine de Kevin Lynch comme référence pour subdiviser ces indicateurs en quatre classifications : nœud, chemin, périphérie et quartier [40]. Le « nœud » englobe les bâtiments et les cours,

tandis que « chemin » désigne les rues et ruelles traditionnelles des sites historiques [41,42]. « Edge » représente des éléments environnementaux historiques tels que les murs de la ville et les douves au sein de ces zones. Enfin, le terme « quartier » désigne l'évolution historique globale de ces zones. Il est important de noter que les catégories de nœud, de chemin et de limite sont classées comme indicateurs statiques, tandis que le district relève d'indicateurs dynamiques. Ces indices sont cruciaux pour refléter les changements morphologiques et fonctionnels des sites historiques dans le contexte des transformations historiques [43,44].

Bien que cette méthode manque de normes fixes, elle est généralement considérée comme efficace [45]. Les indices que nous avons choisis sont couramment utilisés et largement acceptés dans les études sur les sites historiques, capables de refléter de manière exhaustive les caractéristiques et le développement de ces zones.

De plus, l'acquisition de données est un aspect essentiel de l'étude. Les méthodologies actuelles incluent principalement la technologie de télédétection et les SIG, la photographie oblique basée sur des drones, les évaluations sur site, la revue de la littérature, l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond. Les quatre premières techniques sont utilisées dans cette étude pour la collecte de données. La technologie de télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) sont utilisés pour collecter et examiner les données spatiales des sites historiques [46]. Plus précisément, les auteurs peuvent discerner et quantifier les dommages en comparant des images de différentes périodes. La photographie oblique par drone est utilisée pour obtenir des images 3D haute résolution du terrain, des structures architecturales et d'autres caractéristiques de surface dans la zone d'étude [47]. Cette procédure permet aux auteurs d'évaluer directement les sujets de recherche et d'acquérir des données à des fins de modélisation. Même si l'avènement des nouvelles technologies fournit des informations inestimables, les évaluations sur site restent cruciales. Ces inspections physiques améliorent notre compréhension des scénarios spécifiques et des impacts des dommages spatiaux. En outre, il est impératif de consulter la littérature scientifique et de concevoir des systèmes d'indicateurs fondés sur des recherches antérieures, tout en s'alignant également sur les nécessités de recherche individuelles. Dans le domaine de la collecte de données pour les indicateurs spatiaux des sites historiques, l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond s'avèrent également prometteurs. Les réseaux de neurones convolutifs (CNN) peuvent identifier des objets et des caractéristiques dans les images, contribuant ainsi à la mesure des dommages spatiaux [48]. L'étude anticipe de nouvelles avancées dans ce domaine à l'avenir.

2.1.2. Étape 2 : Déterminer le poids des indicateurs

Cette étape a combiné deux méthodes (pondérations subjective et objective) pour la professionnaliser dans une certaine mesure. La méthode Delphi et une technique de prise de décision en petits groupes ont été utilisées dans l'autonomisation subjective, puis une enquête par questionnaire et des entretiens ont été menés auprès de professionnels pour modifier le système d'index. La méthode de pondération objective utilisait la méthode de pondération CRITIC et attribuait des poids en fonction de l'intensité de la comparaison et du conflit des valeurs de l'indice d'évaluation [49]. Finalement, les poids obtenus par les deux méthodes ont été synthétisés pour obtenir le poids final de chaque indice.

1. Méthode Delphi

Delphi est une technologie de prise de décision consultative résumée et proposée par la RAND Corporation en 1964 [50]. Son objectif ou cadre principal est de solliciter l'avis d'experts à travers plusieurs séries de correspondance anonyme, afin de trouver la solution optimale ou satisfaisante pour le groupe. Le questionnaire conçu dans cette étude est une échelle d'attitude en 5 points, et plus le score est élevé, plus l'attitude envers l'importance de cet indicateur est positive. Le groupe interrogé est principalement composé d'enseignants et d'enseignants en architecture et en aménagement urbain et rural, ainsi que de membres du personnel travaillant dans des instituts de design depuis plus de 5 ans. Le formulaire de notation des experts se trouve à l'annexe A.

2. Méthode de pondération CRITIQUE

La méthode de pondération CRITIC (Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation) est une sorte de méthode d'autonomisation objective. Il utilise une séquence de chaque valeur de l'écart type et du coefficient de corrélation pour déterminer le poids de l'indice [49]. Cependant, dans cette méthode, l'indépendance des données et les préférences des évaluateurs professionnels ne peuvent pas être reflétées dans les pondérations. Par conséquent, la méthode Delphi a été sélectionnée pour modifier la méthode de pondération CRITIC dans la méthode de détermination des pondérations de l'indice.

3. Méthode de synthèse multiplicative

Cette méthode multiplie les poids d'un indicateur obtenu par la méthode Delphi et la méthode des poids CRITIC puis obtient les poids combinés w_j selon la Formule (1).

$$w_j = \prod_{k=1}^q \theta_{jk} = \prod_{k=1}^q \frac{1}{\sum_{j=1}^n \theta_{jk}} \quad \theta_{jk} = 1/j(k) \quad (1)$$

Remarque : θ est le produit du poids W_a obtenu par la méthode Delphi et du j poids θ_j obtenu par la méthode des poids CRITIC, et q est le nombre d'indicateurs.

2.1.3. Étape 3 : Calcul de la valeur d'évaluation globale Q_i (Formule (2)) a été utilisé

pour calculer la valeur d'évaluation globale sur la base du poids des résultats quantitatifs des dommages spatiaux des sites historiques. Q_i constitue la base de l'analyse ultérieure du regroupement de K-means et de l'établissement de modèles de correction de prédiction KNN.

$$Q_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_{ij} \quad (2)$$

Remarque : Q_i est la valeur d'évaluation globale, w_i est la valeur de poids combinée, x_{ij} est les valeurs standardisées de divers indicateurs et n est le nombre d'échantillons.

2.1.4. Étape 4 : Classification du degré de dommage des échantillons dans les zones de recherche grâce à l'analyse de regroupement K-Means

La valeur d'évaluation globale de chaque indice de chaque parcelle sur les sites historiques obtenue au cours des trois premières étapes constitue l'ensemble de données de base pour l'analyse de la quatrième étape. Le clustering K-means est un type d'algorithme d'apprentissage automatique non supervisé utilisé pour classer des objets en K différents groupes (clusters) en fonction de certaines fonctionnalités. L'algorithme fonctionne sur le principe de minimiser la variance au sein du cluster, qui est la somme des carrés des distances euclidiennes entre chaque point et le centroïde du cluster qui lui est attribué. Les « moyennes » dans K-means font référence à la moyenne des données, c'est-à-dire à la recherche du centroïde [51]. L'algorithme de clustering K-means comprend les étapes suivantes [52] :

1. Initialisation : sélectionnez au hasard K points pour servir de centroïdes initiaux des K clusters ;
2. Affectation : attribuez chaque point de données au centroïde le plus proche. La mesure de distance utilisée est souvent la distance euclidienne ;
3. Mise à jour : calculez le nouveau centroïde (moyenne) de chaque cluster en prenant la moyenne de tous les points de données dans le cluster ;
4. Répétez les étapes 2 et 3 jusqu'à ce que l'algorithme converge, c'est-à-dire que les centroïdes ne changent pas de manière significative ou qu'un nombre prédéterminé d'itérations soit atteint.

Les formules d'analyse de clustering sont les suivantes :

$$k_{cp} = \frac{1}{N_p} \sum_{u=1}^{N_p} Q_{pu}, \quad p = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

$$A = \sum_{p=1}^N \sum_{u=1}^{N_{pk}} Q_{pu}^2 - \text{processeur} \quad (4)$$

où N_p signifie qu'il y a des données N_p dans le centre du cluster cp , Q_{pu} signifie les données u dans le centre du cluster cp , et l'itération se poursuit jusqu'à ce qu'elle remplisse la condition de terminaison selon laquelle la somme des carrés des erreurs A (Formule (4)) converge [53]. Nous pouvons alors obtenir le centre de clustering final $c_1, c_2, \dots, c_p$.

De plus, la valeur K du numéro de cluster a été sélectionnée selon la règle du coude, et la valeur K a été fixée à 5 dans cette étude. Comme le montre la figure 1.

où signifie qu'il y a $\frac{1}{2}$ données dans le centre du cluster i , $\frac{1}{2}$ signifie le TH données dans le centre du cluster i , et l'itération continue jusqu'à ce qu'elle rencontre la terminaison condition que la somme des erreurs quadratiques (Formule (4)) converge [53]. Nous pouvons ensuite obtenir le centre de $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$.

Bâtiments 2023, 13, 2957

regroupement final. De plus, la valeur K du numéro de cluster a été sélectionnée selon la règle du coude et la valeur K a été fixée à 5 dans cette étude. Comme le montre la figure 1.

7 sur 24

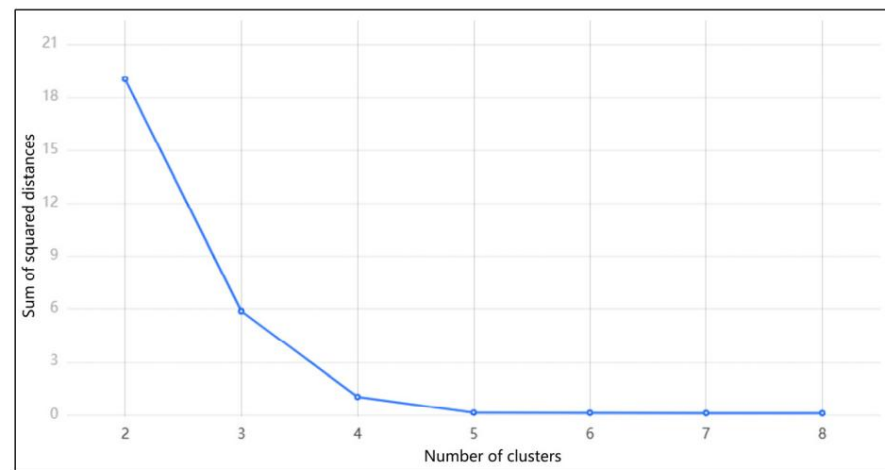


Figure 1. Tableau de comparaison des clusters (règle du coude). Remarque : Ce graphique est utilisé pour déterminer l'option Figure 1.

nombre mal de clusters. L'axe des x représente le nombre de clusters, tandis que l'axe des y représente le nombre optimal de clusters. L'axe des x représente le nombre de clusters, tandis que l'axe des y représente

Fonction de perte de regroupement K-means, représentée comme la somme des distances au carré de tous les échantillons à la fonction de perte de regroupement K-means, représentée comme la somme des distances au carré de tous les échantillons à centre de leurs clusters respectifs. Ceci est également connu sous le nom de somme des erreurs quadratiques. Une valeur plus élevée est le centre de leurs clusters respectifs. Ceci est également connu sous le nom de somme des erreurs quadratiques. Une valeur plus élevée indique une meilleure efficacité de regroupement. Le nombre optimal de clusters, comme indiqué par le point, indique une meilleure efficacité du clustering. Le nombre optimal de clusters, comme indiqué par le point où la pente commence à s'aplatir, est égal à 5. où la pente commence à s'aplatir, est égal à 5.

Dans l'étude, les auteurs ont opté pour le clustering K-means plutôt que pour d'autres approches de clustering.

approches en raison de sa simplicité, de son efficacité et de son adéquation à notre recherche. Les avantages de ce raisonnement, la simplicité, de son efficacité et de son adéquation à nos recherches. Les avantages des K-means K-means incitent à partitionner les données en groupes distincts en fonction de la l'absence de leurs traits. Cela a permis une catégorisation significative des zones et des caractéristiques endommagées. Cela a permis une catégorisation significative des zones endommagées, fournissant ainsi une fournissant un aperçu plus clair de l'étendue et du degré des dommages. Cela peut également aider à avoir une vue d'ensemble plus claire de l'étendue et du degré des dommages. Cela peut également aider à identifier des modèles tendances plus nuancées ou des tendances au sein des données, contribuer à une compréhension ou des dégâts spatiaux dans les sites historiques.

En utilisant le clustering K-means, les auteurs ont pu classer les dommages spatiaux. En utilisant le clustering K-means, les auteurs ont pu classer les dommages spatiaux. En en catégories distinctes, fournissant une base utile pour des analyses et des interventions plus approfondies.

L'application ultérieure de l'algorithme KNN pour la validation a encore renforcé la force .
L'application ultérieure de l'algorithme KNN pour la validation a encore renforcé la
robustesse de leurs résultats.

2.1.5. Étape 5 : Vérification des résultats de clustering à l'aide du classificateur K-Nearest Neighbor (KNN)

Les résultats obtenus à partir de la quatrième étape de l'analyse de clustering sont classés en 15

Le niveau le plus élevé de la hiérarchie de dommages est celui des dommages matériels et des dommages corporels. Le plus haut plus le niveau est élevé, plus le degré de dégâts est élevé et plus important. Ensuite, le classificateur K-plus

le plus proche (KNN) a été utilisé pour sélectionner les formes créées les plus similaires à la cible (KNN)

Le classificateur *sof-uk-nes* et le classificateur *classif* sont utilisés dans l'apprentissage *sof-uk-nes* et *classif* respectivement.

Son principe est de classer les observations ayant la même présentation de variables dans des familles proches

des données atténuées. Dans l'absence de données, les données sont considérées comme des données observées, à savoir :

Des mesures, à savoir la distance euclidienne [55], la distance de Manhattan [56] et distance de Minkowski [57]. Euclidien

1571. La distance δ a été adoptée dans cette étude. Dans cet échantillon, la caractéristique δ est le total

le nombre d'échantillons d'entrée et p est le nombre total d'entités, puis la distance euclidienne d_{ij} entre les entités i et j est la distance euclidienne entre les vecteurs $\mathbf{x}_i$ et $\mathbf{x}_j$. Alors

ent distinctes et les solidiennes entre et est :

$$d(x_i, x_l) = (x_{i1} - x_{l1})^2 + (x_{i2} - x_{l2})^2 + \dots + (x_{in} - x_{ln})^2, \quad j = 1, 2, \dots, n; l = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Le classificateur K-plus proche voisin (KNN) a divisé les exemples de données en données d'entraînement ensembles et ensembles de données de test, en utilisant des étiquettes de classe après l'algorithme de clustering précédent, et est une méthode de classement « supervisée ». Dans le processus de formation, la véritable catégorie de chacun

L'échantillon de formation est utilisé pour former le classificateur, tandis que dans le processus de test, le classificateur est utilisé pour prédire la catégorie de chaque échantillon de test [54]. Les performances et la précision du

Le classificateur KNN dépend du choix de la valeur K et de la mesure de distance appliquée. Dans ce étude, la méthode de validation croisée [54] a été adoptée pour sélectionner la valeur K optimale.

2.1.6. Étape 6 : Recherche de la méthode des facteurs de dommages des sites historiques : linéaires multiples
Analyse de régression

L'analyse de régression linéaire multiple est une méthode d'analyse statistique utilisée pour déterminer la relation quantitative interdépendante entre deux ou plusieurs variables. Son noyau est de utiliser plusieurs variables indépendantes pour prédire ou estimer conjointement la tendance des variables dépendantes variables [58]. Par conséquent, pour clarifier les facteurs de dommages et étudier l'influence du divers facteurs sur le degré de dommages spatiaux des sites historiques, une régression linéaire multiple Un modèle a été sélectionné pour analyser les facteurs d'influence. L'équation du modèle est la suivante (Formule (6)) :

$$\gamma = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \dots + \beta_nX_n + \epsilon$$
 (6)

où γ est la variable dépendante, représentant le degré de dommages spatiaux dans les événements historiques. des sites; $X_1, X_2, \dots, X_n$ est une série de facteurs affectant le degré de dommages spatiaux des sites historiques ; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ est le coefficient de régression, ϵ est le terme d'erreur.

2.2. Sources de données et zone d'étude
2.2.1. Les sources de données

Les données collectées dans les trois zones échantillonnées dans cette étude constituent la base du calcul le degré de dommage spatial. Pour garantir l'exactitude des données, la validation scientifique et une couverture complète, les données de contour des bâtiments et les données routières de la carte OSM ont été combinées. avec des enquêtes sur le terrain, des enregistrements de drones et la carte Baidu Street View (2019). Ce facilité les enquêtes et les analyses statistiques des indicateurs pertinents, y compris les bâtiments, cours et rues à l'intérieur des parcelles. Google Maps a contribué à l'étude du processus d'évolution spatiale des bâtiments, des rues et des tissus au sein des parcelles au cours des dix dernières années [14], et la valeur quantitative de l'indice dynamique du degré d'endommagement du bloc a été extraite. La source des données est présentée dans le tableau 1. Soixante-dix ensembles d'échantillons de données ont été collectés dans le cadre du trois domaines de recherche pour cette étude.

Tableau 1. Sources de données.

Nom des données	Type de données	Les sources de données
Cartes satellites Google	Tiff	Google Terre
Données générales du bâtiment Osm	Osme	https://www.openstreetmap.org/ (consulté le 15 octobre 2022.)
Données routières d'Osm	Osme	https://www.openstreetmap.org/ (consulté le 15 octobre 2022.)
Carte du paysage urbain de Baidu	Carte	https://map.baidu.com/ (consulté le 25 février 2023.)
Carte topographique CAO	Dessin	Bureau local du logement et du développement urbain-rural
Données du troisième cadastre national	Fichier de formes	Bureau local du logement et du développement urbain-rural
Vue aérienne du site	JPG	Recherche sur site (UAV)

2.2.2. Zone d'étude

Trois emplacements sont stratégiquement sélectionnés pour cette étude. Il s'agit de la ville antique de Xiyang, L'ancienne ville de Xiaoyi et l'ancienne ville de Qi, toutes situées dans la province du Shanxi. Les bases ou critères car leur sélection est leur richesse inhérente en matière d'histoire culturelle et de patrimoine à la fois tangible et intangible. Ils comprennent également des échantillons de données tels que des bâtiments, des rues, des cours, etc. de différents niveaux de degré de dommage, qui sont essentiels pour cette étude. L'emplacement du Les domaines de recherche sont présentés à la figure 2.

9 sur 24



3.1. Système d'indexation et pondération

3.1.1. Système d'index

[illegible]

Tableau 2. Les ressources des indices.

Indice Classification	Attributs des éléments	Nom de l'index	Ressources
Indice statique	Nœud	Degré de dommages au toit du bâtiment [41]	Google Maps
		Degré de dommages aux éléments du bâtiment [59]	Baidu Street Voir la carte, drone, et enquête sur le terrain
		Taux de changement de fonction du bâtiment [60]	Enquête sur le terrain
		Taux de contradiction des dimensions du bâtiment [59]	Google Maps
		Degré de dommages structurels au bâtiment	Enquête sur le terrain
	Chemin	Degré de dommages à la forme de la cour	Google Maps
		Degré de dégâts à l'échelle de la rue	Google Maps
		Coordination de rue [36]	Google Maps
		Continuité des rues	Baidu Street Voir la carte, drone, et enquête sur le terrain
Indice dynamique	Bord	Capacité de survie des limites englobantes	Google Maps
	District	Degré d'évolution du tissu	Google Maps

Pour des informations plus détaillées sur la définition et le calcul de ces indicateurs, veuillez vous référer à l'Annexe B. L'organisation spécifique des données des indicateurs se trouve dans Annexe C.

3.1.2. Détermination du poids

Le tableau 3 montre les pondérations combinées de chaque indice. Du tableau, la synthèse La méthode utilise la méthode Delphi pour modifier le poids de la méthode CRITIC afin d'obtenir un poids plus réaliste. L'élément de construction est un indice qui peut refléter le plus directement les dommages situation dans le système d'évaluation car son poids est le plus important, 0,308. Forme de cour et la coordination de rue suivent en deuxième et troisième positions avec des poids de 0,222. et 0,186, respectivement. La limite fermée existe principalement autour des sites historiques. À l'heure actuelle, il reste peu de vestiges des anciens murs de la ville, des douves et autres éléments environnants. limites, leur poids est donc également relativement important. La fonction du bâtiment n'a pas directement concernent les dommages spatiaux des sites historiques, leur poids est donc le plus faible.

Tableau 3. Résultat de poids combiné.

Nom de l'index	Méthode Delphi	CRITIQUE	Multiplication La synthèse
Degré de dommages au toit du bâtiment	0,064	0,089	0,050
Degré de dommages aux éléments du bâtiment	0,205	0,170	0,308
Taux de changement de fonction du bâtiment	0,048	0,021	0,009
Dimension du bâtiment taux de contradiction	0,072	0,029	0,018
Dommages structurels au bâtiment degré	0,062	0,028	0,016
Degré de dégâts de la cour formulaire	0,119	0,211	0,222
Degré de dégâts à l'échelle de la rue	0,050	0,055	0,024
Coordination de rue	0,108	0,194	0,186
Continuité des rues	0,073	0,022	0,014
Limite englobante capacité de survie	0,091	0,137	0,111
Degré d'évolution du tissu	0,108	0,044	0,042

3.2. Résultats de l'analyse de cluster

Selon la valeur d'évaluation globale Q_i , les parcelles d'échantillonnage collectées ont été divisé en cinq groupes. En raison du caractère aléatoire du centre de gravité statistique initial dans analyse de clustering, plusieurs analyses ont été menées et validées par les classificateurs KNN,

ont été divisées en cinq grappes. En raison du caractère aléatoire du centroïde statistique initial dans l'analyse

groupée, plusieurs analyses ont été menées et validées par les classificateurs KNN, ce qui a abouti à un ensemble de classifications de la plus haute précision pour la construction du SDDM. Le pro- résultant en un ensemble de classifications de la plus haute précision pour la construction du SDDM. Le

L'opération a été finalisée alors qu'il n'y avait aucun changement dans le centre du cluster ou seulement un petit changement ; le processus a été finalisé alors qu'il n'y avait aucun changement au centre du cluster ou seulement un petit changement

pour que le changement de coordonnées absolu maximum dans n'importe quel centre soit de 0,000. Il a fallu six itérations pour obtenir le résultat optimal. L'étude comprenait 70 ensembles de données de sites historiques classés pour obtenir le résultat optimal. L'étude comprenait 70 ensembles de données de sites historiques classés pour obtenir le résultat optimal.

Le résultat optimal. L'étude comprenait 70 ensembles de données de sites historiques classés pour obtenir le résultat optimal. L'étude comprenait 70 ensembles de données de sites historiques classés pour obtenir le résultat optimal.

un à cinq, représentant les degrés de dégâts de faible à élevé. Les ségrégations ont été faites de un à cinq, représentant les degrés de dégâts de faible à élevé. Les ségrégations ont été faites de un à cinq,

composé de 22 tronçons au premier degré d'avarie, 26 tronçons au deuxième degré d'avarie, composé de 22

sections au troisième degré de dommage, 9 sections au quatrième degré de dommage, et de dommage, 14

et 1 section au cinquième degré de dommages. Pour déterminer le niveau des dommages, les auteurs des dommages

recherche combinées et collectées des données fondamentales. Les résultats du regroupement sont présentés dans la figure 3.

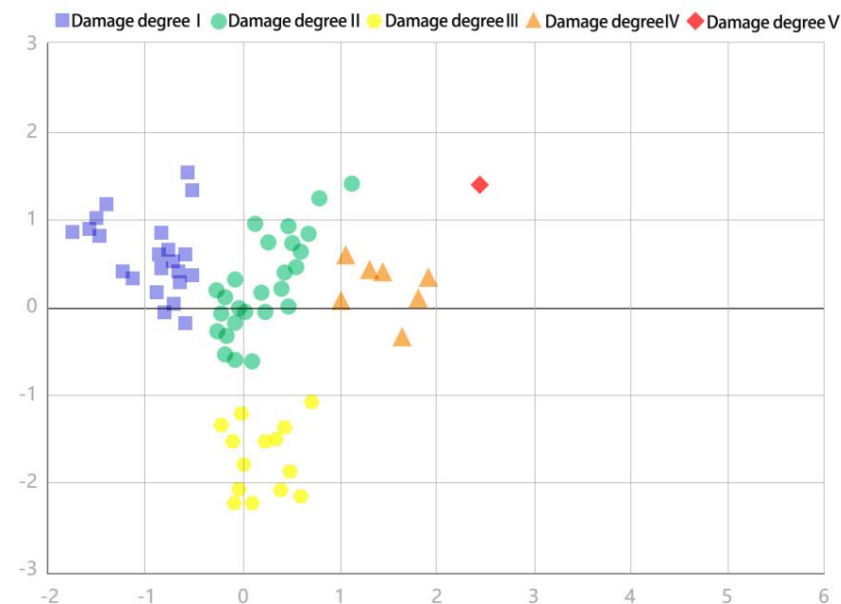


Figure 3. Diagramme de classification du degré de dommage.

En général, le degré de dommages spatiaux au sein des sites historiques a tendance à suivre un modèle spécifique. En général, le degré de dommages spatiaux au sein des sites historiques tend à suivre un modèle spécifique.

Les zones centrales présentent généralement un degré de dommage moindre, tandis que les zones environnantes présentent un degré plus élevé. Essentiellement, les zones centrales des sites historiques ont tendance à être moins endommagées, préservant ainsi efficacement divers types de patrimoine. A l'inverse, les limites de ces sites subissent souvent des dégâts relativement plus importants, avec de nombreux cas de démolition.

Certains de ces sites subissent souvent des dégâts relativement plus importants, avec de nombreuses démolition. Les bâtiments nouvellement construits au sein de ces sites présentent souvent un contraste saisissant avec les structures historiques existantes.

Plus précisément, la région nord de la ville antique de Xiyang a subi des dégâts importants, une parcelle ayant même atteint un degré de dégâts de niveau 5. Cela se manifeste principalement par la démolition de plus de 90 % des bâtiments historiques présents sur le terrain. En outre, des fêtes comme la démolition de plus de 90% des bâtiments historiques de la parcelle. En outre, la taille et la structure des bâtiments nouvellement construits ont subi des transformations substantielles. Le style architectural actuel est sérieusement incompatible avec le style historique,

formations. Le style architectural actuel est sérieusement incompatible avec le style historique, ce qui entraîne une profonde disparité dans l'attrait esthétique de la région.

Deux parcelles supplémentaires dans la ville antique de Xiyang, principalement situées au nord, ont subi des dommages de niveau 4. De même, cinq parcelles dans la cité antique de Qi, réparties dans le nord du pays, ont subi des dégâts de niveau 4. Parcellés entrant dans cette catégorie sont les zones frontalières du sud, ont subi des dégâts de niveau 4. Les parcelles entrant dans cette catégorie sont marquées par la démolition de plus de 60 % des bâtiments historiques, des dégâts importants au tissu urbain et une prolifération considérable de structures de style moderne.

Malgré la préservation de plusieurs bâtiments historiques, la qualité de ceux-ci est généralement médiocre et leur apparence est banale. De plus, il existe un important

le manque de coordination et de continuité entre les tracés des rues, et la fonction de ceux-ci les bâtiments ont radicalement changé.

Une parcelle située dans le coin nord-ouest de la ville antique de Xiyang présente des dégâts de niveau 3. Sim- Une parcelle dans le coin nord-ouest de la ville antique de Xiyang présente des dégâts de niveau 3. ilarment, 13 autres parcelles disséminées le long des périmètres nord et sud, et dans le De même, 13 autres parcelles disséminées le long des périmètres nord et sud, et dans le milieu du côté ouest de la ville antique de Xiaoyi, présentent également des dégâts de niveau 3. Le primaire, au milieu du côté ouest de la ville antique de Xiaoyi, présente également des dégâts de niveau 3. Le l'indication de ce niveau de dommage est le tissu terrestre inchangé, dommage minimal pour le tribunal - l'indication principale de ce niveau de dommage est le tissu terrestre inchangé, dommage minimal structure de la cour et dimensions du bâtiment qui s'alignent sur celles de l'ancien bâtiment d'origine à la structure de la cour et dimensions du bâtiment qui s'alignent sur celles de l'ancien bâtiment d'origine instructions. Les édifices de style moderne constituent une part importante de la superficie totale des bâtiments, les constructions anciennes. Les bâtiments de style moderne constituent une part importante du total tandis que les bâtiments historiques aux apparences inférieures aux normes représentent 30 % à 60 % de la zone de construction, tandis que les bâtiments historiques aux apparences inférieures aux normes représentent 30 % à 60 % de la superficie totale. La majorité de ces parcelles sinistrées de niveau 3 englobent des résidences privées rénovées, soit 60 % de résidences, servant principalement d'espaces résidentiels. Malgré la bonne qualité structurelle des résidences privées, servant principalement d'espaces résidentiels. Malgré la bonne qualité structurelle de ces bâtiments, leur attrait esthétique fait défaut, et il y a un manque notable de qualité de ces bâtiments, leur attrait esthétique fait défaut, et il y a un manque notable de qualité des rues et les ruelles. harmonie entre les

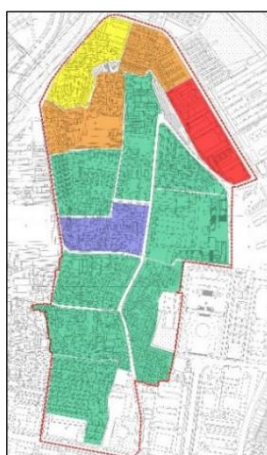
Huit parcelles de la ville antique de Xiyang présentent des dégâts de niveau 2, représentant 60 % des Huit parcelles de la ville antique de Xiyang présentent des dégâts de niveau 2, représentant 60 % des parcelles totales. Celles-ci sont principalement situées dans les parties centrales et méridionales de l'ancienne parcelles totales. Celles-ci sont principalement situées dans les parties centrales et méridionales de l'ancienne ville. De même, douze parcelles endommagées de niveau 2 peuvent être trouvées dans la ville antique de Xiaoyi, principalement situées à l'est et au nord des parcelles endommagées du troisième niveau. Dans la ville antique de Qi, il y a six situées à l'est des parcelles endommagées de deuxième niveau, principalement situées aux quatre coins de la ville. Il s'agit de six les parcelles endommagées avant le deuxième degré conservent le tissu et le style de leurs homologues historiques, les servent la forme de leur cour et du volume et de la fonction du bâtiment préservent la forme de leurs caractéristiques architecturales, mais les caractéristiques architecturales sont perdues. Malgré la présence de quelques humains, ce qui peut conduire à une dégradation de l'intégrité et l'authenticité des bâtiments de style généralement les parcelles endommagées de niveau 2 est plus harmonieuses. Parmi ces parcelles, le style approprié à préserver la grande continuité de l'histoire, que les échelles des bâtiments sont appropriées.

Antique de Xiyang, Antique de Xiaoyi et Antique de Qi ont des dégâts de niveau 3. Dégâts de niveau 3, représentant 40 % des parcelles de ce type dans les villes anciennes de Xiaoyi et Qi, pour la plupart.

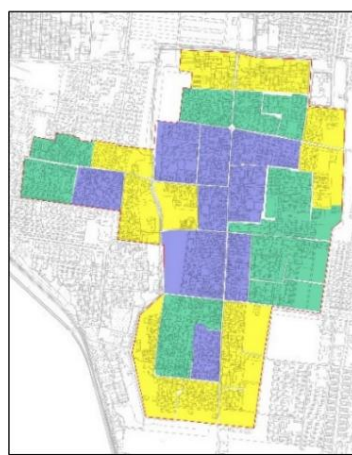
Les centres des villes anciennes de Xiyang, Xiaoyi et Qi ont des dégâts de niveau 3, ce qui a un impact négatif sur la structure bien préservée de la ville antique de Xiyang. L'analyse de la ville antique de Xiyang montre que la structure bien préservée de leurs bâtiments, les bâtiments de style moderne représentent 20 % de leur aux normes comptent moins qu'un style bien coordonné. de la surface totale de construction, tandis que la forme de la cour et la structure sont préservées. Malgré l'analyse des dégâts spatiaux, les bâtiments de style moderne sont les plus nombreux, les fenêtres et les décorations n'ont pas de décoration traditionnelle. Ces résultats ont des implications pour la protection et la préservation des bâtiments qui nécessitent une protection et la préservation à l'avenir.

D'une manière générale, l'ancienne ville de Qi possède le plus haut degré de préservation, tandis que l'ancienne ville de Xiyang a subi le plus de dégâts.

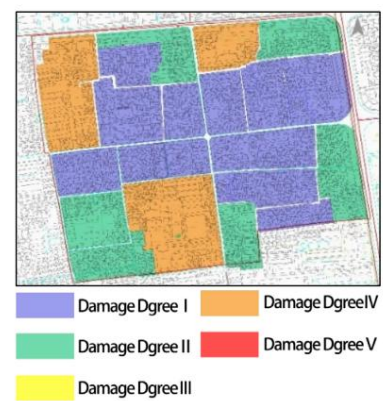
Les classifications du degré de dommage parmi les trois sites historiques de cette région d'étude sont relativement concentrées, comme l'illustre la figure 4.



(un)



(b)



(c)

Figure 4. Résultats de la classification du degré de dommage spatial des sites historiques. (a) Résultats de l'analyse groupée de la ville antique de Xiyang. (b) Résultats de l'analyse groupée de la ville antique de Xiaoyi. (c) Résultats de l'analyse groupée de la ville antique de Qi.

3.3. Résultats de l'analyse de vérification KNN

Grâce au classificateur K-plus proche voisin (KNN), les données ont été divisées en 70 % un ensemble de formation et un ensemble de validation à 30 %, ainsi que les résultats de l'évaluation du modèle ont été obtenus. Le tableau 4 montre les indicateurs d'évaluation des prédictions de l'ensemble de formation et de l'ensemble de tests, et mesure l'effet de prédiction du K-plus proche voisin (KNN) grâce à des mesures quantitatives indicateurs. Parmi eux, les hyper paramètres peuvent être ajustés en continu via L'indice d'évaluation de l'ensemble de validation croisée, et un modèle fiable et stable peut être obtenu.

Tableau 4. Résultats des tests de précision KNN.

	Taux de précision	Taux de rappel	Taux de précision	F1
Ensemble d'entraînement	0,939	0,939	0,925	0,93
Ensemble de test	0,81	0,81	0,695	0,738

Remarque : La précision est la proportion des échantillons corrects prédits dans le total des échantillons ; le taux de rappel est la proportion d'échantillons positifs prédits dans les résultats d'échantillons positifs réels ; le taux de précision est la proportion d'échantillons positifs prédits qui sont des échantillons positifs ; F1 est la moyenne harmonique du taux de précision et le taux de rappel.

D'après les résultats du tableau 3, la proportion des échantillons corrects prévus représentait pour 81% du total des échantillons. Pour les résultats des échantillons réellement positifs, la proportion des échantillons positifs prédits, donc le taux de rappel était de 81 %, le taux d'exactitude était de 69,5 %, et la moyenne harmonique du taux d'exactitude et du taux de rappel était de 73,8 %. À l'avenir, les résultats obtenus par le classificateur K-plus proche voisin (KNN) peuvent être utilisés comme référence pour protéger avec précision les petites parcelles des sites historiques.

3.4. Résultats de l'analyse de régression linéaire

Dans l'analyse de régression, l'indice établi à l'étape 1 est divisé en quatre dimensions : composante du bâtiment, caractéristique et forme, utilisation du terrain constructible et structure du bâtiment. Cette méthode, qui catégorise les indicateurs en quatre groupes distincts, sert principalement à diminuer le nombre de variables impliquées dans l'analyse de régression [61]. Ce faisant, il améliore l'interprétabilité du modèle et simplifie le processus de déchiffrement des résultats [62]. Le classement est détaillé comme suit. (1) Composants du bâtiment : Cette catégorie fusionne les indicateurs « toiture du bâtiment » et « structure du bâtiment », en se concentrant principalement sur les aspects physiques du bâtiment. (2) Caractéristique et forme : cette catégorie comprend trois indicateurs : éléments architecturaux, forme de la cour et coordination des rues. Ces indicateurs abordent collectivement l'esthétique et la forme globales des bâtiments et des sites. (3) Terrain constructible Utilisation : Cette catégorie comprend trois indicateurs : dimension du bâtiment, fonctions du bâtiment, et la limite englobante. L'accent est mis ici principalement sur la disposition des bâtiments et le terrain. utiliser. (4) Tissu bâti : Cette catégorie intègre trois indicateurs : évolution du tissu, rues l'échelle et la continuité des rues. La principale préoccupation ici est le degré d'évolution du tissu, qui reflète les changements spatiaux et le niveau d'évolution des sites historiques, constituant un facteur crucial dans l'évaluation de l'étendue des dégâts spatiaux.

Selon l'analyse, la signification de la régression linéaire multiple est de 0,000, ce qui indique qu'il existe une relation linéaire significative entre le modèle et l'espace. degré de dommage des sites historiques, ce qui est propice à des recherches plus approfondies sur les dommages facteurs des sites historiques. Selon les résultats de signification, le degré d'influence de chacun La variable par ordre décroissant est la suivante :

- Capacité de survie des limites englobantes (X8) ;
- Coordination de rue (X5) ;
- Élément de construction (X3) ;
- Continuité des rues (X11) ;
- Evolution du tissu (X9) ;
- Fonction du bâtiment (X7) ;
- Toit du bâtiment (X1) ;

- Structure du bâtiment (X2) ;
- Forme de cour (X4) ;
- Échelle de rue (X10);
- Dimension du bâtiment (X6).

L'importance de la capacité de survie des limites englobantes (X8), de la coordination des rues (X5), et l'élément de construction (X3) sont tous inférieurs à 0,05, ce qui indique que ces trois indices ont le plus grand impact sur les dommages causés aux sites historiques. La signification des cinq indices de continuité de la rue (X11), évolution du tissu (X9), fonction du bâtiment (X7), toit du bâtiment (X1) et structure du bâtiment (X2) sont tous inférieurs à 0,5, ce qui indique que les dommages causés aux sites historiques sont pas significatif, mais a un certain rôle explicatif. Les trois facteurs de forme de cour (X4), l'échelle de la rue (X10) et la dimension du bâtiment (X6) ne sont pas significatives. Le résultat de plusieurs L'analyse de régression linéaire est présentée dans le tableau 5.

Tableau 5. Tableau des coefficients de régression des facteurs d'influence du degré de dommage spatial des sites historiques.

Classe variable	Variable indépendante	Standardisation Coefficient	Importance	VIF
Composante du bâtiment	Toit du bâtiment X1	0,114	0,296	3.595
	Structure du bâtiment X2	0,222	0,331	15.696
Caractéristique et forme	Élément de construction X3	−0,334	0,048	8.399
	Cour forme X4	−0,076	0,543	4.750
	Coordination de rue X5	−0,378	0,001	3.782
Utilisation du terrain constructible	Cote du bâtiment X6	−0,028	0,903	16.624
	Fonctions du bâtiment X7	−0,097	0,286	2.492
	Limite englobante	0,728	0,000	1.443
	capacité de survie X8			
Tissu de construction	Evolution du tissu X9	−0,093	0,278	2,235
	Échelle de la rue	0,028	0,684	1.443
	X10 Continuité de la rue	0,144	0,181	3.469

X11 Remarque : le VIF (variance inflation factor) est utilisé pour mesurer la covariance de la variable indépendante. Le plus grand plus la valeur est élevée, plus la covariance est importante. Le coefficient standardisé est le coefficient obtenu après normaliser les données.

4. Discussion

4.1. Application et déficience du SDDM

4.1.1. Application du SDDM

Grâce à des enquêtes sur le terrain et à l'observation cartographique des anciens Xiyang, Xiaoyi et Qi villes, l'échantillon de données de base nécessaire à l'établissement du modèle global (SDDM) ont été obtenus. Matlab peut être utilisé pour écrire les codes d'instructions pour toutes sortes de données dans le cadre du système d'indexation établi, y compris divers algorithmes d'indexation, pondération calcul et algorithmes de clustering. En collectant les données de l'Annexe C et suivantes la méthode de calcul de l'annexe B, d'autres lieux historiques peuvent utiliser SDDM pour déterminer le niveau de dégâts sur la parcelle cible, développant ainsi une mise à jour et une rénovation ciblées stratégies.

4.1.2. Lacunes et orientation d'amélioration du SDDM

1. L'objectivité de la collecte de données doit être renforcée.

Le modèle spatial de degré de dommage (SDDM) des sites historiques manque de données quantitatives soutien. Certains indices tels que le degré de dommage des éléments du bâtiment et la coordination le degré de rues est déterminé par une évaluation subjective ; il existe donc une certaine subjectivité et une certaine incertitude dans le processus d'application pratique. Pour améliorer la fiabilité et preuve scientifique du modèle, il est nécessaire d'établir un ensemble d'acquisitions systématiques de données et des méthodes d'analyse pour obtenir des normes d'évaluation des dommages plus précises et objectives.

2. L'entretien et la réparation doivent être pris en compte.

Le modèle spatial de degré de dommage (SDDM) des sites historiques ne prend pas en compte leur entretien et leur restauration. L'ampleur des dommages causés aux sites historiques n'est pas seulement liée à leurs dommages passés, mais également à leur entretien et à leur restauration. Par conséquent, il est nécessaire d'introduire l'entretien et la restauration des sites historiques comme indicateurs d'évaluation et de combiner la méthode d'évaluation du patrimoine (HIA) [63] pour évaluer de manière plus complète le degré de dommage des sites historiques.

3. Les informations et la base de données du système doivent être triées.

Le modèle spatial de degré de dommage (SDDM) des sites historiques ne dispose pas d'une base de données de référence complète pour une application pratique. L'évaluation du degré de dommage des sites historiques est un processus complexe qui nécessite donc de nombreuses données de référence pour le soutenir. Cependant, l'exactitude des résultats de l'évaluation est limitée par le manque de données de référence détaillées dans le modèle actuel du degré de dommage aux sites historiques. Par conséquent, l'une des pistes d'amélioration consiste à établir une base de données de référence complète et à collecter et rassembler les informations pertinentes sur les sites historiques, afin de permettre l'utilisation de modèles d'évaluation.

4.2. Universalité du SDDM

Cours de notre étude, les auteurs ont délibéré sur les différents degrés de dommages dans notre sélection de domaines de recherche. Cela nous a conduit à choisir trois villes anciennes, chacune représentant un niveau de dévastation différent, comme études de cas. Les différents degrés de dommages ont été pris en compte grâce à notre système d'indicateurs soigneusement conçu et à notre processus de normalisation des données. Cette approche nous a permis d'aborder les complexités inhérentes à l'étude de sites présentant un spectre de gravité des dommages, de élevé à faible. Voici comment procéder :

Évaluation des dommages : Le degré de dommages causés aux toits, aux structures, au style et à la forme de la cour des bâtiments peut être utilisé comme mesure de l'intégrité physique, qui est universellement applicable. Les sites situés dans d'autres parties du monde peuvent présenter des caractéristiques architecturales différentes, mais le concept d'évaluation des dommages physiques reste le même.

Incohérence et changement : Le degré d'incohérence dans le volume du bâtiment et le degré de changement dans la fonction du bâtiment peuvent être interprétés comme des mesures d'authenticité et de continuité d'utilisation, respectivement. Ce sont des considérations importantes dans tout lieu historique, quelle que soit sa situation géographique.

Tissu urbain : Le degré de coordination, de continuité et l'échelle des rues et ruelles, ainsi que le degré de préservation des limites environnantes, peuvent être considérés comme des mesures de la relation du site avec son environnement urbain. Ceci est pertinent pour les sites historiques intégrés dans une ville ou un village.

Evolution de la texture : le degré d'évolution de la texture peut être utilisé comme indice de changement au fil du temps. Dans d'autres contextes, cela pourrait être interprété différemment en fonction des facteurs historiques et culturels locaux.

En termes de méthodologie, l'analyse de clustering et la validation KNN sont des techniques généralisables qui peuvent être appliquées dans n'importe quel contexte, à condition que les données collectées soient appropriées et suffisantes. Il est important de souligner que l'impact de notre étude, bien que d'application générale, peut être nuancé par le degré spécifique de dégâts dans chaque ville individuelle [64].

4.3. Progressivité du SDDM

Le potentiel de la recherche en matière de quantification des dommages spatiaux causés aux sites historiques réside dans sa capacité à fournir une mesure complète et quantifiable du niveau de dommages survenus. Ceci est particulièrement important car cela permet de prioriser les efforts de conservation, ainsi que d'analyser les tendances des dommages au fil du temps, ce qui peut éclairer les futures stratégies de préservation.

Par rapport à d'autres méthodologies dans le domaine, telles que les technologies d'essais non destructifs, les archives environnementales historiques (HER), les évaluations d'impact sur le patrimoine (HIA), la modélisation des informations sur les bâtiments historiques (HBIM) et la détection mobile des foules (MCS), les dommages spatiaux la quantification offre une perspective unique. Bien que les contrôles non destructifs, HER, HIA et HBIM offrent des informations inestimables sur l'état des sites et des bâtiments historiques, ils se concentrent principalement sur des cas individuels ou des aspects spécifiques de la préservation. Détection de foule mobi

d'un autre côté, elle exploite le pouvoir du public pour recueillir des données, mais peut manquer de la précision et de l'exhaustivité qu'une approche de mesure dédiée peut apporter. La recherche sur la quantification spatiale des dommages, quant à elle, permet d'avoir une vision plus large et plus globale des dommages sur différents sites historiques, fournissant ainsi une évaluation plus holistique.

Quant aux responsabilités de ces recherches dans la gestion des biens, territoires et sites historiques, elles sont multiples. Premièrement, en fournissant des données quantitatives sur les dommages, cela peut aider à hiérarchiser les ressources pour les efforts de conservation. Cela peut aider à identifier les sites qui ont cruellement besoin de restauration ou de mesures préventives, contribuant ainsi à une allocation efficace des ressources. Deuxièmement, cela peut constituer un outil précieux pour l'élaboration des politiques.

En analysant les tendances et les modèles de dommages, les décideurs politiques peuvent formuler des stratégies plus efficaces pour la préservation des sites historiques. Enfin, ces recherches peuvent contribuer à sensibiliser le public à l'état des lieux historiques. En présentant des données claires et quantitatives sur l'étendue des dégâts, il peut souligner le besoin urgent d'efforts de préservation et favoriser une plus grande implication du public dans la conservation.

4.4. Étude sur les facteurs d'influence des dommages spatiaux dans les sites historiques L'évolution

des formes spatiales historiques et culturelles est le résultat de plusieurs facteurs subjectifs et objectifs. À différentes périodes, divers facteurs dynamiques ont des effets différents sur les formes spatiales historiques et culturelles.

4.4.1. Érosion naturelle

L'érosion naturelle joue un rôle important dans la détérioration des éléments culturels des sites historiques, ce qui englobe les catastrophes naturelles, la pollution de l'environnement et l'usure du temps. Les catastrophes naturelles telles que des vents intenses et de fortes pluies peuvent provoquer la chute des bardeaux et des éléments de liaison du toit, diminuant ainsi la résistance à l'eau du toit et provoquant des fuites. Les tremblements de terre, en revanche, peuvent endommager instantanément la structure d'un bâtiment [65]. La pollution de l'environnement peut directement altérer la composition matérielle du patrimoine culturel. Par exemple, en milieu urbain, les polluants atmosphériques peuvent interagir avec les surfaces des bâtiments, entraînant la corrosion de la pierre et du métal, ce qui, à son tour, endommage l'apparence et la structure des bâtiments. Le vieillissement et la corrosion des matériaux de construction se produisent également au fil du temps en raison de la pollution de l'environnement [66]. Les mauvaises herbes sur les toits sont un facteur majeur dans les dommages structurels aux toits.

Dans la ville antique de Xiyang, les parcelles présentant le plus haut degré de dégâts sur les toits représentent 15 % de tous les toits, les mauvaises herbes causant 80 % des dégâts. Dans la ville antique de Xiaoyi, les parcelles dont les toits ont été endommagés le plus constituent 25 % de tous les dommages aux toits, dont 60 % résultent de l'érosion naturelle et 40 % des activités humaines. Dans l'ancienne ville de Qi, les toits les plus endommagés représentent 13 % de tous les dommages au toit, dont 90 % sont causés par des facteurs naturels.

4.4.2. Dommages causés par les travaux

Les aspects du développement humain jugés positifs et progressifs – construction, culture et expansion – menacent également la longévité et la sécurité du patrimoine culturel [67].

Lors de la rénovation urbaine, de vastes démolitions, reconstructions et rénovations de sites historiques ont été mises en œuvre pour améliorer l'image et l'efficacité économique de la ville. Des efforts ont été déployés pour accroître l'utilisation des terres et le potentiel de développement du marché foncier, conduisant à la démolition et à la reconstruction de bâtiments historiques dont les utilisations sont dépassées et ne répondent plus aux besoins de la société moderne. En conséquence, des bâtiments modernes ont émergé dans des rues initialement continues, modifiant leur fonction et leur style architecturaux et perturbant l'intégrité et la continuité de ces sites historiques. En outre, pour répondre aux besoins de circulation et aux intérêts économiques, de nombreuses rues de ces sites historiques, telles que les rues principales de l'ancienne ville de Xiyang, ont été transformées en larges rues droites ou en centres commerciaux. Cela a conduit à la disparition du tissu en zigzag d'origine, rendant les rues monotones.

De plus, en pleine urbanisation, l'augmentation drastique de la population nécessite de nouveaux aménagements fonciers et la construction de nouveaux bâtiments et infrastructures. Cela arrive souvent

De plus, en pleine urbanisation, l'augmentation drastique de la population nécessite de nouveaux aménagements fonciers et la construction de nouveaux bâtiments et infrastructures. Cela entraîne souvent des destructions des bâtiments historiques préexistants. Les bâtiments historiques préexistants originaux de Xiyang entraînent des problèmes de conservation de la ville de laquelle ils étaient nés. Ils ne peuvent pas être préservés en raison de la grande difficulté de trouver des matériaux et des techniques appropriés et de la difficulté de trouver des artisans locaux capables de les réparer. Dans l'ancien village de Xinyu, une ville de la ville, il y a un grand nombre de bâtiments historiques. Les bâtiments historiques préexistants ont été détruits en raison de la construction de l'ensemble de l'ensemble de la ville. En raison de la destruction des bâtiments historiques préexistants, la ville de Xiyang a des bâtiments originaux ne présentant pas de caractéristiques ou de dépendances dans la distribution du gouvernement du comté ou du district. Ils ne sont pas reconnus par le gouvernement local et ne sont pas maintenus de la ville de la ville, ce qui est illustré à la figure 5.

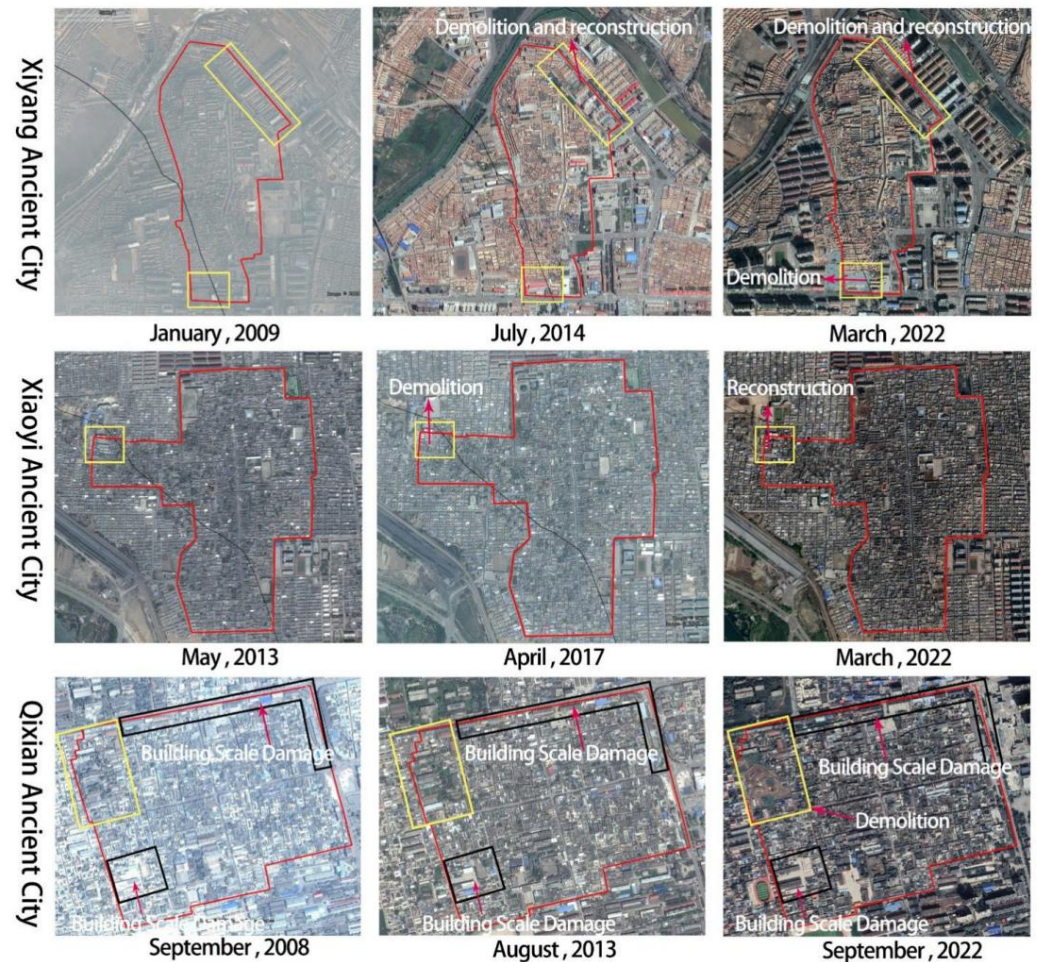


Figure 5. Diagramme d'analyse des dommages à la structure du bâtiment.

4.4.3. Planification et politique

Des politiques et réglementations inadéquates contribuent de manière significative à la dégradation de sites historiques. La rénovation ou la reconstruction urbaine à grande échelle, souvent motivée par des politiques, peut entraîner des dommages substantiels au style et au tissu distinctifs de ces sites. L'afflux de touristes en raison du développement du tourisme exerce également une pression sur la préservation de l'environnement et les bâtiments au sein de ces sites. De plus, si les sanctions pour construction illégale sont insuffisantes, ou si les autorités réglementaires manquent d'efficacité, les sites historiques peuvent souffrir de dommages irréversibles. Cela inclut les dommages causés à la disposition originale et les modifications apportées à l'environnement historique. Les principales caractéristiques de tels dommages sont les suivantes : (1) Important les modifications apportées au tissu des sites historiques ; (2) Dommages importants dus à la reconstruction du bâtiment des efforts dans les rues ; (3) Démolition de certaines zones pour créer des espaces publics.

5. Conclusions

L'étude a développé un modèle complet, connu sous le nom de Spatial Damage Degree Model (SDDM), qui mesure le niveau de dommages spatiaux des sites historiques. Ce modèle intègre ingénieusement diverses méthodes, notamment la méthode Delphi, la méthode de pondération CRITIC, l'analyse de regroupement K-means et la méthode de classification K-plus proche voisins. Pour étudier les facteurs contribuant aux dommages spatiaux dans les sites historiques, les auteurs ont eu recours à une analyse de régression linéaire multiple. Les principales conclusions tirées de cette étude sont les suivantes : 1.

Le développement du modèle de degré de dommage spatial (SDDM) pour les sites historiques représente une innovation significative dans les efforts de préservation traditionnels. Ce modèle fournit non seulement une évaluation précise du degré de dommages spatiaux des sites historiques, facilitant ainsi la formulation de stratégies de conservation précises, mais il comble également une lacune existante dans la quantification des dommages spatiaux dans ce domaine. Il s'agit d'une avancée cruciale dans la préservation des sites historiques, car elle permet des actions de conservation plus ciblées et plus efficaces ;

2. L'étude a révélé que le degré de dommages spatiaux tend à être plus élevé en périphérie et plus faible au centre de la zone. Dans la ville antique de Xiyang, le premier niveau de dégâts représente 7,69 % de la superficie totale, le deuxième niveau 61,53 %, le troisième niveau 7,70 %, le quatrième niveau 15,38 % et le cinquième niveau 7,70 %.

Dans la ville antique de Xiaoyi, les premier, deuxième et troisième niveaux de dégâts représentent respectivement 28,57 %, 34,29 % et 37,14 % de la superficie totale. Pendant ce temps, dans l'ancienne ville de Qi, 50 % de la superficie totale a subi des dégâts de premier niveau, 27,27 % de dégâts de deuxième niveau et 22,73 % de dégâts de quatrième niveau. Dans l'ensemble, la ville antique de Qi a été la mieux préservée et restaurée, tandis que la ville antique de Xiyang a subi le plus de dégâts. La sélection de la zone d'étude a tenu compte de divers degrés de dommages aux fondations.

L'intégration de ces fondements dans le développement du système d'indicateurs, puis la normalisation des indicateurs, permettent d'atténuer les différences dans la qualité initiale de la zone d'échantillonnage. Ainsi, le modèle SDDM a une applicabilité universelle. Il convient toutefois de noter que même si notre modèle de recherche est généralement applicable, il peut nécessiter des ajustements en fonction du degré spécifique de dommage dans chaque ville. Par conséquent, lors de l'application, le modèle peut être modifié en ajustant le système d'indicateurs et d'autres méthodes selon les besoins ;

3. L'ampleur des dommages spatiaux causés aux sites historiques est affectée par l'interaction de plusieurs facteurs, notamment l'érosion naturelle, les dommages causés par la construction et les questions de planification et de politique. L'érosion naturelle englobe des éléments tels que les catastrophes naturelles, la pollution de l'environnement et l'usure du temps, et son impact sur les sites historiques est une réalité objective. Les dommages causés par la construction sont principalement dus au manque de sensibilisation des résidents et à des pratiques de rénovation urbaine inappropriées, ce qui en fait une question subjective. Une planification inadéquate et l'absence de politiques ont un impact significatif sur les dommages spatiaux causés aux sites historiques, car ces facteurs déterminent l'adhésion et la légitimité des efforts de préservation de ces sites. Ce sont les principaux domaines

qui nécessitent des améliorations à l'avenir ; 4. L'application du SDDM peut être élargie en mettant en œuvre les

(1) Instructions détaillées pour chaque étape : développez l'utilisation de SDDM en fournissant un guide complet pour chaque étape. Cette étude propose des définitions et des méthodologies de calcul pour chaque indicateur, ainsi que des exemples de tableaux pour la collecte et le classement des données (tels que les annexes B et C), qui peuvent aider considérablement les utilisateurs dans la collecte de données. De plus, l'article décrit le processus d'utilisation de l'analyse groupée et comment déterminer les valeurs K (règle du coude). (2) Élaborer et affiner les lignes directrices pour l'ajustement des indicateurs : à l'avenir, la création de lignes directrices pour l'ajustement des indicateurs pourra être intégrée. Cela peut prendre en considération divers facteurs tels que les conditions environnementales, les réglementations locales ou la participation communautaire [68].

Par conséquent, le système d'indicateurs peut être modifié en fonction de sites historiques spécifiques. (3) Diversification du modèle : envisager d'intégrer le SDDM à d'autres modèles d'évaluation (par

modèles d'évaluation des services écosystémiques, modèles d'évaluation de la valeur du paysage, etc.) pour générer un système d'évaluation plus complet et plus diversifié. Cela pourrait améliorer la polyvalence et l'applicabilité du modèle. (4) Développement d'outils en ligne : la création d'outils en ligne ou d'applications mobiles pourrait rendre le SDDM plus facilement accepté et utilisé par le public. Cela rend non seulement le modèle plus accessible, mais encourage également son utilisation généralisée pour l'évaluation des sites historiques.

Contributions des auteurs : tous les auteurs ont contribué à l'article. WH a proposé l'idée de cet article et était responsable de sa révision et de sa rédaction. BZ était responsable de la rédaction et de l'analyse des données.

Tous les auteurs ont lu et accepté la version publiée du manuscrit.

Financement : Cette recherche a été soutenue par la recherche sur les caractéristiques et les méthodes de protection contre l'érosion saline et les maladies altérées dans les murs de la ville des dynasties Jin et Ming du nord, le projet général de recherche en sciences naturelles de la province du Shanxi (numéro de subvention : 202203021211171) et la recherche sur Réforme de l'enseignement de la planification rurale dans le contexte de la planification spatiale nationale (numéro de subvention : J20230180).

Déclaration de disponibilité des données : Les données présentées dans cette étude sont disponibles sur demande auprès de l'auteur correspondant. Les données ne sont pas accessibles au public en raison de préoccupations concernant la vie privée des participants individuels et la nature sensible des données de recherche. Toutes les demandes de données seront soumises à un processus d'examen éthique pour garantir que la confidentialité des participants est préservée et que l'utilisation des données est conforme aux directives éthiques de la recherche.

Conflits d'intérêts : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

Annexe A

Tableau A1. Exemple de formulaire de notation d'expert.

Importance Score	Très Important	Important	Neutre	Sans importance	Très Sans importance
	5	4	3	2	1
Degré de dommages au toit du bâtiment					
Degré de dommages aux éléments du bâtiment					
Taux de changement de fonction du bâtiment					
Taux de contradiction des dimensions du bâtiment					
Degré de dommages structurels au bâtiment					
Degré de dommages à la forme de la cour					
Degré de dégâts à l'échelle de la rue					
Coordination de rue					
Continuité des rues					
Capacité de survie des limites englobantes					
Degré d'évolution du tissu					
Note					

Appendice B

Tableau A2. Méthode de calcul et connotation des indicateurs.

Indice Classification	Élément Les attributs	Nom de l'index	Définition de l'indice	Symbolique Représentation et Méthode de calcul	Annotation d'index
Indice statique	Bâtiments (Nœud)	Degré de dommages au toit du bâtiment	Le degré de dommage au toit d'un bâtiment	$FR = \sum_{je=1}^3 NRi/NA \cdot wi$	NRi est le nombre de toits présentant différents degrés de dommages, NA est le nombre total de toits dans la parcelle, wi est le poids des toits présentant différents degrés de dommages.
		Degré de dommages structurels au bâtiment	La proportion du nombre de bâtiments présentant des dommages structurels par rapport au nombre total de bâtiments	$Sd = NSD/NA$	NSD est le nombre total de bâtiments présentant des dommages structurels sur la parcelle, NA est le nombre total de toits sur la parcelle.
		Degré de dommages aux éléments du bâtiment	Somme pondérée de la proportion de la superficie des bâtiments de styles et de caractéristiques différents par rapport à la superficie totale de construction de l'ensemble du terrain.	$PA = \sum_{je=1}^5 SPI/SA \cdot wi$	SPi est la superficie de base des bâtiments présentant des caractéristiques différentes, SA est la superficie de base totale des bâtiments au sein de la parcelle, wi est le poids des bâtiments présentant des styles et des caractéristiques différents.
		Taux de changement de fonction du bâtiment	La proportion de bâtiments aux fonctions modifiées par rapport au nombre total de bâtiments	$Fc = NFC/NA$	NFC est le nombre total de bâtiments avec des changements fonctionnels sur la parcelle, NA est le nombre total de bâtiments sur la parcelle.
		Taux de contradiction des dimensions du bâtiment	La proportion de superficie de construction non coordonnée dans la superficie totale de construction	$Vd = SVD/SA$	SVD est la superficie totale de la base du bâtiment avec un volume incohérent, SA est la superficie totale de la base des bâtiments au sein de la parcelle.
	Cour (Nœud)	Degré de dommages à la forme de la cour	La proportion de différents degrés de cours effondrés par rapport au nombre total de cours	$YD = \sum_{je=1}^5 NYi/NAY \cdot wi$	NYi est le nombre de cours endommagées dans la catégorie i, NAY est le nombre total de cours, wi est le poids des cours présentant différents degrés de dommages.
	Réseau routier (Chemin)	Degré de dégâts à l'échelle de la rue	Valeur absolue de la différence entre le rapport largeur/hauteur des rues principales et les valeurs standards historiques des rues	$LS = Di/Salut - RS $	Di/Hi est le rapport hauteur/largeur des rues et ruelles principales de la ième parcelle, RS est le rapport hauteur/largeur standard des rues et ruelles historiques.
		Coordination de rue	Le degré de coordination des façades des rues et ruelles principales en termes de style et d'apparence	$Cdi = \{1, 2, 3, 4, 5\}$	Cdi est le degré de coordination du style de façade des rues et ruelles principales de la ième parcelle
		Continuité des rues	Adhésion du fil Main Street taux	$TAR = L/\sum Si \cdot Ki$	Si est la longueur projetée de la ligne de marge légale du i-ème bâtiment sur la ligne rouge des rues et ruelles ; Ki est la distance minimale légale entre les lignes rouges des rues et ruelles du i-ème bâtiment ; L est la longueur de la ligne médiane de la rue et de l'allée.
	Frontière (Bord)	Capacité de survie des limites englobantes	Comparaison des données historiques, des vestiges des remparts authentiques de la ville, des ceintures vertes, des rivières et d'autres limites environnantes du bloc	$Bsi = \{1, 2, 3, 4, 5\}$	Bsi est la situation restante de la limite englobante de la i-ème parcelle.
Indice dynamique	Évolution (District)	Diplôme d'évolution architecturale	Comparez les bâtiments historiques de la parcelle dans les données historiques, superposez-les avec les bâtiments historiques actuels et déterminez le degré de préservation des bâtiments historiques	$AE = \sum_{je=1}^n SANi / \sum_{je=1}^m SAPj$	SANi est la surface de base actuelle du bâtiment au sein de la parcelle ; SAPj est la superficie de base des bâtiments historiques au sein de la parcelle.
		Degré d'évolution de des rues	Comparez le système de réseau routier de la parcelle dans les données historiques, superposez-le avec le réseau routier actuel et déterminez le degré de préservation du réseau routier historique	$SE = \sum_{je=1}^n SNi / \sum_{je=1}^m SPj$	SNi est la superficie actuelle des rues et ruelles au sein de la parcelle ; SPj est la zone des rues et ruelles passées au sein de la parcelle.
		Degré d'évolution du tissu	La somme de l'évolution architecturale et de l'évolution des rues	$TE = AE - 1 + SE - 1 $	AE est le degré d'évolution architecturale ; SE est le degré d'évolution des rues.

Annexe C

Tableau A3. Exemple de tableau de collecte de données.

Quantité totale de cour		
Quantité totale de construction		
Évolution du tissu	Evolution de la rue	
	Évolution du bâtiment	
Capacité de survie des limites englobantes	Score	
Continuité des rues	Score	
Coordination de rue	Score	
Échelle de la rue	Score	
Forme de cour	Score	
	Poids 0/4	1
	Poids	3
	1/4	
	Poids 2/4	5
	Poids	7
	3/4	
	Poids 4/4	9
Volume du bâtiment	Score	
Fonction du bâtiment	Score	
Caractéristique du bâtiment	Score	
	Poids	1
	Pauvre	
	Poids	3
	Équitable	
	Poids	5
	Moyenne	
	Poids	7
	Bien	
	Poids	9
	Excellent	
Structure de bâtiment	Score	
Toit du bâtiment	Score	
	Poids	3
	Proportion de toitures vétustes	
	Poids	6
	Proportion de toits intacts dans les bâtiments résidentiels	
	Poids	9
Proportion de toits de bâtiments anciens intacts		

Les références

1. Assemblée générale des Nations Unies. Transformer notre monde : le Programme de développement durable à l'horizon 2030 ; Assemblée générale des Nations Unies : New York, NY, États-Unis, 2015.
2. Glendinning, M. Le mouvement de conservation : une histoire de la préservation architecturale : de l'Antiquité à la modernité ; Routledge : Londres, Royaume-Uni, 2013.
3. Charte, V. Charte internationale pour la conservation et la restauration des monuments et sites (ICOMOS). Dans Actes des actes du 2e Congrès international des architectes et techniciens des monuments historiques, Venise, Italie, 25-31 mai 1964.
4. ICOMOS. Charte pour la conservation des villes historiques et des zones urbaines ; ICOMOS : Washington, DC, États-Unis, 1987.
5. Bonazza, A. ; Sardella, A. Changement climatique et patrimoine culturel : méthodes et approches pour l'évaluation des dommages et des risques Adressé à une application pratique. Patrimoine 2023, 6, 3578-3589. [\[Référence croisée\]](#)
6. Meyer, D. ; Hess, M. ; Lo, E. ; Wittich, CE; Hutchinson, TC ; Kuester, F. Évaluation post-catastrophe des sites du patrimoine culturel basée sur un drone après le tremblement de terre de South Napa en 2014. Dans Actes du patrimoine numérique 2015, Grenade, Espagne, 28 septembre-2 octobre 2015 ; pp. 421-424.
7. Salazar, LGF; Romão, X. ; Paupério, E. Examen des indicateurs de vulnérabilité pour l'évaluation des risques d'incendie dans le patrimoine culturel. Int. J. Réduction des risques de catastrophe. 2021, 60, 102286. [\[Réf. croisée\]](#)
8. Stein, GJ Le patrimoine culturel de l'Afghanistan ravagé par la guerre : un aperçu des projets d'évaluation, d'atténuation et de préservation. Proche Orient. Archéol. 2015, 78, 187-195. [\[Référence croisée\]](#)
9. Isakhan, B. Création de la base de données sur la destruction des biens culturels irakiens : calcul d'un indice de destruction du patrimoine. Int. J. Hér. Goujon. 2015, 21, 1-21. [\[Référence croisée\]](#)
10. Vecvagars, K. Valorisation des dommages et des pertes de biens culturels après une catastrophe : document conceptuel et options de recherche ; CEPALC : Santiago, Chili, 2006.
11. Vafadari, A. ; Philippe, G. ; Jennings, R. Évaluation des dommages et surveillance des lieux du patrimoine culturel lors d'une catastrophe et d'un événement post-catastrophe - Une étude de cas de la Syrie. Int. Cambre. Photogramme. Télédétection. Crachat. Inf. Sci. 2017, 42, 695-701. [\[Référence croisée\]](#)
12. Karataş, L. ; Un examen.; Alptekin, A. ; Dal, M. ; Yakar, M. Une méthode systématique d'évaluation des dommages post-séisme : étude de cas du château d'Antep, Türkiye. Av. Ing. Sci. 2023, 3, 62-71.
13. Tapeté, D. ; Cigna, F. Tendances et perspectives de la télédétection spatiale SAR pour le paysage archéologique et culturel applications patrimoniales. J. Archéol. Sci. Rapport 2017, 14, 716-726. [\[Référence croisée\]](#)
14. Luo, L. ; Wang, X. ; Guo, H. ; Lasaponara, R. ; Bateau.; Bachagha, N. ; P'tit.; Yao, Y. ; Masini, N. ; Chen, F. Google Earth comme outil puissant pour les applications du patrimoine archéologique et culturel : une revue. Remote Sens.2018 , 10, 1558. [\[CrossRef\]](#)
15. Baranwal, E. ; Seth, P. ; Pandé, H. ; Raghavendra, S. ; Kushwaha, S. Application d'un véhicule aérien sans pilote (UAV) pour l'évaluation des dommages causés à un monument du patrimoine culturel. Dans Actes de l'UASG 2019 : Unmanned Aerial System in Geomatics, Roorkee, Inde, 6 et 7 avril 2019 ; pp. 123-131.
16. Cerra, D. ; Planche, S. ; Lysandrou, V. ; Tian, J. Sites du patrimoine culturel en danger – Vers une détection automatique des dommages depuis l'espace. Remote Sens.2016 , 8, 781. [\[CrossRef\]](#)
17. Randazzo, L. ; Collina, M. ; Ricca, M. ; Barbieri, L. ; Bruno, F. ; Arcudi, A. ; La Russa, MF Indices de dommages et photogrammétrie pour l'évaluation de la dégradation du patrimoine culturel en pierre : étude de cas du portail d'entrée principal de l'église San Domenico (Calabre du Sud, Italie). Durabilité 2020, 12, 5198. [\[CrossRef\]](#)
18. Romao, X. ; Pauperio, EJ Un indicateur pour l'évaluation des pertes économiques post-catastrophe et des impacts sur le patrimoine culturel. Int. J. Archit. Héritage. 2021, 15, 678-697. [\[Référence croisée\]](#)
19. Zhang, Y. ; Zong, R. ; Kou, Z. ; Shang, L. ; Wang, D. Collablearn : Un système de collaboration crowd-IA sensible à l'incertitude pour les évaluation des dommages au patrimoine. IEEETrans. Calculer. Soc. Système. 2021, 9, 1515-1529. [\[Référence croisée\]](#)
20. Diz-Mellado, E. ; Mascort-Albéa, EJ; Romero-Hernández, R. ; Galán-Marín, C. ; Rivera-Gómez, C. ; Ruiz-Jaramillo, J. ; Jaramillo- Morilla, A. Procédure intégrée d'essais non destructifs et de méthode des éléments finis pour le diagnostic du patrimoine : étude de cas de la cathédrale de Séville. J. Construire. Ing. 2021, 37, 102134. [\[Réf. croisée\]](#)
21. Tejedor, B. ; Lucchi, E. ; Bienvenido-Huertas, D. ; Nardi, I. Techniques non destructives (CND) pour le diagnostic des bâtiments patrimoniaux : Procédures traditionnelles et perspectives d'avenir. Construction énergétique. 2022, 263, 112029. [\[Réf. croisée\]](#)
22. Gil, E. ; Mas, Á.; Lerma, C. ; Torner, MOI ; Vercher, J. Méthodologies de techniques non destructives pour la détection d'objets anciens structures sous les bâtiments patrimoniaux. Int. J. Archit. Héritage. 2021, 15, 1457-1473. [\[Référence croisée\]](#)
23. Pehlivan, GF Analyse du patrimoine culturel par des méthodes non destructives : le cas du musée du congrès de Sivas. Archit. Urbain Plan. 2023, 19, 1-16. [\[Référence croisée\]](#)
24. Işık, N. ; Halifeoğlu, FM; Ipek, S. Techniques d'essais non destructifs pour évaluer les dommages structurels des murs historiques de la ville. Constr. Construire. Maître. 2020, 253, 119228. [\[Réf. croisée\]](#)
25. Accardo, G. ; Giani, E. ; Giovagnoli, A. La carte des risques du patrimoine culturel italien. J. Archit. Conserver. 2003, 9, 41-57. [\[Référence croisée\]](#)
26. Li, Q. ; Liu, M. ; Chanson, J. ; Du, Y. ; Gao, F. La carte des risques du patrimoine culturel interrégional : du point de vue d'une lente dégradation. Durabilité 2022, 14, 13827. [\[CrossRef\]](#)
27. Wang, N. ; Zhao, X. ; Wang, L. ; Zou, Z. Nouveau système d'enquête rapide et de détection des dommages dans la conservation du patrimoine culturel basé sur l'apprentissage profond. J. Infrastructure. Système. 2019, 25, 04019020. [\[Réf. croisée\]](#)

28. Achrafi, B. ; Neugebauer, C. ; Kloos, MJS Un cadre conceptuel pour l'évaluation de l'impact sur le patrimoine : un examen et une perspective. *Durabilité* 2021, 14, 27. [\[CrossRef\]](#)
29. Cucco, P. Évaluation de l'impact sur le patrimoine dans le WHS de l'UNESCO. Une approche pour évaluer les modifications induites par l'homme sur les façades des bâtiments traditionnels. In *En transition : défis et opportunités pour le patrimoine bâti* ; EdicomEdizione : Milan, Italie, 2023 ; pp. 177-192.
30. Agapiou, A. ; Lysandrou, V. ; Thémistocleous, K. ; Hadjimitsis, DG Évaluation des risques liés aux groupes de sites du patrimoine culturel à l'aide du satellite imagerie et SIG : étude de cas du district de Paphos, Chypre. *Nat. Dangers* 2016, 83, 5–20. [\[Référence croisée\]](#)
31. Jboor, NH; Belhi, A. ; Al-Ali, AK ; Bouras, A. ; Jaoua, A. Vers un cadre d'inpainting pour le patrimoine culturel visuel. Dans les actes de la conférence conjointe internationale IEEE Jordan 2019 sur le génie électrique et les technologies de l'information (JEEIT), Amman, Jordanie, 9-11 avril 2019 ; pp. 602-607.
32. Jiang, L. ; Wang, S. ; Soleil, Z. ; Chen, C. ; Zhao, Y. ; Su, Y. ; Kou, Y. Délimitation spatiale de la zone de la Grande Muraille à l'échelle du sous-bassin versant : A Perspective couplée écologique et patrimoniale. *Durabilité* 2022, 14, 13836. [\[CrossRef\]](#)
33. Solla, M. ; Gonçalves, LM; Gonçalves, G. ; Francisco, C. ; Puente, moi. ; Providencia, P. ; Gaspar, F. ; Rodrigues, H. Une approche de modélisation des informations du bâtiment pour intégrer des données géomatiques pour la documentation et la préservation du patrimoine culturel. *Téléseins.2020* , 12, 4028. [\[CrossRef\]](#)
34. Huo, Z. Protection juridique du patrimoine culturel en Chine : un défi pour garder l'histoire vivante. *Int. J. Culte. Politique* 2016, 22, 497-515. [\[Référence croisée\]](#)
35. Rao, K. Un nouveau paradigme pour l'identification, la proposition d'inscription et l'inscription de biens sur la Liste du patrimoine mondial. *Int. J. Hérît. Goujon.* 2010, 16, 161-172. [\[Référence croisée\]](#)
36. Wu, X. Le système d'évaluation de la valeur formelle des quartiers historiques : prenons par exemple les principaux quartiers historiques de Guangzhou, Foshan et Zhaoqing. *Mémoire de maîtrise*, Université de technologie de Chine du Sud, Guangzhou, Chine, 2014.
37. Li, JL; Chu, JL ; Zhao, ZY explore le chemin d'activation des colonies traditionnelles basé sur la cognition et la valeur des fonctionnalités Évaluation : prendre l'ancien Huizhou comme exemple. *Mod. Rés. Urbaine.* 2019, 4, 121-131.
38. Liu, Y. ; Luo, H. ; Lui, ZJ Recherche sur l'évaluation de la valeur de l'espace traditionnel des rues et des ruelles : prendre la vieille rue de Shankou dans Le comté de Xiushui à titre d'exemple. *Dév. Petites villes Villes* 2019, 37, 83-89.
39. Cheng, M. Recherche sur le système d'indice d'évaluation des villages traditionnels au niveau provincial dans la province du Jiangxi. *Maîtrise Thèse*, Université normale du Jiangxi, Nanchang, Chine, 2016.
40. Lynch, K. *L'image de la ville* ; The MIT Press : Cambridge, MA, États-Unis, 1962.
41. Li, JW; Li, Q. Recherche sur les évaluations globales et le bloc historique dans les villes petites et moyennes de la région du Nord-Est - Étude de cas sur la route Tuo Huang Niu, Anda. *Appl. Mécanique. Maître.* 2012, 209, 41-44. [\[Référence croisée\]](#)
42. Bandarin, F. ; Van Oers, R. *Le paysage urbain historique : gérer le patrimoine dans un siècle urbain* ; John Wiley & Sons : Hoboken, New Jersey, États-Unis, 2012.
43. Li, S. ; Dragicevic, S. ; Castro, FA ; Sester, M. ; Hiver, S. ; Coltekin, A. ; Petit, C. ; Jiang, B. ; Haworth, J. ; Stein, A. ; et coll. Théorie et méthodes de gestion des mégadonnées géospatiales : examen et défis de la recherche. *ISPRS J. Photogramme. Téléseins.* 2016, 115, 119-133. [\[Référence croisée\]](#)
44. Yuan, Y. ; Raubal, M. ; Liu, Y. Corrélation de l'utilisation du téléphone mobile et du comportement de voyage – Une étude de cas de Harbin, Chine. *Calculer. Environ. Système urbain.* 2012, 36, 118-130. [\[Référence croisée\]](#)
45. Feilden, BM; Jokilehto, J. Lignes directrices pour la gestion des sites du patrimoine culturel mondial. *Hist. Les villes enjeux de la conservation urbaine.* 2019, 8, 425.
46. Yang, J. ; Vous, Y. ; Oui, X. ; Lin, J. Évaluation des risques des sites du patrimoine culturel basée sur RS et SIG – Prend les manoirs fortifiés de Yongtai par exemple. *Int. J. Réduction des risques de catastrophe.* 2023, 88, 103593. [\[Réf. croisée\]](#)
47. Samadzadegan, F. ; Dadrass Javan, F. ; Zeynalpoor Asl, M. Modélisation 3D du patrimoine architectural à l'aide de véhicules aériens sans pilote imagerie multi-vues. *Int. Cambre. Photogramme. Télédétection. Crachat. Inf. Sci.* 2023, 48, 1395-1402. [\[Référence croisée\]](#)
48. Mehta, S. ; Kukreja, V. ; Gupta, A. Explorer l'efficacité des modèles CNN et SVM pour la classification automatisée de la gravité des dommages dans les bâtiments patrimoniaux. Dans les actes de la deuxième conférence internationale 2023 sur l'intelligence augmentée et les systèmes durables (ICAISS), Trichy, Inde, 23-25 août 2023 ; pp. 252-257.
49. Žižovic, M. ; Mijlkovic, B. ; Marinkovic, D. Méthodes objectives pour déterminer les coefficients de pondération des critères : une modification du méthode critique. *Décis. Mak. Appl. Gérer. Ing.* 2020, 3, 149-161. [\[Référence croisée\]](#)
50. McPherson, S. ; Reese, C. ; Wendler, MC Mise à jour de la méthodologie : études Delphi. *Infirmières. Rés.* 2018, 67, 404-410. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
51. Jain, AK Clustering de données : 50 ans au-delà des K-means. *Reconnaissance de modèles. Lett.* 2010, 31, 651-666. [\[Référence croisée\]](#)
52. Lloyd, S. Quantification des moindres carrés en PCM. *IEEETrans. Inf. Théorie* 1982, 28, 129-137. [\[Référence croisée\]](#)
53. Uzcategui-Salazar, M. ; Lillo, J. Une nouvelle approche de l'évaluation de la vulnérabilité à la pollution dans les aquifères à l'aide de l'analyse K-means. *Environ. Science de la Terre.* 2022, 81, 495. [\[Réf. croisée\]](#)
54. Peterson, LE K-voisin le plus proche. *Scholarpedia* 2009, 4, 1883. [\[CrossRef\]](#)
55. Danielsson, P.-E. Cartographie des distances euclidiennes. *Calculer. Graphique. Processus d'images.* 1980, 14, 227-248. [\[Référence croisée\]](#)
56. Sinwar, D. ; Kaushik, R. Étude des métriques de distance euclidienne et Manhattan à l'aide d'un clustering simple à k-moyennes. *Int. J. Rés. Appl. Sci. Ing. Technologie.* 2014, 2, 270-274.
57. Groenen, PJ; Jajuga, K. Regroupement flou avec des distances de Minkowski au carré. *Système d'ensembles flous.* 2001, 120, 227-237. [\[Référence croisée\]](#)
58. Draper, NR ; Smith, H. *Analyse de régression appliquée* ; John Wiley & Sons : Hoboken, NJ, États-Unis, 1998 ; Tome 326.

59. Cucco, PJEEDA Dalla Conservazione Integrata di Amsterdam (1975) pour l'Approche intégrée du patrimoine culturel (2020). Nouvelle perspective dans le scénario de changements mondiaux. *Esempi Di Archit.* 2020, 2, 1–10.
60. Xiaocui, D. Recherche sur la zone de protection des blocs historiques et culturels dans la ville de Hanzhong. Mémoire de maîtrise, Université de Xi'an Architecture et technologie, Xi'an, Chine, 2015.
61. Chen, H. ; Su, K. ; Peng, L. ; Grand.; Zhou, L. ; Yang, Q. Niveaux mixtes d'utilisation des terres dans les établissements ruraux et leurs facteurs d'influence : une étude de cas du village de Pingba à Chongqing, en Chine. *Int. J. Environ. Rés. Santé publique* 2022, 19, 5845. [\[CrossRef\]](#) [\[Pub Med\]](#)
62. Murtagh, F. ; Heck, A. Analyse de données multivariées ; Springer Science & Business Media : Dordrecht, Pays-Bas, 2012 ; Volume 131.
63. Seyedashrafi, B. ; Ravankhah, M. ; Weidner, S. ; Schmidt, M. Application de l'évaluation de l'impact du patrimoine au développement urbain : Monde propriété patrimoniale de Masjed-e Jame d'Ispahan en Iran. *Soutenir. Villes Soc.* 2017, 31, 213-224. [\[Référence croisée\]](#)
64. Achrafi, B. ; Kloos, M. ; Neugebauer, C. Heritage Impact Assessment, au-delà d'un outil d'évaluation : une analyse comparative de l'impact du développement urbain sur l'intégrité visuelle dans quatre biens du patrimoine mondial de l'UNESCO. *J. Culte. Héritage.* 2021, 47, 199-207. [\[Référence croisée\]](#)
65. Weththimuni, ML ; Licchelli, M. Conservation et restauration du patrimoine : caractérisation, nettoyage et traitements des surfaces. *Revêtements* 2023, 13, 457. [\[CrossRef\]](#)
66. Bogdan, A. ; Chambre, D. ; Copolovici, DM; Bungau, T. ; Bungau, CC; Copolovici, L. Préservation des bâtiments patrimoniaux dans le processus de développement urbain durable : le cas de la ville médiévale de Brasov, Roumanie. *Durabilité* 2022, 14, 6959. [\[CrossRef\]](#)
67. al-Houdalieh, SH ; Sauders, RR Destruction de bâtiments : les conséquences de l'urbanisation croissante sur le patrimoine culturel dans la province de Ramallah. *Int. J. Culte. Prop.* 2009, 16, 1-23. [\[Référence croisée\]](#)
68. Couco, P. ; Maselli, G. ; Nesticò, A. ; Ribera, F. Un modèle d'évaluation pour la réutilisation adaptative du patrimoine culturel conformément aux ODD 2030 et aux principes de qualité européens. *J. Culte. Héritage.* 2023, 59, 202-216. [\[Référence croisée\]](#)

Avis de non-responsabilité/Note de l'éditeur : Les déclarations, opinions et données contenues dans toutes les publications sont uniquement celles du ou des auteurs et contributeurs individuels et non de MDPI et/ou du ou des éditeurs. MDPI et/ou le(s) éditeur(s) déclinent toute responsabilité pour tout préjudice corporel ou matériel résultant des idées, méthodes, instructions ou produits mentionnés dans le contenu.