



RAPPORT

de la mission post-sismique du séisme du 3 avril 2024 de Hualien (Taïwan),
réalisée en coopération avec la SGEB (Suisse)

Novembre 2024



Association Française du Génie Parasismique
French Association for Earthquake Engineering

REMERCIEMENTS

Parmi les facteurs de réussite des missions de terrain post-sismiques, l'accueil qui est réservé aux participants sur place, la disponibilité des contacts locaux et leur volonté de partager leur expérience sont indispensables. Les membres de la mission Taiwan 2024, tiennent à exprimer tous leurs remerciements aux responsables de l'AFPS et de la SGEB qui ont décidé d'organiser cette mission, et aux équipes des deux associations qui se sont mobilisées pour la préparation et le suivi des activités, notamment la cellule des missions post-sismiques.

Le bureau de représentation de la France à Taiwan ainsi la représentation Suisse, ont pleinement soutenu l'organisation de la mission, et ça a été un plaisir de bénéficier de l'appui de Mme Cléa Le Cardeur, et M François-Xavier Runner lors de notre déplacement.

Le Centre National des Opérations de Secours (CEOC) à Taipei, ainsi que le centre opérationnel local de Hualien, piloté par les pompiers du comté de Hualien, nous ont fourni des explications détaillées, et ont grandement aidé à la prise de contact pour les visites de terrain. Un grand merci à Ming-Yuan Shih Chef de cabinet du directeur de l'Agence Nationale des Pompiers (NFA, Ministère de l'intérieur) et Kai Lu (Hualien County Fire Bureau) pour le temps qu'ils nous ont consacré. Le Lt Col Lo-Gan Kuo de l'Agence Nationale de Police (NPA) nous a également fourni des informations précieuses sur la gestion de crise.

De très nombreux organismes taiwanais ont répondu favorablement à nos demandes de contact et de visite, rendant ainsi possible un recueil d'information très détaillé. Le Centre National de Recherche en Génie Parasismique (NCREE), représentée par son directeur Chiu-Lin Wu, le Dr Chi-Hao Lin et le Pr Lee en particulier, ont eu la gentillesse de nous recevoir dans leurs locaux, et de nous accompagner sur le terrain. Le Centre National de Recherche sur la Prévention des Risques (NCDR), représenté par son directeur Wei-Sen Li nous a expliqué en détail l'organisation et les outils de la gestion de crise.

Le Bureau des Affaires culturelles du Hualien et le Parc du Taroko ont pleinement soutenu nos demandes de visite, malgré un contexte difficile, et nous leurs sommes reconnaissant d'avoir pu mener notre mission dans les sites d'intérêts que nous avons identifiés.

Nous remercions le Conseil National de Sûreté Nucléaire, et Taipower pour leurs explications concernant les infrastructures électriques, ainsi que l'entreprise Sanlien pour la visite de ses bureaux.

Tous les membres de la mission sont également reconnaissants à Chia-Hui Lin pour sa bonne humeur, son esprit pratique et sa grande aide pour préparer la mission, servir d'intermédiaire et d'interprète, et nous aider à anticiper et résoudre les défis logistiques. Sans son aide, cette mission n'aurait pas été aussi agréable.

Enfin, les membres de la mission post-sismique Taiwan 2024 remercient leurs organismes de rattachement d'avoir autorisé et soutenu leur participation à cette mission riche d'enseignements.

Table des matières

1	INTRODUCTION	4
2	CONTEXTE DU SÉISME DU 3 AVRIL 2024 À HUALIEN	5
2.1	CONTEXTE GENERAL DE TAÏWAN, SISMICITE, SISMICITE HISTORIQUE	5
2.2	CONSEQUENCES	9
3	LA MISSION AFPS-SGEB HUALIEN 2024	9
3.1	INTERET D'UNE MISSION POST-SISMIQUE	9
3.2	RENCONTRES, ITINERAIRES, CONSTATS, DETAIL DU PARCOURS	10
4	EVOLUTION DE LA RÈGLEMENTATION PARASISMIQUE À TAÏWAN	12
4.1	BATIMENTS COURANTS	12
4.2	BATIMENTS NUCLEAIRES	13
5	LES DOMMAGES AUX BATIMENTS	14
5.1	BATIMENTS ANCIENS	14
5.2	MAISON INDIVIDUELLE A SOUFENG	18
5.3	IMMEUBLES	20
5.4	BATIMENTS PUBLICS – EFFETS INDUITS	27
5.5	HOPITAUX	27
5.6	ELEMENTS NON STRUCTURAUX	30
6	OUVRAGES D'ART ET RÉSEAU ROUTIER	33
6.1	GENERALITES	33
6.2	GLISSEMENTS DE TERRAIN ET CHUTES DE BLOCS	34
6.3	INFRASTRUCTURES DE MOBILITE	36
6.4	RÉACTIVITÉ ET LIMITATION DES CONSÉQUENCES FINANCIÈRES INDIRECTES	49
7	RÉSEAU ÉLECTRIQUE ET CENTRALES NUCLÉAIRES	49
8	SÉISME ET PATRIMOINE	50
9	GESTION DE L'URGENCE	54
9.1	ORGANISMES INTERVENANT DANS LA GESTION DE CRISE	54
9.2	GESTION DE CRISE	56
9.3	DEROULEMENT DE LA GESTION DE CRISE LORS DU SEISME DE HUALIEN	57
10	LA RÉDUCTION DE LA VULNÉRABILITÉ ET LE RENFORCEMENT	59
10.1	QUELQUES SYSTEMES DE RENFORCEMENTS	59
10.2	PROGRAMME DE RENFORCEMENT DES ECOLES, ET DES BATIMENTS PUBLICS	64
11	CONCLUSIONS	66
12	RÉFÉRENCES	68
13	ANNEXES	69

1 Introduction

Le 3 avril 2024 à 7h58 heure locale (02/04/2024, 23 : 58UTC), un séisme d'une magnitude Mw 7,4 et d'une profondeur de 34,8 km (estimation USGS), a frappé Taïwan. Il s'est révélé le plus violent tremblement de terre depuis celui de septembre 1999 (séisme de Chi-Chi ; ou Jiji suivant la plus récente romanisation), il y a 25 ans. L'épicentre se situe à 15km au Sud de Hualien, sur la côte Est de l'île, une zone sismique très active. Les secousses ont été ressenties dans tout le pays (intensité XVIII à IX sur l'échelle Mercalli). Plus de 200 répliques ont été enregistrées en 20 heures, dont deux atteignant des magnitudes d'environ Mw 6 et à très faible profondeur (moins de 20 km). Il s'agit donc d'un séisme puissant, dans une zone moins peuplée du pays (comté de Hualien : 65 habitants/km²), mais à proximité d'une ville située dans une plaine, dans un environnement au relief très marqué.

Les efforts de prévention et de résilience vis-à-vis du risque sismique mis en place par les autorités de l'île depuis le séisme du 21 septembre 1999 contribuent en partie à expliquer un bilan limité en pertes humaines et dommages au parc immobilier pour un évènement d'une telle intensité. Cela souligne l'importance de renforcer les mesures de mitigation des risques, la nécessité de poursuivre la recherche, l'élaboration de solutions et la mutualisation des connaissances. Ces mesures sont nécessaires pour renforcer la résilience sismique, notamment vis-à-vis de la rénovation du parc immobilier ancien.

Ce rapport de mission présente les observations de terrain et les conclusions tirées d'entretiens avec des acteurs de la gestion de crise et de la prévention des catastrophes qui illustrent cette particularité. En plus de décrire les dommages observés, une attention particulière été portée aux raisons qui expliquent le bon comportement d'ensemble des infrastructures et des constructions. Le rapport souligne également les éléments de la gouvernance des risques naturels qui ont contribué au retour rapide à la normale, qui pourraient fournir des enseignements utiles à l'amélioration de la prévention du risque sismique en France ou dans d'autres régions.

2 Contexte du séisme du 3 avril 2024 à Hualien

2.1 Contexte général de Taïwan, sismicité, sismicité historique

Caractéristiques générales

Taïwan est une île de 395km de long (NS) sur 144 km de large (EW) située en mer de Chine. L'île est densément peuplée (23 millions d'habitants) surtout sur la côte Ouest. La plaine Ouest abrite également le cœur de l'activité économique, dont la fabrication de semi-conducteurs (60% de la production mondiale).

L'île est coupée du Nord au Sud par des chaînes de montagnes parallèles culminant à près de 4000m. Le comté de Hualien, sur la côte Est, est moins peuplé, et très montagneux. La ville de Hualien, située sur le littoral, à l'extrémité Nord de la vallée du rift de Huadong, compte environ 100 000 habitants. Les infrastructures sont très denses, et beaucoup de constructions de logement ou de bureaux sont des immeubles de grande hauteur.

Caractéristiques sismo-tectoniques

Taïwan connaît régulièrement des séismes du fait de sa position en bordure de plaques tectoniques. Le contexte géodynamique de l'île est complexe, impliquant deux zones de subduction, une à l'Est où la plaque philippine passe sous la plaque Eurasie (« la Ryuku trench »), et celle au Sud où la plaque Eurasie passe sous plaque Philippine (« Manila Trench »). Le jeu de déformation de la zone Est semble à l'origine du séisme, l'USGS¹ suggère qu'une faille située dans la plaque Eurasie, au-dessus de la zone de subduction, soit en jeu.

[Chang et al., 2016] recensent 49 événements de magnitude supérieure à 7 ayant touché Taïwan depuis 1792, dont 32 pendant ces 100 dernières années. La région de Hualien est la plus active. Plusieurs failles actives orientées SW/NE ou N/S traversent l'île. C'est le cas de la faille de Mi-Lun [Chu 2021, GSMMA 2024], responsable du tremblement de terre du 3 Avril 2024, et dont le tracé en surface traverse la ville de Hualien. Des séismes importants ont eu lieu en 1951, (MI 7.3, Hualien), 2018 (Mw 6.1 et 6.4, Hualien) et 2022 (Mw 6.2). Le séisme de Chi-Chi de 1999 (MI 7.6, centre de Taïwan) a aussi touché Hualien.

Date	Profondeur (km)	Mw	Intensité max (MM)	Morts
2024-04-03	35	7.4	VIII	18
2022-01-03	29	6.2	IV	
2019-04-18	20	6.1	VI	1
2018-02-06	17	6.4	VIII	17
2018-02-10	12	6.1	VI	
2013-10-31	20	6.3	VII	
2009-12-19	43	6.4	VI	
2004-05-08	18	5.4		2

Illustration 2.1-1 : Principaux séismes ayant touché Hualien depuis 20 ans (extrait de Wikipedia, 2024, et Chang 2016)

¹ [M 7.4 - 15 km S of Hualien City, Taiwan](#)

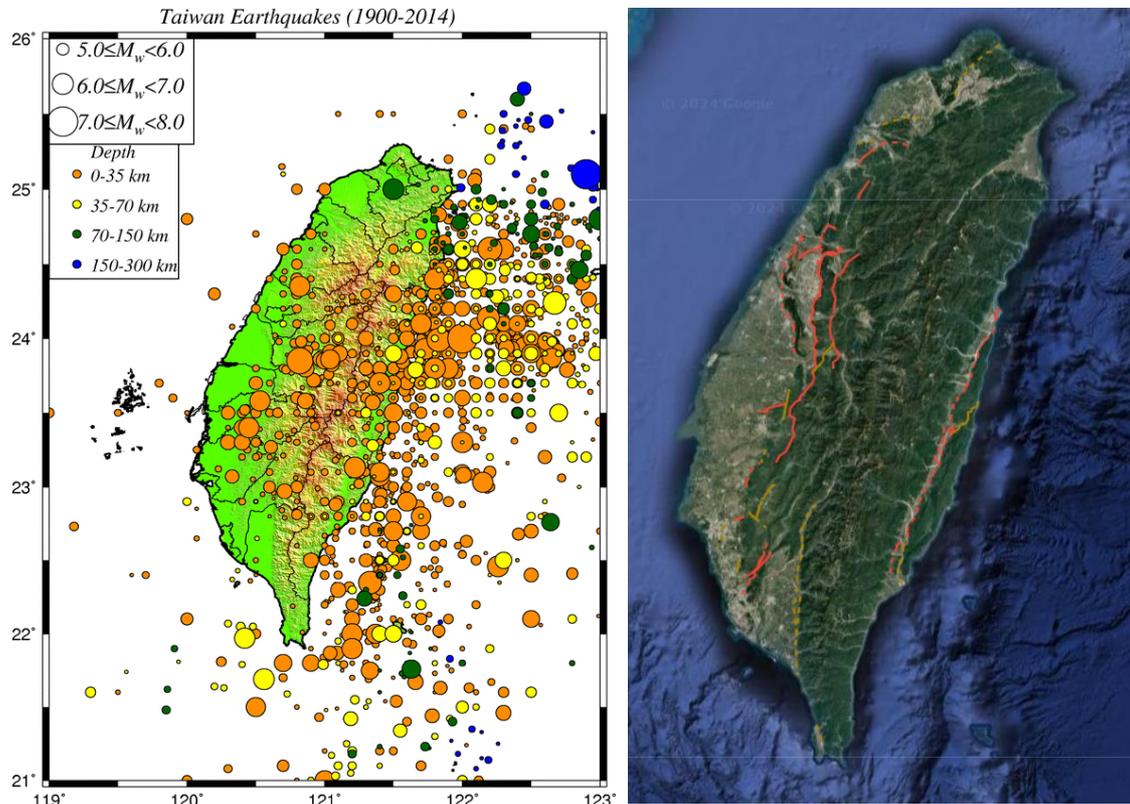


Illustration 2.1-2 : Sismicité historique de Taïwan 1900-2014, Chang et al, 2016, failles actives ([GeologyCloud - MAP](#))

Le séisme du 3 avril 2024 a été suivi de deux répliques de magnitude locale supérieure à 6 le même jour, et deux répliques importantes le 23 avril 2024 (Mw 6.1). Des milliers de répliques de plus faible magnitude ont été mesurées (1400 en 1 mois).

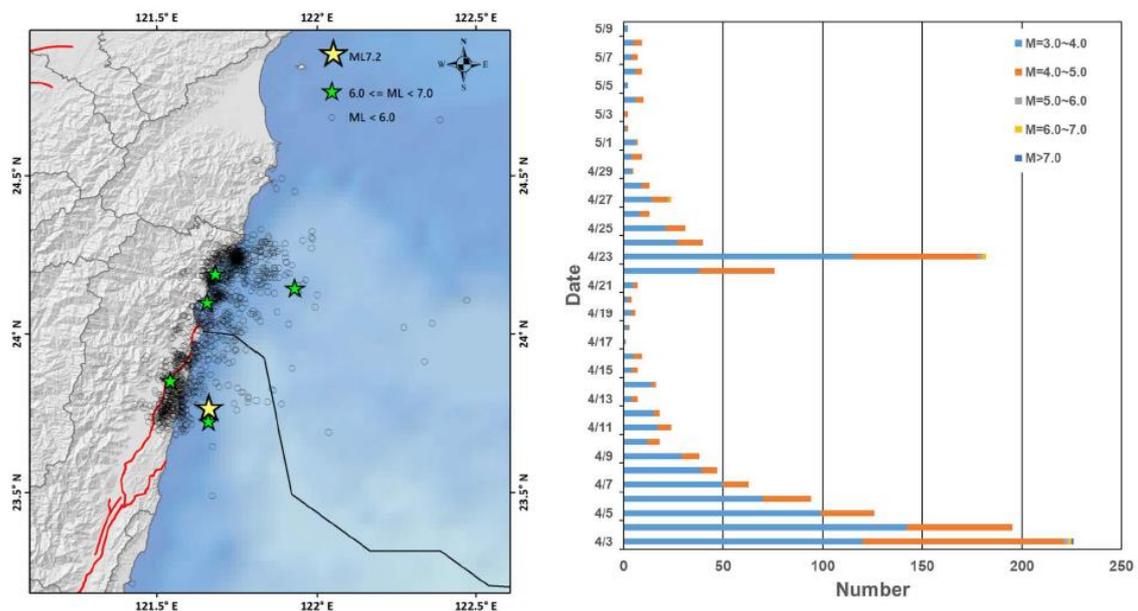


Illustration 2.1-3. Répliques du séisme du 3 avril, source [NCREC, 2024], Chou et al., v2, 2024

Caractéristiques sismologiques

Le mécanisme au foyer est en faille inverse (faille de Mi-Lun) dans la zone de subduction de la plaque océanique des Philippines sous la plaque continentale eurasiatique. La faille de Mi-Lun traverse Hualien du Nord au Sud, et se divise en 2 branches au niveau du centre-ville. La zone de subduction longe la côte Est à faible distance. Des intensités de VI, en moyenne, bien que des bâtiments aient été endommagés, ont été observées à Hualien et V sur la côte Nord-Est. Taipei (distant de plus de 100km, vers la côte Ouest se situe dans un bassin qui est à l'origine d'effets de sites significatifs expliquant les intensités élevées (V) dans la capitale. Par ailleurs un tsunami, de faible amplitude (vagues de 1m dans certaines zones, a été observé.

La localisation de l'épicentre a d'abord été positionnée à 25 km au Sud de Hualien (en mer, 23.77N ; 121.67E, voir par exemple Rapport n°1 du NCDR), puis a été revue. Le centre météorologique de Taïwan retient maintenant une position plus proche de la ville (15 km au Sud, à terre, 23.86N 121.58E). La profondeur est estimée de 15 à 25 km selon les modèles, le CWA (Central Weather Agency) retient 22.5 km.



Illustration 2.1-4. Faille de Mi-Lun, source [GeologyCloud - MAP](#)

Des valeurs d'accélération maximale du sol (PGA) horizontale de 1.5g (0.5g en vertical) ont été mesurées dans le parc du Taroko, et 0.46g (0.2g en vertical) à Hualien (NCREE, 2024), la composante N/S étant la composante principale. Ces stations sont situées en champ proche de la faille, il est possible que les enregistrements présentent des particularités locales (directivité par exemple). La position de la faille de Mi-Lun implique qu'une grande partie des bâtiments de la Ville de Hualien sont situés en champ proche et peuvent avoir subi des ondes sismiques dont la forme est particulière.

Les spectres mesurés sont proches du spectre MCE (Maximum Considered Earthquake, 2%/50 years, RP : 2500 years) du code Taïwanais pour Hualien, et l'ont largement dépassé dans le parc du Taroko. La Faille Mi-Lun sépare le sous-sol en deux zones, à l'Ouest des alluvions, à l'Est des dépôts de terrasses (conglomérats ou sable), la carte de mesures Vs30 indique un sol plutôt dur (Vs30 de 490 à 620m/s, et un substratum vers 100m) [Yamada et al., 2020, Lee et al., 2008].

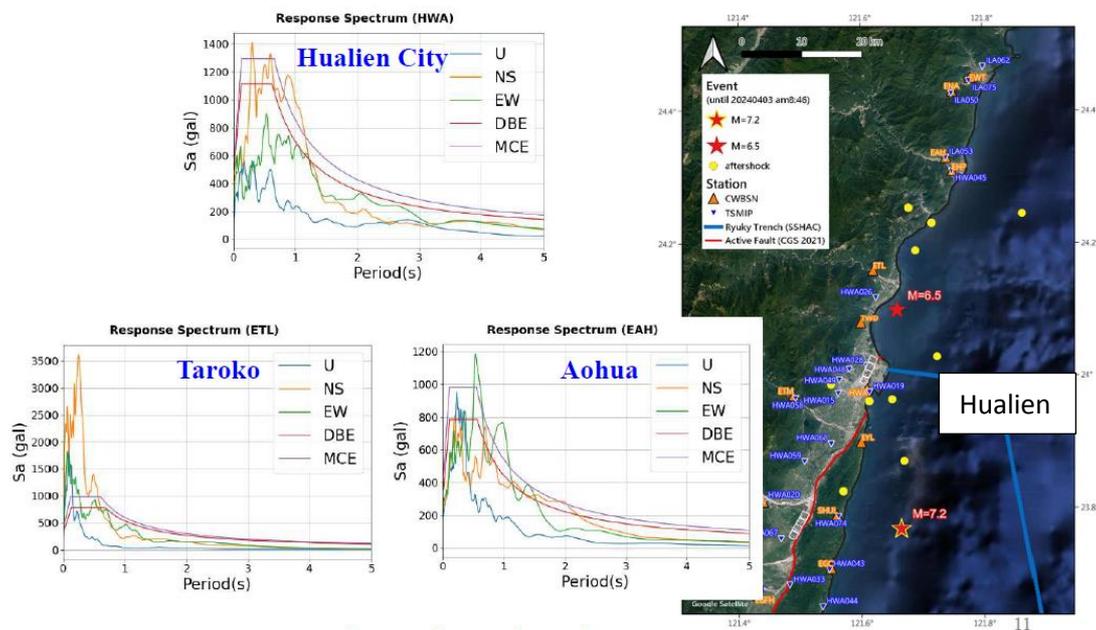


Illustration 2.1-5. Spectres de réponse (composantes horizontales et verticale) obtenus à partir des enregistrements mesurés sur trois stations et comparaison aux spectres réglementaires pour les niveaux DBE et MCE, source [NCREE, 2024, v2].

Le spectre de Hualien présente 3 pics marqués sur la composante principale N/S, pour les périodes spectrales de 0,3, 0,6 et 0,9 s. ces trois périodes spectrales correspondent aux pics d'amplifications relevés par [Yamada et al., 2020] dans son étude géophysique, qui utilise la méthode H/V. Si on se réfère à la formule simplifiée de la période propre des structures en fonction du nombre d'étages qu'on retrouve dans le code Taïwanais (et l'Eurocode), ces périodes correspondent à des bâtiments de 5 à 10 niveaux pour les deux premières, et 25-30 niveaux en portiques pour la dernière. Les bâtiments les plus endommagés sont situés dans ces gammes de hauteur.

Située à plus de 100km de l'épicentre, la région de Taipei a aussi été impactée de façon significative par le séisme du fait de sa configuration en bassin qui amplifie les ondes sismiques. Les dommages sont néanmoins limités à des constructions très particulières, mais, les niveaux d'accélération ont été localement, et pour certaines fréquences, particulièrement élevés (pics dans les spectres). La carte de microzonage de la région capitale [Lee et al, 2008, Chai et al.,

2009] indique aussi que localement des effets de sites particuliers, et des sols particulièrement mauvais peuvent aggraver les sollicitation sismiques (voir spectre de l'illustration 4.1.2 par exemple), ce qui les rend dangereuses pour des constructions qui ne sont pas conçues en tenant compte des normes parasismique récentes, ou présentent des défauts de construction.

2.2 Conséquences

Conséquences structurales et géotechniques

Le séisme a sévèrement endommagé 90 bâtiments dans le comté de Hualien (350 000 habitants), dont 18 ont dû être démolis et des dommages significatifs dans le comté de Yilan (au Nord) ainsi que quelques dommages remarquables à certains bâtiments de Taipei (effets de site), ainsi que sur une des lignes aériennes de métro (pont). Un pont roulant de l'aéroport aurait aussi été endommagé. Des dégâts très importants sont dus aux glissements de terrains et chute de blocs consécutifs au séisme, à ses répliques et aux fortes pluies. Sur 18 victimes, 17 ont été tuées en zone montagneuse par les glissements et des chutes de blocs, et 1 est morte en rentrant dans un bâtiment endommagé pour rechercher son chat. À Hualien, comme en 2018, la plupart des bâtiments les plus endommagés se situent à proximité immédiate de la faille.

A Taipei et dans la région du Nord de Taïwan, les dommages concernent ponctuellement des immeubles d'habitation, des structures (pont du métro, ponts routiers) et des entrepôts (marché couvert, bâtiments industriels). Des missions post-sismiques réalisées dans les jours qui ont suivi le séisme ont documenté ces dommages [Suzuki, 2024, NCRE, Chou et al, 2024, NCDR, 2024]

Conséquences sur les réseaux de communication et énergétiques

Le parc national du Taroko est une des destinations touristique phare de Taïwan (3 millions de visiteurs par an), et ses infrastructures ont été très fortement endommagées par le séisme. Le parc prévoit de réouvrir certaines zones fin 2024 et en 2025, tandis que certains points resteront fermés jusqu'en 2029. De très nombreuses portions de la route N°8 qui traverse Taïwan d'Est en Ouest et assure la desserte du parc sont encore sous la menace de glissements. Deux mois après le séisme, la route doit être dégagée plusieurs fois par semaine à cause des glissements et chutes de blocs résiduels.

Le réseau électrique de distribution, et les réseaux de communication téléphoniques ont été touchés dans les régions qui ont connu des glissements de terrain, mais ils ont été rétabli rapidement. La production électrique n'a pas été interrompue. Les réseaux ferrés et routier ont aussi été fortement impactés dans les zones montagneuses par les chutes de blocs, certaines des routes principales ont dû être coupées à la circulation. Les mouvements de terrain se poursuivent, plusieurs mois après le séisme, dans la région du Taroko notamment, ce qui continue de rendre la circulation très dangereuse sur la route qui traverse le parc et relie l'Est à Ouest de Taïwan.

3 La mission AFPS-SGEB Hualien 2024

3.1 Intérêt d'une mission post-sismique

Après la survenue du séisme du 3 avril 2024, le conseil de l'AFPS a décidé de lancer une mission post-sismique à Taïwan. Les axes d'études sont les suivant :

- Comprendre les raisons expliquant le bilan relativement modéré au regard de l'intensité du séisme,

- Etudier le comportement des bâtiments et infrastructures, ainsi que les bâtiments historiques,
- Etudier le comportement des éléments non structuraux,
- Étudier le cadre règlementaire et l'évolution des normes notamment depuis le séisme de 1999,
- Étudier la concomitance du séisme et des mouvements de terrain,
- Identifier les acteurs et procédure de gestion de crise,
- Étudier les techniques de renforcement, et notamment le programme de renforcement des bâtiments publics (écoles)

La mission a été faite en collaboration avec la société suisse du génie parasismique et de la dynamique des structures (SGEB), ce qui a donné l'opportunité de croiser les analyses en tenant compte du contexte et des pratiques en France et en Suisse.

Une des limites majeures aux observations de terrain tient au fait que les actions d'urgence (démolition, réparation) et la météo (fortes pluies) tendent à faire disparaître beaucoup de traces du séisme 2 mois après. Néanmoins, de très nombreux contacts relatifs à la gestion de crise et de la prévention des risques ont été obtenus auprès des acteurs en central (Taipei) et au niveau local, ce qui a permis de rassembler beaucoup d'informations importantes pour comprendre la gestion des risques à Taïwan.

3.2 Rencontres, itinéraires, constats, détail du parcours

La mission s'est déroulée du 6 au 13 juin 2024, à Taipei et Hualien. Elle était composée de 4 membres de l'AFPS et de 2 membres du SGEB. Lors des visites à Hualien, Dr Lee, du NCREE et M. F-X Runner, du bureau Français à Taïwan, ont accompagné les membres de la mission sur une partie des visites.

Nom	Affiliation	Employeur	Spécialités
Nicolas TAILLEFER	AFPS, chef de mission	BRGM	Structures, Aléa
Pierre SMARS	AFPS	Univ. Tech. Yunlin	Architecte, ingénieur structures, patrimoine
Pascal PERROTIN	AFPS	Alphi	Structures, diagnostics urgence
Mohsen ROUSEFID	AFPS	IRSN	Ingénieur génie civil, diagnostics urgence
Vincent PELLISSIER	SGEB	Etat du Valais	Ingénieur Cantonal, infrastructures
Julian PERNSTICH	SGEB	Pernstich Ing. Buro	Structures, dimensionnement, évaluation

Illustration3.2-1. Composition de la mission AFPS SGEB Hualien 2024

De nombreuses entités Taïwanaises ont été rencontrées lors du séjour à Taïwan et ont fourni des informations détaillées sur la gestion de crise, les conséquences du séisme et les politiques de prévention des risques. La mission a également rencontré deux représentants du Bureau Français de Taipei, qui ont facilité la mise en relation avec les autorités et administrations Taïwanaises.

Entité	Domaine	Nom du contact principal	Informations fournies
Central Emergency Operation Center (CEOC), National Fire Agency	Gestion de crise, niveau national	Ming-Yuan Shih	Organisation de la gestion de crise
National Scientific and Technical Center for Disaster reduction (NCDR)	Prévention et gestion de crise	Wei-Sen Li	Outils de gestion de crise, mesures de prévention
National Police Agency (NPA)	Gestion de crise	Lo-Gan Kuo	Gestion de crise, victimes
National Center for Research in Earthquake Engineering (NCREE)	Ingénierie parasismique	Chiu-Lin Wu	Comportement des éléments non structuraux, des hôpitaux, réponses des structures, programme de renforcement des bâtiments publics
SANLIEN	Mesure	Jeremy Wang	Société produisant des capteurs et système d'alerte sismique
Hualien County Heritage Office	Protection du patrimoine	Yong-Bin Huang	Monuments historiques
Emergency Operation Center, Hualien Fire Agency	Gestion de crise, niveau local	Kai Lu	Conséquences du séisme, gestion de crise au niveau régional
Parc National du Taroko	Tourisme, Ingénierie	Yue-E Zou, Wen-Sheng He	Conséquences du séisme sur le parc, l'activité touristique, les infrastructures
Nuclear Safety Commission	Sûreté nucléaire	Fan Ho	Conséquences du séisme sur les installations nucléaires, évaluation de la sûreté
Taipower	Opérateur électrique	Qi-Wei Su	Conséquences du séisme sur le réseau électrique

Illustration 3.2-2. Organismes rencontrés par la mission

La mission s'est déroulée selon le programme suivant :

- Jeudi 6 juin : réunions avec le CEOC et le NCDR, visite de la salle de gestion de crise
- Vendredi 7 juin : réunions avec la NPA, le NCREE, visite du laboratoire d'essais sismiques, visite de la société Sanlien
- Samedi 8 juin : visite à Taipei de la résidence de la famille Lee, à Luzhou (monument historique), des bâtiments endommagés à New Taipei, et du pont du métro (circular line) en compagnie du Dr Lee du NCREE
- Dimanche 9 juin : voyage en voiture vers Hualien, observations de glissements et d'ouvrages d'arts endommagés sur la route provinciale no 9, entre Yilan et Hualien

- Lundi 10 juin : visite du parc national du Taroko (glissements, chutes de blocs et ouvrages endommagés) et observations de terrain sur les bâtiments de Hualien
- Mardi 11 juin : observation de terrain à Hualien (Hôpital, bâtiments endommagés) en compagnie du Dr Lee, rencontre du bureau des monuments historiques et visites de monuments.
- Mercredi 12 juin : réunion avec les pompiers de Hualien, visite de la salle de gestion de crise, réunion avec l'administration du Parc national du Taroko, voyage retour vers Taipei
- Jeudi 13 juin : réunion avec le Nuclear Safety Commission, Taipower et visite du bureau français de Taipei

4 Evolution de la réglementation parasismique à Taïwan

4.1 Bâtiments courants

Les informations qui suivent sont principalement issues des articles [Chai et al, 2012, et Chai et al, 2009], qui retracent l'évolution de la réglementation parasismique à Taïwan. Une traduction en anglais du code de construction parasismique Taïwanais a été produite par le NCREC [NCREC, 2005].

L'île de Taïwan est située dans une zone de très forte activité sismique du fait de sa position dans la ceinture circumpacifique. Les codes de conception parasismique sont périodiquement révisés pour tenir compte des avancées scientifiques et du retour d'expérience des séismes passés. Les principales évolutions de ce code sont les suivantes :

- 1974 : mise en œuvre des exigences en matière de forces sismiques (Seismic Force Requirement, SFR) pour les structures de construction, basées sur le format du code de construction uniforme des États-Unis (Uniform Building Code).
- 1982 : introduction des facteurs d'importance pour les différentes catégories d'occupation des bâtiments dans le SFR.
- 1989 : spectre de réponse en accélération spécifique pour le bassin de Taipei.
- 1997 : le SFR a subi d'importantes modifications. Ces changements concernent les procédures d'analyse dynamique utilisant la méthode du spectre de réponse, le nombre de zones sismiques est passé de 3 à 4, et le facteur de zonage représente directement l'accélération maximale du sol associée à un niveau de risque ayant une probabilité de 10 % de dépassement en 50 ans (événement 10/50).
- 2005 : édition d'une carte d'amplification de l'accélération, au niveau municipal, et d'un microzonage de la zone urbaine de Taipei. Les paramètres d'accélération du spectre réglementaire sont obtenus à partir de cartes d'aléa qui fournissent les accélérations spectrales aux périodes de 0.2s et 1.0s.
- 2022 : introduction d'un facteur majorant de l'accélération en zone proche des failles actives connues.

À Taïwan, de plus en plus d'études liées à l'effet en champ proche des failles ont été développées après le tremblement de terre de Chi-Chi (1999). Les facteurs NA et NV, fonction de la distance à la faille et majorant l'effort sismique pour les courtes et longues périodes, sont introduits dans les dernières versions du code pour prendre en compte l'effet de faille proche (Chai et al., 2000 ; Chai et al., 2001). Dans la version 2005 du code de conception sismique, les valeurs des facteurs NA et NV sont définies pour plusieurs failles actives en fonction de la distance par rapport à la faille.

Pour le bassin de Taipei, sur la base de la version 1997 du code de conception sismique, le facteur de zonage $Z = 0,23g$ et le coefficient de spectre de réponse normalisé sont définis par $C = 2,5$ et $C = 3,3/T$ pour les périodes courtes et modérées, respectivement. Cependant, la demande sismique uniforme ne peut pas refléter l'effet de bassin réel en raison de l'épaisseur variable des couches de sol sédimentaire dans le bassin de Taipei. Par conséquent, dans la version 2005, quatre micro-zones sismiques ont été définies pour le bassin de Taipei afin de refléter les effets de bassin observés. Elle introduit également 3 classes de sol indexées sur le paramètre V_{s30} ². En 2011, le microzonage du bassin de Taipei a été modifié et le nombre de micro-zones sismiques a été réduit de quatre à trois (Chang et al, 2008). Une révision du code tenant compte d'une augmentation du risque sismique dans les zones proches des failles et de l'obligation de rénovations pour des bâtiments présentant un risque de défaillance au niveau du rez-de-chaussée transparent a été proposée en 2022.

Outre la demande sismique prise en compte pour l'aléa ayant une probabilité de 10 % de dépassement sur 50 ans, la demande sismique imposée par le séisme maximal envisagé (Maximum Considered Earthquake, MCE) a également été incorporée dans les dispositions actuelles en matière de construction sismique afin d'éviter l'effondrement des bâtiments lors d'un tremblement de terre extrêmement important.

Dans le code de construction sismique actuel, le niveau d'aléa MCE est défini comme un niveau d'aléa sismique caractérisé par une accélération associée à 2 % de probabilité d'atteinte ou de dépassement en 50 ans (correspondant à une période de retour de 2500 ans). En outre, afin d'éviter toute demande non linéaire sur les éléments structurels lors d'un petit tremblement de terre fréquent, une exigence de force sismique minimale (Minimum Seismic Force, MSF, qui a pour but de garantir que le comportement des structures reste linéaire pour les sollicitations sismiques les plus fréquentes) est prescrite dans le code sismique actuel. Le cisaillement de base final pour la conception structurelle élastique est régi par le plus grand des cisaillements de base déterminés au niveau de la conception (en utilisant une capacité de ductilité réduite pour une période de retour de 475 ans) et au niveau MCE (en utilisant la ductilité complète du système pour une période de retour de 2500 ans). Néanmoins, elle ne doit jamais être inférieure à l'exigence MSF. Pour les procédures d'analyse dynamique, la méthode basée sur le spectre de réponse et l'approche basée sur une représentation temporelle (i.e. accélérogrammes) sont spécifiées dans le nouveau code de conception sismique pour les bâtiments à Taïwan. A cet égard, une plateforme en ligne (Sederes³) peut être utilisée pour générer des spectres de réponse avec la prise en compte des conditions du site, de la proximité des failles actives majeures et de l'effet de site.

4.2 Bâtiments nucléaires

Taïwan dispose de trois centrales nucléaires construites à partir de 1970, dont deux se situent dans le nord de l'île (Chinshan, Kuosheng) et une dans le sud (Maanshan). Lors de notre échange avec le NSC (Nuclear Safety Commission), il a été indiqué que les effets séismiques sur les bâtiments nucléaires sont analysés sur la base de deux niveaux de sollicitations sismiques entraînant ou non l'arrêt définitif de la centrale, à savoir le *Safe Shut-Down Earthquake* (SSE) et le *Operating Basis Earthquake* (OBE) [NSC, 2024]. Le niveau DBE (*Design Base Earthquake*) est quant à lui le niveau de dimensionnement des structures. L'OBE est le tremblement de terre pour lequel les équipements nécessaires au fonctionnement continu de la centrale doivent rester opérationnels sans risque de sûreté, le SSE étant défini au départ de l'OBE par une majoration forfaitaire, par exemple l'augmentation de 1 sur l'échelle d'intensité. Aussi, les exigences de sûreté associées aux bâtiments nucléaires sont évaluées à partir d'études

² Vitesse moyenne des ondes de cisaillement dans les 30 premiers mètres de sol

³ <https://seaport.ncree.org/sederes>, voir [Liu et al, 2022]

spécifiques à chaque site d'installation nucléaire afin de vérifier que les séismes extrêmes historiques observés sont couverts avec une marge suffisante. À la suite de l'accident de Fukushima, une réévaluation de la sûreté des installations nucléaires a été réalisée notamment au moyen d'une stratégie d'évaluation probabiliste des risques de séismes. De plus, une stratégie de détection multi capteurs est mise en œuvre après le séisme de Chi-Chi.

Il faut noter que le gouvernement de Taïwan ayant décidé de sortir du nucléaire, deux centrales sont en cours d'arrêt (l'arrêt de la troisième étant prévu en juillet 2024) et que lors de la phase de démantèlement, des niveaux de sollicitation sismiques adaptés pourront être retenus pour tenir compte de l'évolution du risque induit par la fin de l'exploitation. Selon le Nuclear Safety Commission, ces niveaux seront inférieurs aux exigences des centrales en exploitation, ce qui devrait donc garantir la sûreté des sites qui répondaient à ces exigences au moment de leur arrêt.

5 Les dommages aux bâtiments

5.1 Bâtiments anciens

Dans les zones les plus denses ou celles de peuplement plus récent, les constructions anciennes, utilisant des techniques traditionnelles (maçonnerie, bois, terre, bambou...) sont de plus en plus rares. Lors de la mission de terrain, une vaste résidence construite dans le style de la Chine du Sud et plusieurs bâtiments coloniaux japonais ont été visités.

Maison de la famille Lee, Taipei

Le domaine de la famille Lee (蘆洲李宅), situé dans le district de Luzhou de Nouveau Taipei, est la résidence d'une ancienne famille, originaire de Tong'An, dans la province de Fujian (Chine continentale). La résidence, datant de 1895 a été construite sous la conduite d'un architecte Chinois dans le style caractéristique de la province de Fujian, remplaçant une plus modeste maison où la famille s'était installée en 1857. Depuis 2018, le domaine est protégé comme monument au niveau national.

De plan rectangulaire, elle comprend plusieurs corps de logis d'un seul niveau organisés autour de six cours intérieures (typique du style siheyuan 四合院). Les murs extérieurs des bâtiments sont en maçonnerie de pierre, les cloisons intérieures en bois et torchis et les murs donnant sur les cours ont des piliers en maçonnerie et des cloisons en bois et torchis. Les charpentes sont en bois et les couvertures en tuiles maçonnées sont surmontées de faîtages en maçonnerie (角楼"jiǎo lóu).

Les accélérations maximales mesurées sur la station A003, située à quelques centaines de mètres du site sont de l'ordre de 2m/s^2 . Compte-tenu de la forme de la construction, il y a probablement eu résonance entre la structure et la période propre du sol, ce qui induit une amplification des efforts sismiques. Selon le code parasismique actuel, le site est en zone 1 du microzonage, pour laquelle le plateau du spectre est le plus large.



Illustration 4.1-1 : Lee Family House, vue générale (8 juin 2024).

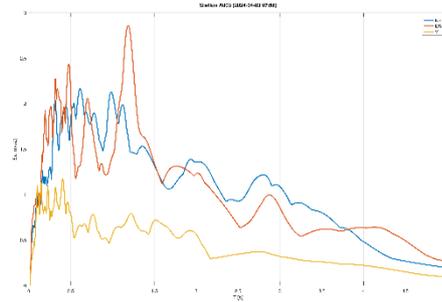


Illustration 4.1-2 : Spectre d'accélération de la station A003, située à quelques centaines de mètres du site



Illustration 4.1-3 : Faîte et couverture endommagés, situation avant la reconstruction (11 mai 2024)



Illustration 4.1-4 : Situation de la couverture après reconstruction (8 juin 2024)

D'après les explications reçues sur place par Jia-Zhen Xu, cet édifice n'a pas été fortement endommagé par les typhons ou les séismes passés. Cet ensemble de constructions historiques est néanmoins bien entretenu. Depuis 2006, il est ouvert au public.

Lors du séisme du 3 avril, le faîte du pavillon Nord n'a pas résisté. Il s'est renversé et a endommagé la couverture de tuiles. Des fissures verticales dans le mur arrière sont visibles, ainsi que des fissures diagonales au niveau de plusieurs linteaux et fenêtres. Ces fissures sont traversantes mais peu ouvertes. La stabilité de la structure n'est pas remise en cause, même si des réparations seront nécessaires. Les efforts sismiques sont essentiellement dus à la masse importante de la toiture. Il n'y a pas de chaînage ou de diaphragme horizontal visible.

En mai, lors d'une visite de préparation à la mission, nous avons constaté que le toit était protégé par une bâche. En juin, le faîte du toit avait été reconstruit. Il semble qu'une partie des matériaux originaux aient été réutilisés. La décoration en stuc a été refaite. Des traces d'époxy sont visibles sur les murs intérieurs, au niveau du faîte.



Illustration 4.1-5 : Lee family house. Le faitage (à gauche) a été réparé. Des fissures verticales dans le mur et diagonale en partie supérieur des ouvertures sont également présentes.



Illustration 4.1-6 : Fissure diagonale en partie supérieure du linteau.

Ancien temple de Yoshino, Hualien

L'ancien temple bouddhiste de Yoshino est situé à J'an, un quartier à l'Ouest de Hualien (à environ 1 km de la faille). Il comprend un bâtiment principal en bois dans le style japonais. L'ossature est constituée de poteaux et poutres en bois sur un soubassement maçonné en pierre, et comprend un seul niveau. La couverture du bâtiment est en cuivre. Le bâtiment a subi quelques dommages localisés : un assemblage en pied de poteau s'est rompu et un panneau de remplissage (terre sur lattis) a été endommagé. Les déformations importantes ont provoqué ces dommages, du reste limités : la structure s'est globalement bien comportée.



Illustration 4.1-7 : Vue générale



Illustration 4.1-8 : Rupture de l'assemblage en pied de poteau



Illustration 4.1-9 : Ruine du remplissage d'un panneau

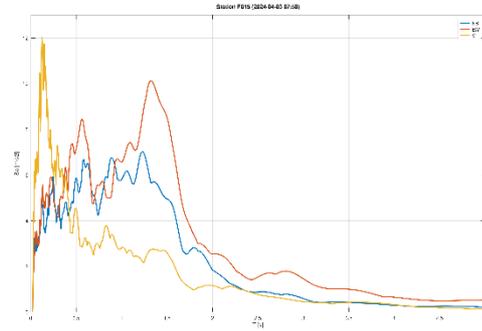


Illustration 4.1-10 : Spectre de la station F015

Sur le site, un grand nombre de statues en pierre se sont renversées. Il semble qu'elles se soient renversées globalement dans la direction NW/SE (perpendiculaire à la faille). Le spectre d'accélération de la station F015, très proche du site, ne montre pas de directivité marquée du signal, mais fait apparaître des accélérations verticales de l'ordre 1.2g dans les périodes basses.



Illustration 4.1-11 : Statue renversée dans le parc, dans la direction NW



Illustration 4.1-12 : Statue, seules les deux vitres NW et SE sont brisées (impact)

Anciens bureaux de la compagnie de chemins de fer, Hualien

Les anciens bureaux de la compagnie des chemins de fer de Hualien, un complexe de bâtiments de style japonais en bois, date des années 1930. Le quartier général de la ligne Hualien-Taidong y était installé. Il a perdu sa fonction originelle en 1982. En 2003, le site a été transformé en parc culturel ferroviaire, ouvert au public. Les quatre ailes, d'un seul niveau, sont organisées autour d'une cour centrale. La couverture d'origine en feuilles de cuivre a été remplacée par une couverture en tuiles, plus lourde. L'état d'entretien du bâtiment est assez mauvais.

De nombreux entures de compression à mi-bois, chevillées (contrairement à la plupart des autres assemblages, boulonnés) ont rompu en pied de poteaux. Des glissements se sont également produits en têtes de poteaux. Un poteau en béton a pivoté en pied, endommageant le dallage. La charpente a aussi localement glissé sur ses appuis (poteaux béton extérieurs),

malgré des systèmes d'ancrage métallique (d'une inefficacité limitée pour contraindre les efforts horizontaux).

À certains endroits, la mauvaise condition sanitaire du bois a contribué à des ruptures locales.

Une série de poteaux et de butons en aciers, ancrés dans le sol, ont été placés pour soutenir ou contreventer les éléments structuraux endommagés ou affaiblis.

Le site est situé à moins de 100m de la station accélérométrique F019. Celle-ci montre des accélérations verticales de l'ordre de 0.8g et des niveaux d'accélération horizontale jusqu'à 1.4g pour des périodes correspondant à des structures assez souples comme peut l'être celle de cette structure en bois. Les glissements d'appui de la charpente peuvent s'expliquer par la combinaison d'un effort normal très réduit par l'accélération verticale du séisme, combinée à un effort horizontal important (masse de la toiture et accélération forte).



4.1-13 : Vue d'ensemble



4.1-14 : Rupture d'un assemblage



4.1-15 : Glissement d'appui



4.1-16 : Déformation relative du pied de poteau béton en L et du dallage (épaufrement)

5.2 Maison individuelle à Soufeng

Moins fréquentes que les logements collectifs ou les maisons mitoyennes, des maisons individuelles de type villa existent cependant, surtout en zone rurale. La maison de Soufeng (15 km au sud de Hualien, très proche de l'épicentre) a été construite en 1968. Initialement, elle n'avait qu'un seul niveau en béton armé (poteaux-poutres selon une trame de 4 m et remplissage en béton). En 2012, elle a été agrandie et surélevée d'un étage, selon les mêmes

techniques. La secousse principale (3 avril) l'a fortement endommagée (classée rouge inhabitable, sauf les bâtiments annexes à l'arrière, d'un seul niveau), la réplique du 23 avril l'a complètement détruite (effondrement). Le sol du terrain montre des signes de mouvements forts (fissures) et les parapets des murs de soutènement ont basculé (direction E/W). Le propriétaire a indiqué que la démolition a été ordonnée par les autorités mais réalisée à sa charge. La maison voisine, de trois niveaux mais plus récente, est intacte, même si les éléments extérieurs (portail, murs de soutènement) sont fortement endommagés.

Ce cas illustre le danger des surélévations, si elles ne sont pas conçues dans les règles de l'art, même pour des constructions en béton armé. L'étendue des dommages au rez-de-chaussée résulte de l'augmentation des efforts sismiques dus à la surélévation. Par ailleurs, le fait que le bâtiment se soit effondré lors d'une réplique souligne l'importance de tenir compte de la fragilité des constructions endommagées vis-à-vis d'éventuelles répliques dans le diagnostic d'urgence post-sismique.



Illustration 5.2-1. Vue de la maison initiale, source Google streetview 2009



Illustration 5.2-2. Vue de la surélévation, source Google streetview 2012



Illustration 5.2-3. Vue de la maison endommagée (façade Est) par le séisme du 4 avril (photo du 06/04). Une fissure horizontale est nettement visible au niveau de l'escalier.



Illustration 5.2-4. Vue de la maison endommagée (Façade Sud) par la réplique du 23 avril source [花蓮連續餘震民宿軟腳倒塌](#)

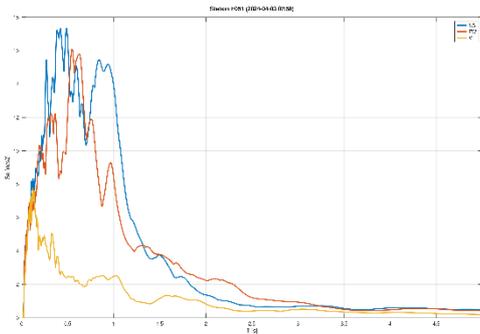


Illustration 5.2-5. Spectre F051 du 3/4

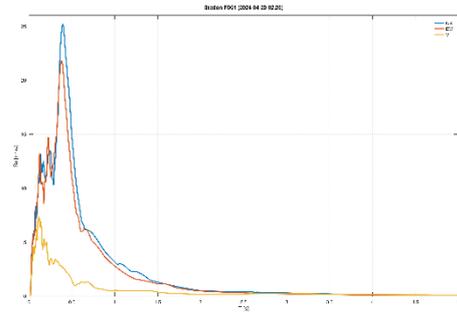


Illustration 5.2-6. Spectre F051 du 23/4

De nombreuses répliques ont eu lieu fin avril, dont certaines de magnitude supérieure à 6. Il est probable que l'accumulation de sollicitations sismiques sur la structure endommagée ait épuisé la résistance résiduelle de la structure et entraîné son effondrement définitif.

5.3 Immeubles

A Taipei, à une distance d'environ 130 km de l'épicentre du séisme de Hualien, des accélérations de terrain considérables ont été enregistrés (PGA de 0,9 à 2,15 m/s²).



Illustration 5.3-1. Localisation de trois stations sismologiques à Taipei

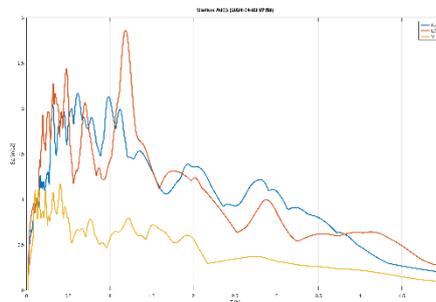


Illustration 5.3-2. Spectre de la station A003

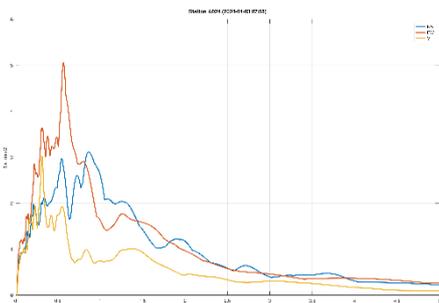


Illustration 5.3-3. Spectre de la station A024

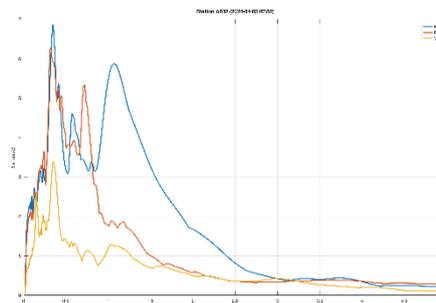


Illustration 5.3-4. Spectre de la station A032

À Taipei, le niveau d'accélération enregistré lors de ce séisme était nettement inférieur au niveau de dimensionnement selon les normes techniques (quelle que soit leur version). Par conséquent, peu de bâtiments ont été endommagés par le séisme.

Cependant, certaines constructions mal conçues sur le plan sismique (notamment les bâtiments comportant des étages transparents), et présentant des malfaçons ont été fortement endommagées. Cela montre qu'une conception parasismique associée à une réalisation soignée est très importante pour une résistance sismique acceptable. Dans les illustrations suivantes, un bâtiment avec quelques détails constructifs inspectés sur place est montré.



Illustration 5.3-5. Bâtiment à Taipei comportant des étages transparents ("soft-story") endommagé et sécurisé



Illustration 5.3-6. Effet poteau court



Illustration 5.3-7. Manque de confinement transversal d'un poteau de RDC fragilisé par la présence d'une évacuation d'eau pluviale

La vulnérabilité structurelle du bâtiment, à l'origine des dommages, résulte des mauvais choix conceptuels ou des malfaçons des détails d'exécution, notamment:

- L'absence de poteaux au rez de chaussée au niveau du coin de la rue, générant un grand porte-à faux,
- Un rez de chaussée qui présente une rigidité apparemment inférieure aux étages supérieurs (transparence). Cela porte à une concentration des efforts sismiques au RDC.
- Des petites ouvertures des fenêtres engendrent un effet de poteaux courts avec concentration du cisaillement à côté des ouvertures (voir fissures de cisaillement à "X" dans l'illustration 5.3-6).
- Les étriers de poteaux insuffisamment ancrés avec des crochets à 90°, réduisant ainsi la résistance au cisaillement (notion de poussée au vide).
- Les étriers sont trop espacés et insuffisants pour assurer un confinement transversal afin d'empêcher le flambement des armatures longitudinaux.
- Un tube de descente d'eau se trouve à l'intérieur du poteau, affaiblissant la section de béton armé.

En ce qui concerne les immeubles à Hualien, de nombreux dommages ont été constatés sur les structures porteuses les plus diverses, comme des bâtiments à rez-de-chaussée transparents, des cadres en béton armé ou bien des bâtiments avec des refends en béton armé. Les bâtiments à rez-de-chaussée transparents (soft-stories) sont très communs, et certains présentent des endommagements similaires au bâtiment inspecté à Taipei. En plus, en raison de la proximité à l'épicentre, deux bâtiments avec des refends en béton armé ont subi des dommages importants. Nous avons observé que les bâtiments équipés de renforcements sismiques ne présentent que des dommages très faibles voire aucun dommage ; ce qui montre l'efficacité des mesures parasismiques. Enfin, la localisation des bâtiments les plus endommagés à Hualien montre que la plupart se trouve proche de la faille sismique. Cet effet avait également été noté aussi pour des autres séismes à Taïwan, et en particulier, lors des séismes de 2018 à Hualien (Yamada, 2020). C'est la raison pour laquelle un facteur majorant pour l'effort sismique a été introduit dans les normes de dimensionnement parasismique pour les zones proches des failles (cf. paragraphe 3.1).

Tremblement de Terre de Hualien 3 Avril 2024

AFPS-SGEB Visites 10-12 Juin 2024

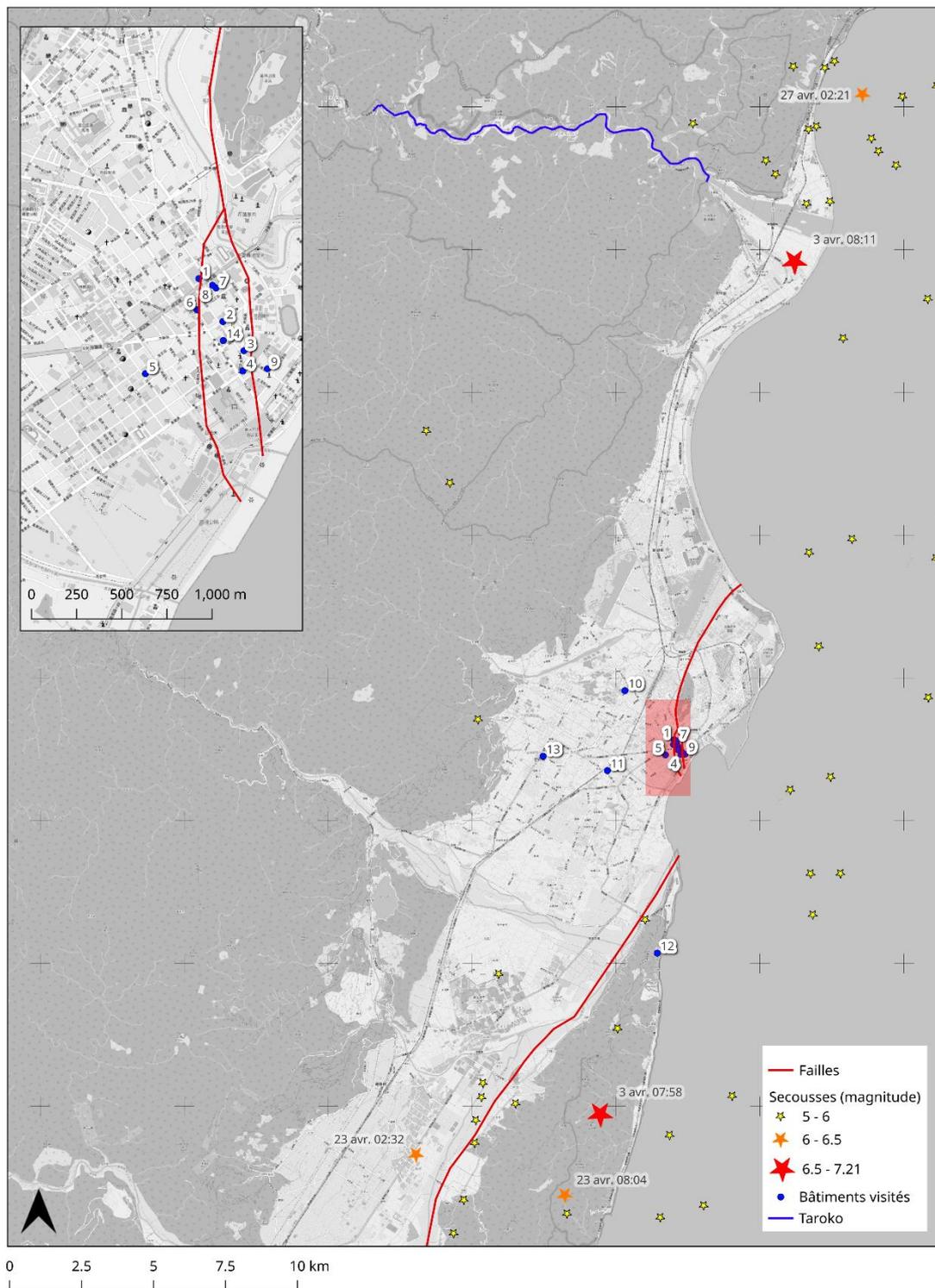


Illustration 5.3-8. Distribution des dommages observés par rapport à la faille sismique à Hualien



Illustration 5.3-9. Bâtiment à Hualien avec transparence (“soft-story”) endommagé et sécurisé

Le bâtiment montre les mêmes caractéristiques constructives et dommages sismiques que celui qui a été inspecté à Taipei. La partie du poteau montre que le béton est insuffisamment confiné, notamment au niveau du nœud de liaison poteau de rive et poutre, du fait de l'écartement des cadres d'armatures, et fragilisé par la présence d'une évacuation d'eau pluviale.



Illustration 5.3-10. Bâtiment à Hualien (source P. Smars, 4 avril 2024).



Illustration 5.3-11. L'emplacement du bâtiment de l'illustration 5.3-10, démoli (juin 2024)



Illustration 5.3-12. Bâtiment à Hualien endommagé avec des refends en béton armé

Les refends en béton armé de ce bâtiment ont résisté au séisme avec un niveau de dommages structuraux acceptables. Mais la façade rigide et les remplissages en maçonnerie ont été endommagés. Cela montre la nécessité de concevoir des façades capables de suivre les déformations structurelles du bâtiment sans s'endommager.



Illustration 5.3-13. Bâtiment à Hualien endommagé avec des portiques en béton armé. Suite au séisme du 3 Avril, il a été ébranlé, mais les supports se sont révélés insuffisants : la réplique du 23 l'a fortement incliné. Lors de la mission, l'immeuble avait été démoli

Les portiques en béton armé de ce bâtiment ont généralement bien résisté au séisme. Seulement au niveau des grands changements de rigidité (refends avec des ouvertures circulaires au lieu de la structure en cadre) on note des dégâts importants au niveau de la structure et sa façade. Cela montre que la réalisation d'une structure régulière sans changements brusques de rigidité est très importante pour un comportement parasismique efficace.

5.4 Bâtiments publics – effets induits

Il apparaît d'après les visites que nous avons effectuées lors de notre mission et les témoignages que nous avons pu récolter que les établissements publics à Taïwan s'avèrent être d'une conception satisfaisante en regard des règles parasismiques. Notamment, les établissements publics existants ont fait l'objet d'importantes rénovations afin d'améliorer leurs performances sismiques. Cependant, les dommages non structurels ont été observés notamment aux étages supérieurs, excepté pour les bâtiments construits sur isolateurs parasismiques (voir le paragraphe §5.5). De plus, on notera que les secousses sismiques du 3 avril ont conduit à un incendie d'origine chimique dans un laboratoire de l'Université Hualien (voir Illustration 5.4-1).



Illustration 5.4-2. Bâtiment de l'Université Hualien incendié suite au séisme du 3 avril

Il semble que le séisme ait provoqué l'effondrement d'armoires contenant des produits chimiques, qui en se mélangeant ont provoqué le départ de feu. L'incendie n'a pas pu être maîtrisé rapidement probablement à cause de la désorganisation provoquée par la secousse. Il est possible que le système d'extinction automatique (s'il était en place dans le local concerné) n'ait pas été en mesure de se déclencher.

5.5 Hôpitaux

L'hôpital Hualien TzuChi est situé à proximité de la faille de Mi-Lun. Il est constitué de quatre bâtiments en béton, à savoir les bâtiments de soins médicaux Gratitude, Great Love et He Xin, et le bâtiment d'administration Xie Li. Ces bâtiments ont des conceptions parasismiques différentes.

- La structure primaire de contreventement des bâtiments Gratitude et Great Love, séparés par un joint sismique, est faite de portique.
- Le bâtiment He Xin repose sur des appuis parasismiques.

- La stabilité du bâtiment Xie Li au séisme est assurée par un système de contreventement en K.

Aucun des bâtiments n'a eu de dégât sur la structure primaire. La conception sur appuis parasismiques a eu une excellente performance, vis-à-vis de la tenue des éléments structurels secondaires et éléments non structurels, et pour maintenir l'opérabilité du bâtiment. De plus, les réservoirs d'oxygène liquide ont été posés sur une dalle avec appuis antisismiques. Toutefois, des dégâts ont pu être observés sur les réseaux externes, ainsi que sur la chaussée et sur les trottoirs à proximité du bâtiment He Xin, à cause des déplacements relatifs de la structure par rapport aux fondations qui ont atteint 30 cm. Le raccordement de réseau de tuyauteries cheminant entre les bâtiments Gratitude et Great Love au niveau du joint sismique est effectué en forme Ω afin de supporter les effets de mouvements différentiels de ces bâtiments. En outre, les tuyauteries sont maintenues par des flexibles suspendus qui sont résistées aux déplacements dus au séisme.

S'agissant du bâtiment Xie Li, des dommages sur les éléments non structurels et équipements ont été constatés : chute de plafonds, fuites de tuyaux de climatisation, chute de carrelage, effondrement et fissuration de cloisons, dommage au château d'eau, panne de monte-charge. Toutefois, le personnel de l'hôpital a indiqué que les équipements critiques situés à l'intérieur du bâtiment n'avaient pas subi de dommages significatifs lors du tremblement de terre, notamment pour ce qui concerne les salles d'opération. Par ailleurs, l'effondrement d'une armoire de laboratoire à un étage supérieur a entraîné un incendie lié à des produits chimiques inflammables.



Illustration 5.5-1. Vue de l'hôpital avec les différents bâtiments (Source : Hôpital Hualien TzuChi)



Illustration 5.5-2. Un des appuis parasismiques du bâtiment He Xin



Illustration 5.5-3. Réservoirs d'oxygène liquide sur dalle avec appuis parasismiques

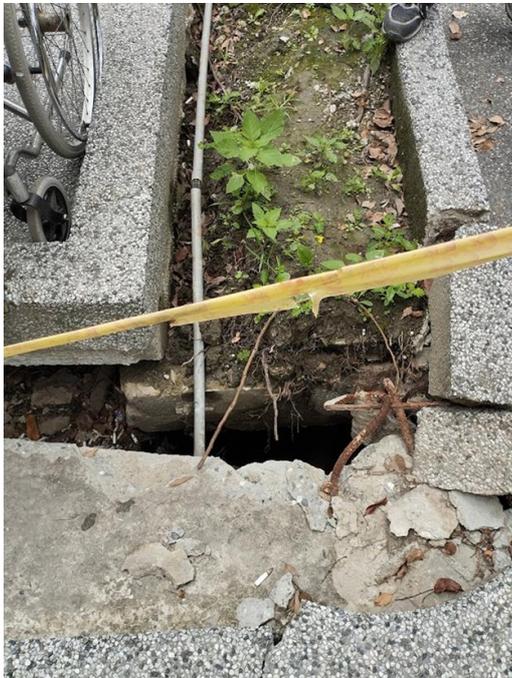


Illustration 5.5-4. Dégâts sur les trottoirs à proximité du bâtiment He Xin

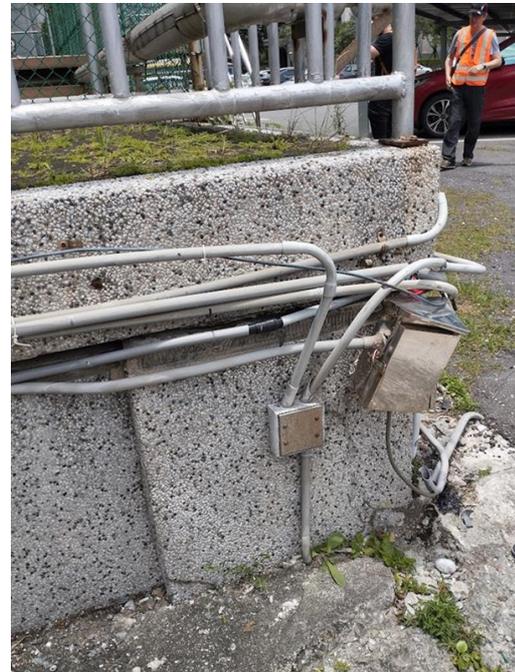


Illustration 5.5-5. Dégâts sur les réseaux externes au niveau du sol des réservoirs d'oxygène liquide



Illustration 5.5-6. Raccordement en forme Ω des tuyauteries au niveau du joint sismique



Illustration 5.5-7. Tuyauteries maintenues par des flexibles suspendus

D'autres dommages relatifs aux éléments non structuraux ont pu être observés dans l'hôpital Hualien, qui étaient réparés lors de notre passage, mais dont l'endommagement a été documenté dans d'autres rapports. [Wang et Yu, 2024] fournissent plus de détails sur le comportement de la structure, et le rapport de mission post-sismique [Suzuki, 2024] présentent des photos des dommages aux équipements.

5.6 Éléments non structuraux

Le tremblement de terre de Hualien a endommagé de nombreux éléments non structuraux. Cependant, en raison des travaux de nettoyage entrepris immédiatement après l'évènement, la plupart des éléments avaient déjà été retirés au moment de notre passage. Toutefois, les dégâts relatifs aux éléments non structuraux n'ont engendré aucune victime selon NCREE.

Nous avons notamment pu constater lors de la mission que les structures secondaires assurant le clos et le couvert ont été déficientes notamment pour ce qui concerne le manque de conception parasismique des éléments non structuraux.

En outre, des dégâts importants relatifs à la désolidarisation des éléments de façades ont pu également être observés (Illustration 4.6.2). Face au risque de préjudices corporels liés à des chutes d'éléments de façades ou de toitures, rappelons qu'il est fortement déconseillé de sortir d'un bâtiment au moment des secousses. En fonction de l'heure où se déclare le séisme, les rues peuvent être plus ou moins encombrées, les chutes d'élément de façade peuvent alors avoir des conséquences pour la sécurité des personnes.

Pour continuer l'analyse, de façon qualitative, sur les effets de séismes sur les éléments non structuraux, nous avons considéré deux cas d'étude. Nous avons visité un hôtel en activité à Hualien dont les dommages apparaissaient légers à l'intérieur avec une désolidarisation et chute de parements de façade évitée par la structure métallique extérieure (Illustration 4.6.3). Il est à noter que les bâtiments qui ont une forme complexe en hauteur n'oscillent pas librement, ce qui génère notamment des dommages au niveau des changements de rigidité. Il est préférable de séparer les deux corps de bâtiment par un joint parasismique pour les découpler.



Illustration 5.6-1. Chute d'éléments de façade dans un immeuble d'habitation à Hualien



Illustration 5.6-3. Dommage des façades dans un hôtel à Hualien, chute empêchée par un filet métallique extérieur

Lors de la visite d'un immeuble d'habitation, nous avons notamment constaté des parements de façades et des dégâts sur les éléments non structuraux de parement en marbre des locaux intérieurs (Illustration 4-64). Il est à noter que l'effondrement des éléments non structuraux lors d'un séisme pouvant avoir un impact sur l'activité et la sécurité des personnes. A cet égard, le retour d'expériences des services de secours a montré que les chutes d'éléments non structuraux et la déformation des ouvertures lors d'un séisme pouvaient fortement gêner leur usage et l'évacuation des locaux. A titre d'illustration, la déformation du bloc porte peut constituer une difficulté pour accéder ou sortir d'une pièce.

En dehors des risques induits par la chute des éléments non structuraux, d'autres phénomènes induits relatifs aux équipements (canalisation, réseau électrique, ...) peuvent impacter les structures, comme par exemple les ruptures de canalisation ou les dommages de réseau électrique qui peuvent respectivement conduire à des infiltrations ou à des incendies (voir Illustration 4.65).



Illustration 5.6-4. Un bâtiment résidentiel R+14 condamné ayant résisté (pas d'effondrement) dans la ville Hualien entièrement dévastée avec endommagement des voiles



Illustration 5.6-5. Infiltration et incendie induits par le séisme du 3 avril dans des locaux des deux bâtiments résidentiels visités

S'agissant des bâtiments stratégiques et importants pour la gestion d'un séisme tels que les hôpitaux, il est possible que certains services ne soient plus fonctionnels en raison de dommages sur les équipements non structuraux et les installations techniques, mais aussi par la crainte des praticiens de réintégrer des bâtiments présentant des dommages même légers. Il est à noter que les équipements peuvent être liés à une structure secondaire, voire même parfois à des cloisons non porteuses (doublage de cloison, élément non structural), dont la forte probabilité d'endommagement de cette dernière doit être prise en compte. Il convient également d'être très prudent pour la fixation des équipements sur les éléments non structuraux. De plus, le risque d'endommagement des composants sensibles par la chute des équipements ou l'effondrement partiel ou total des éléments non structuraux ne doit pas être écarté pour les bâtiments stratégiques et importants pour la gestion d'un séisme. Dans le cadre de cette mission, nous nous sommes rendus à l'hôpital Hualien et n'avons pas constaté de dommage significatif aux structures principales. Seuls des dommages aux éléments non structuraux ont été rapportés, excepté pour un des bâtiments de l'hôpital construit sur des appuis parasismiques qui permettent d'atténuer les mouvements sismiques (voir le paragraphe §4.5).

Aussi, le bâtiment avec des appuis parasismiques était la seule structure présentant des dégâts minimaux et ayant continué d'assurer un service continu sans interruption.

6 Ouvrages d'art et réseau routier

6.1 Généralités

Le séisme de Hualien survenu a été un événement géologique important qui a mis en lumière la vulnérabilité face aux dangers gravitaires de cette région sujette aux tremblements de terre et l'importance des mesures de protection préventives. Ce séisme a en effet provoqué de nombreux glissements de terrain et des chutes de blocs, principalement dans des zones déjà identifiées comme instables. Cet événement offre une opportunité unique d'examiner l'efficacité des stratégies de protection mises en place ainsi que les défis rencontrés par les systèmes de gestion des risques en présence de catastrophes de grande ampleur impactant un territoire très étendu.



Illustration 6.1-1. Glissement de terrain sur la route Taipei-Hualien



Illustration 6.1-2. Chute de blocs (de plusieurs m³) sur la route Taipei-Hualien

6.2 Glissements de terrain et chutes de blocs

Les glissements de terrain et les chutes de blocs observés après le séisme se sont produits principalement dans des zones déjà connues pour leur instabilité géologique. Ces phénomènes sont courants dans les régions montagneuses de Taïwan de par la topographie, soit la présence de pentes abruptes, et la géologie, particulièrement de sols extrêmement fracturés. Par exemple, lors du séisme de Chi-Chi en 1999 (magnitude 7.6), des glissements de terrain similaires avaient été observés, confirmant l'activation de ces mécanismes géologiques dans des terrains sensibles. Les mécanismes de déclenchement de ces glissements sont bien documentés : la secousse principale ainsi que les répliques induisent ou accélèrent des ruptures dans les sols et les roches, entraînant des conséquences gravitaires.



Illustration 6.2-1. Glissement de terrain sur la route Taipei-Hualien

La zone montagneuse est peu peuplée, néanmoins, les chutes de blocs peuvent mettre en danger les constructions. Un exemple a pu être observé sur une structure hôtelière du parc, dont un bâtiment a été détruit par un bloc.



Illustration 6.2-2. Bâtiment percuté par un bloc de pierre détaché par la secousse sismique

Efficacité des mesures de protection sur les infrastructures et la population

Les différentes mesures de protection mises en place avant le séisme ont joué un rôle important à notre sens dans la limitation des dommages. Ces mesures incluaient des renforcements structuraux des ouvrages d'art, d'ouvrages de protection des infrastructures de nature diverses, allant du filet de protection, passant par des galeries ou encore par la protection de certains tronçons par leur mise en tunnel. Les ouvrages d'art ont été construits selon les normes existantes, inspirées des leçons tirées de séismes antérieurs. De même, le dimensionnement des ouvrages de protection a été réalisé conformément aux exigences des normes en vigueur. Ces normes ont permis de réduire significativement les pertes humaines et les dommages matériels.



Illustration 6.2-3. Ouvrage de protection pare-bloc en métal, Parc Taroko



Illustration 6.2-4. Stabilisation des talus



Illustration 6.2-5. Galeries de protection contre les chutes de blocs sur la route de la côte entre Taipei et Hualien

La comparaison avec des séismes où de telles mesures n'étaient pas en place ou étaient insuffisantes montre l'importance de ces préparatifs. Lors de séismes antérieurs, comme celui de Sichuan en 2008, de nombreuses infrastructures se sont en effet effondrées, causant des pertes humaines importantes. En revanche, à Hualien, bien que des dégâts aient été enregistrés, les pertes en vies humaines ont été minimisées, probablement grâce à ces mesures préventives.

Étendue des dommages

La multiplicité et l'étendue des dommages causés par le séisme de Hualien a mis à rude épreuve les modèles de gestion de catastrophe habituels. Les événements naturels sont généralement plus localisés. La vaste zone touchée par ce séisme et ses répliques a nécessité une réponse coordonnée et rapide. Les modèles de gestion des risques doivent être adaptables pour faire face à des situations où les dommages sont distribués sur une large zone géographique.

À Hualien, des ressources importantes ont été déployées rapidement pour remettre en état les infrastructures de mobilité, notamment les routes et les ponts, ce qui a permis de maintenir un haut niveau de disponibilité des services essentiels.

6.3 Infrastructures de mobilité

Introduction

Les séismes ont un impact significatif sur les infrastructures de mobilité, affectant l'accessibilité, particulièrement dans les zones montagneuses et côtières. L'expérience du séisme de Hualien en avril 2024 a mis en évidence ces enjeux, ainsi que la résilience des systèmes grâce à la redondance des accès. Les leçons tirées d'autres séismes fournissent un cadre pour évaluer et améliorer la gestion des infrastructures en cas de catastrophe.

La construction de la route traversant les montagnes (Central Cross-Island Highway) commence en 1956. Elle est ouverte à la circulation en 1960. Le tremblement de terre de 1999, cause d'important dégâts sur le versant Ouest : le tronçon entre Lishan et Guguan (dans la direction de Taichung) est fermé *sine-die*.

Les infrastructures de mobilité, telles que les routes, les chemins de fer et les réseaux de métro, ont été fortement impactées durant le séisme de Hualien et ses répliques. La question de l'accessibilité aux sites isolés a été particulièrement posée, notamment dans les régions montagneuses. Dans ces zones, les routes peuvent être obstruées par des glissements de terrain, comme cela a été observé lors du séisme de Chi-Chi en 1999. En revanche, les zones côtières peuvent rester accessibles par voie maritime, bien que cette option n'ait pas été nécessaire lors du séisme taïwanais d'avril 2024. La redondance des accès, c'est-à-dire la présence de plusieurs routes et l'interconnexion du réseau routier, s'est révélée cruciale pour assurer une grande résilience. Par ailleurs, l'accès aux sites du réseau Life Line a été maintenu, illustrant l'importance de ces approches redondantes. Compte tenu de la géographie de l'île, la redondance est néanmoins difficile à obtenir. Le parc du Taroko, n'est desservi que par une seule route et la partie côte Ouest ne va pas rouvrir avant très longtemps ; elle est fermée depuis 1999). Du sommet, il est possible de redescendre vers l'ouest mais la route est très longue et difficile. La desserte de Hualien est un peu meilleure car elle passe par une route vers le Sud (longue), une vers le Nord et la traversée Est-Ouest du Taroko. Le train a aussi des liaisons vers le Sud et vers le Nord mais elles passent souvent à flanc de montagne ce qui les rend vulnérables aux glissements et chutes de blocs. Il y a par ailleurs des accès par l'air et la mer.

Éléments d'infrastructures

Métro

Le réseau du métro de Taipei a été partiellement impacté par le séisme. Un pont défectueux a nécessité la coupure de la ligne circulaire (ligne jaune) sur trois stations. À la date de l'évaluation post-séisme, cette ligne n'était pas encore opérationnelle, les travaux de réparation du pont étant toujours en cours. Cet incident rappelle le séisme de Kobe en 1995, où plusieurs lignes de métro avaient été gravement endommagées, nécessitant des réparations prolongées.



Illustration 6.3-1. Station du métro de Taipei hors service (Circular Line)

Chemin de fer

Les principales lignes de train n'ont pas subi de dommages nécessitant des arrêts d'exploitation significatifs. Cette résilience peut être comparée à celle observée lors du séisme de Loma Prieta en 1989, où certaines lignes ferroviaires avaient également résisté aux secousses grâce à des normes de construction robustes. Le cas de ligne côtière reliant Taïpei à Hualien, protégés par de nombreux ouvrages et qui n'a subi que peu de perturbation est un exemple éloquent de cette résilience.



Illustration 6.3-2. Ligne ferroviaire Taïpei-Hualien



Illustration 6.3-3. Ligne ferroviaire Taïpei-Hualien

Routes

De nombreuses routes ont été coupées à la suite du séisme de Hualien. La route principale reliant Taipei à Hualien, un axe côtier nord-sud, a subi des dommages nécessitant des travaux de remise en état. À la date de l'évaluation, l'autoroute était en cours de finalisation de sa remise en état, avec un trafic alterné encore en place. Une exploitation normale devrait être rétablie rapidement. De même, la route reliant Hualien au parc national de Taroko, un axe montagneux est-ouest, a été endommagée, nécessitant des réparations.

Pour ce faire, une grande réactivité des équipes a été constatée. A titre d'exemple, on relèvera la mise en place d'un pont provisoire pour remplacer un ouvrage fortement endommagé ou encore une remise en état après déblaiement de coulées de boue, de chutes de pierre et d'éboulement extrêmement rapide.



Illustration 6.3-4. Route Taïpei-Hualien, remise en état de l'enrobé au droit d'un éboulement



Illustration 6.3-5. Route Taïpei-Hualien, remise en état de l'enrobé au droit d'un éboulement

Ponts

Les ponts sur lesquels des dommages importants ont été constatés sont limités. La mission a investigué trois ponts.

Pont du métro de Taipei, Circular line



Illustration 6.3-6. Pont de la Circular Line, Taïpei, vue générale



Illustration 6.3-7. Pont de la Circular Line, Taïpei, détail



Illustration 6.3-8. Pont de la Circular Line, Taïpei, détail

Pont sur la route Taipei-Hualien



Illustration 6.3-9. Pont sur la route Taipei-Hualien



Illustration 6.3-10. Pont sur la route Taipei-Hualien, détail



Illustration 6.3-11. Pont sur la route Taipei-Hualien, détail

Pont historique du parc national de Taroko



Illustration 6.3-12. Pont historique, Parc Taroko

Tunnels

Les tunnels du parc national de Taroko présentent des caractéristiques et des défis spécifiques en matière de construction et de renforcement, particulièrement en zones sismiques. Ce rapport examine les techniques historiques et modernes utilisées dans la construction et l'amélioration des tunnels, ainsi que les observations faites lors de l'inspection post-séisme.

Historiquement, les tunnels du parc national de Taroko ont été creusés directement dans la roche, utilisant des méthodes telles que le forage et/ou probablement à l'explosif. Ces techniques, bien que efficaces pour pénétrer des formations rocheuses dures, laissent souvent la roche apparente à l'intérieur des tunnels. Les méthodes de forage utilisées au moment de la réalisation endommagent localement également la roche. La roche rencontrée (schiste, marbre) est peu homogène, avec des plans de cisaillement changeant fréquemment.

Ces méthodes présentent certains inconvénients, notamment le manque d'ancrage et de renforcement structuraux qui peuvent compromettre la stabilité du tunnel en cas de séisme. L'utilisation de quantité importante d'explosif fragmente également une roche déjà naturellement très fragile. De nombreuses failles, dans des plans changeants sont présentes.

Afin de remédier aux limitations des techniques historiques, des méthodes modernes de renforcement sont progressivement mises en œuvre. Les systèmes de voûtes avec des cintres métalliques sont désormais installés, en commençant par les zones à proximité des tympans (ou portails) de tunnel. Pour les nouveaux ouvrages, des voûtes en béton armé sont quasi systématiquement posées, offrant une rigidité et une résistance accrues aux structures. Les cintres métalliques, espacés généralement de 60 à 80 cm, sont utilisés pour soutenir la voûte en béton armé, particulièrement dans les premiers 15 à 20 mètres aux extrémités et à intervalle régulier dans la partie interne de l'ouvrage.



Illustration 6.3-13. Consolidation par voûtes avec cintres métallique de galerie historique creusée à même la roche, ici en présence d'un épaulement très faible, voire inexistant (fenêtre)



Illustration 6.3-14. Fissures dans les voûtes en béton armé aux extrémités, Parc Taroko

Ces renforcements ont montré une bonne efficacité en améliorant le comportement structural des tunnels lors des sollicitations sismiques. Les tunnels équipés de ces renforcements ont subi peu de dommages, soulignant l'importance de cette méthode dans les zones sismiquement actives.

L'inspection a révélé que l'installation d'ouvrage de protection contre les chutes de pierre (i.e. filets pare-pierres) à la sortie des portails de tunnel pourrait significativement augmenter la sécurité en limitant les conséquences des chutes de pierres, fréquentes dans les environnements montagneux après un séisme. Actuellement, cette mesure de protection est peu mise en œuvre, constituant une opportunité d'amélioration pour la gestion des risques géologiques.



Illustration 6.3-15. Portail de tunnel sans protection contre les chutes de pierres

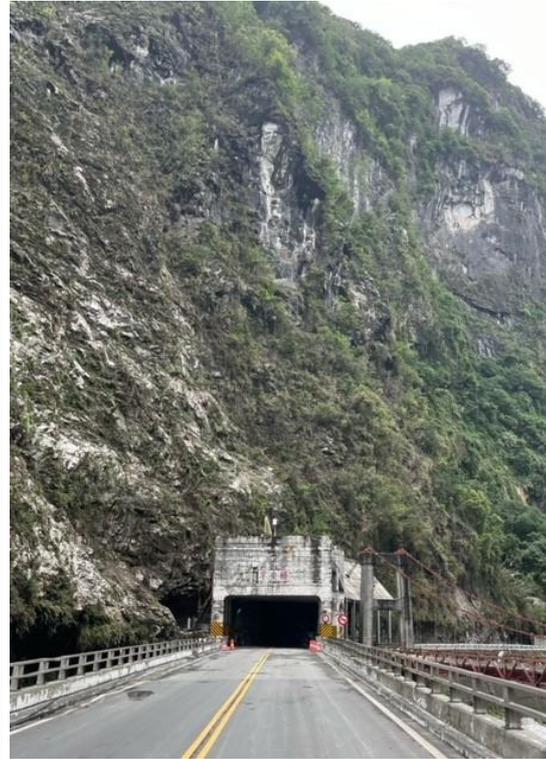


Illustration 6.3-16. Portail de tunnel sans protection contre les chutes de pierres

A certains endroits les plus exposés en termes de risque, des galeries des prolongations des ouvrages permettent d'offrir une bonne protection, que ce soit pour les usagers de la route ou pour les piétons.



Illustration 6.3-17. Prolongation en galerie de protection d'un tunnel routier



Illustration 6.3-18. Prolongation en galerie de protection d'un tunnel de randonnées

Les tunnels renforcés par des voûtes en béton armé ont montré une bonne performance. Les sections de tunnel avec une couverture rocheuse plus faible ont cependant présenté des fissures importantes, indiquant des points de faiblesse potentiels. Ces observations suggèrent que, même avec des renforts adéquats, des zones spécifiques peuvent nécessiter une attention particulière et des renforcements supplémentaires pour garantir leur intégrité structurelle.

L'analyse des tunnels du parc national de Taroko après le séisme met en lumière l'importance des techniques de renforcement modernes pour garantir la sécurité et la stabilité des infrastructures en zones sismiques. Les méthodes de voûtage en béton armé et l'utilisation de cintres métalliques se sont avérées efficaces pour améliorer le comportement des tunnels. Cependant, des mesures de protection supplémentaires, telles que l'installation de filets pare-pierres, sont nécessaires pour augmenter la sécurité globale. Les observations faites lors de cette inspection fourniront des orientations précieuses pour les futures constructions et rénovations de tunnels dans des environnements similaires.

Chemins de randonnée

De nombreux chemins de randonnées pédestres attirent les touristes dans la région. Le parc national de Taroko est un exemple situé dans la région touchée par le tremblement de terre. Les chemins ont été fortement endommagés par des ruptures ou des endommagements importants des voûtes faisant la particularité de ce cheminement.



Illustration 6.3-19. Voûte affaissée dans le Parc Taroko (Tunnel of nine Turns)



Illustration 6.3-20. Piédroit de voûte fissuré et instable

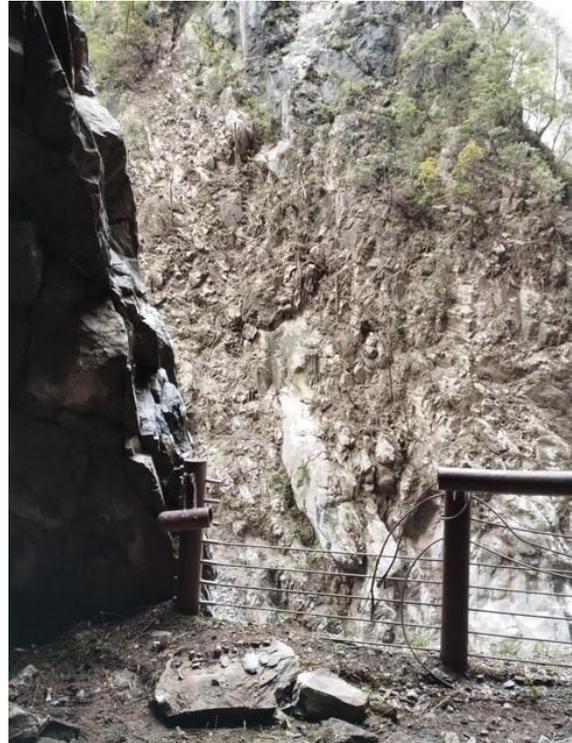


Illustration 6.3-21. Dégâts aux éléments secondaires, chemin de randonnée, Parc Taroko

Les ouvrages de franchissement se sont plutôt bien comportés.



Illustration 6.3-22: Passerelle piétonne, Parc de Taroko



Illustration 6.3-23. Passerelle piétonne, Parc de Taroko

Galeries de protection

Les galeries de protection contre les chutes de pierres et le glissement de terrain ont globalement bien rempli leur rôle, permettant de minimiser les dégâts.



Illustration 6.3-24. Galerie de protection d'un chemin de randonnée, Parc Taroko (Tunnel of nine Turns)



Illustration 6.3-25. Galerie de protection de la route, Parc Taroko



Illustration 6.3-26. Galerie de protection de la route du Parc Taroko en béton armé, renforcée localement en métal



Illustration 6.3-27. Galerie de protection de la route côtière Taipei-Hualien



Illustration 6.3-28. Galerie de protection de la route côtière Taipei-Hualien



Illustration 6.3-29. Galerie de protection de la route côtière Taipei-Hualien

Conclusion

L'impact des séismes sur les infrastructures de mobilité souligne la nécessité d'une préparation et d'une résilience accrues. L'expérience tirée du séisme de Hualien en 2024, ainsi que d'autres séismes historiques, met en lumière l'importance de la redondance des accès et des normes de

construction robustes pour minimiser les interruptions et maintenir l'accessibilité. La gestion efficace des infrastructures après un séisme est cruciale pour assurer une reprise rapide des activités et limiter les conséquences économiques et sociales.

6.4 Réactivité et limitation des conséquences financières indirectes

Constat

La réactivité des autorités locales et nationales a été déterminante pour limiter les conséquences financières indirectes du séisme de Hualien. Des équipes de secours et de réparation ont été mobilisées immédiatement après le séisme pour évaluer les dégâts et commencer les travaux de restauration. Cette réponse rapide a permis de rouvrir les infrastructures critiques en un temps record, minimisant ainsi les perturbations économiques.

Le parc de Taroko, par exemple, qui attire annuellement trois millions de visiteurs, fait l'objet d'une remise en état accélérée. Les autorités ont prévu sa réouverture dans quelques mois, ce qui permettra à l'industrie touristique locale de reprendre rapidement ses activités. Ce type de réactivité est essentiel pour atténuer les pertes économiques qui suivent habituellement les séismes, comme l'illustre également la restauration rapide des infrastructures touristiques après le séisme de Christchurch en Nouvelle-Zélande en 2011.

Apprentissage

Le séisme de Hualien d'avril 2024 a mis en évidence l'efficacité des mesures de protection et les défis posés par la gestion des risques sur un territoire vaste et diversifié. Les glissements de terrain et les chutes de blocs observés dans les zones instables, pour la plupart préalablement identifiés, ont confirmé la nécessité de mesures préventives robustes. Les stratégies mises en place ont prouvé leur utilité en limitant les pertes humaines et matérielles. Toutefois, l'étendue des dommages a souligné la nécessité d'améliorer continuellement les modèles de gestion de la catastrophe pour les rendre plus flexibles et réactifs face à des catastrophes naturelles de grande ampleur. Les leçons tirées de cet événement pourront servir à renforcer encore davantage les systèmes de préparation et de réponse aux séismes à l'avenir.

7 Réseau électrique et centrales nucléaires

Taiwan est équipé d'un réseau électrique qui a été renforcé suite au séisme de 1999. Il comporte aujourd'hui plusieurs branches qui assurent la redondance, et deux centres de gestion (un au nord et au sud) qui sont synchronisés et peuvent fonctionner indépendamment pour superviser tout le réseau électrique en cas de défaut d'un des deux centres. Contrairement au séisme de 1999, le séisme de 2024 n'a pas conduit à des ruptures massives d'approvisionnement électrique. Les sites stratégiques (hôpitaux, industrie) ont leur propre système de sécurisation. Certaines zones ont néanmoins été affectées par les coupures de réseau, en particulier dans la zone du Taroko, où une partie des lignes est aérienne. Des incidents liés au basculement ou à la chute d'équipement ont été constatés.

Le parc de production électrique Taïwanais sort du nucléaire et la seule centrale encore en activité (centrale Ma'anshan) sera arrêtée en juillet 2024. Les sites sont éloignés de l'épicentre et n'ont pas été atteints par des niveaux d'accélération qui auraient pu produire des dommages. Les plus fortes valeurs de PGA mesurées au niveau du radier des centrales sont relativement faibles (voir tableau ci-après) et le spectre du séisme ne dépasse pas le spectre de dimensionnement. NSC indique qu'aucun désordre de génie civil n'a été relevé après le séisme

du 3 avril et les répliques. Toutefois, le séisme du 3 avril a provoqué un débordement de l'eau de la piscine du réacteur de Chinshan qui a été collectée et traitée. Notre programme de visite chargé et les difficultés de prises de rendez-vous ne nous ont pas permis de visiter ces installations nucléaires.

Nuclear Power Plant	PGA at containment basement
<u>Chinshan NPP</u>	0.0281g
<u>Kuosheng NPP</u>	0.0338g
<u>Maanshan NPP</u>	0.0125g

Illustration 6.4-1. Valeurs de PGA mesurées au niveau du radier des centrales (NSC, 2024)

8 Séisme et patrimoine

Pour appréhender la situation du patrimoine dans le comté de Hualien et le faible impact du tremblement de terre d'avril 2024 sur celui-ci, il est important de comprendre les spécificités géographiques, historiques, culturelles et tectoniques locales.

À Taïwan, l'intérêt pour la préservation du patrimoine est récent. Après la défaite japonaise et la rétrocession en 1945 de l'île au Kuomintang, les traces du passé colonial étaient considérées indésirables : beaucoup de monuments furent détruits. De plus, en regard des 5000 ans d'histoire de la Chine, l'histoire de Taïwan ne semblait pas fort digne d'intérêt. C'est seulement dans les années 80 que les autorités ont commencé à voir dans le patrimoine une opportunité pour affirmer une identité distincte de celle de la Chine continentale. Dans un premier temps cela a concerné l'héritage des premiers colons chinois. Les patrimoines coloniaux (Amae 2011) et indigènes ont encore dû attendre les années 1990 pour être reconnus. Le petit patrimoine, témoin d'un passé agricole, attend encore reconnaissance et protection.

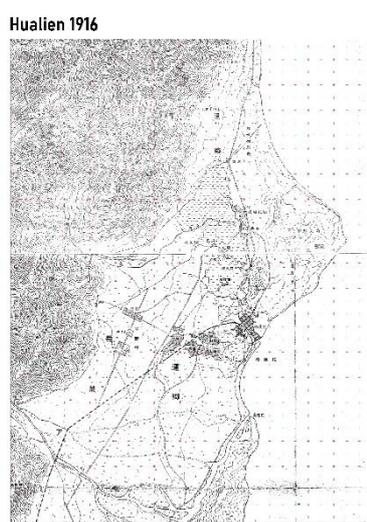


Illustration 7.1 : Hualien en 1916.

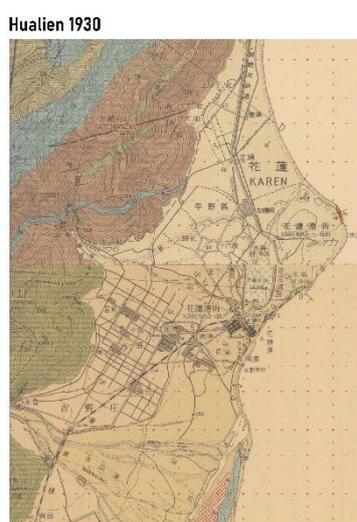


Illustration 7.2: Hualien en 1930

Les comtés de la côte Est (Yilan, Hualien et Taidong) sont nettement moins peuplés et moins denses que les comtés de la côte Ouest. Les chaînes de montagnes coupant l'île en deux rendent les liaisons entre les côtes Ouest et Est difficiles.

La région est originellement le territoire d'une tribu aborigène, les Sakizaya. Si les premiers colons Européens (Espagnols), à la recherche d'or, arrivent en 1622 ; Chinois en 1851 ; et Japonais en 1895, Hualien n'est encore qu'un petit village au début du XXe siècle. Sur la carte de l'île compilée par J.W. Davidson et datant de 1901, une ligne rouge coupe Taïwan du Nord au Sud, séparant la zone Ouest administrée par l'autorité Japonaise et les « districts sauvages » de l'Est. Dès le début du siècle, le gouvernement Japonais y installe des colons pour y développer l'agriculture (Yoshino : 1910, Toyota : 1913, Hayashida : 1914) mais c'est seulement en 1930 que le pays sera complètement pacifié.

Sur la côte Ouest, la population n'a commencé à croître rapidement (et par conséquent l'habitat) qu'après la seconde guerre mondiale. En 1915, 45 521 habitants étaient recensés dans le comté de Hualien ; 155 159 en 1947 ; 361 674 en 1984. Depuis cette date, la population est en lent déclin : 330 484 habitants étaient recensés en 2017.

La densité de population du comté est actuellement d'environ 67 habitants/km², à comparer aux 640 habitants/km² pour l'île dans son ensemble. Seulement 7 % du territoire est peuplé (Wikipédia) ; les zones montagneuses couvrent la majeure partie du territoire.

Cette isolation se traduit par un patrimoine moins riche que sur la côte Ouest, ou plus récemment reconnu car majoritairement colonial et aborigène.

À Taïwan, les critères de classement des biens patrimoniaux, sont précisés dans le Cultural Heritage Preservation Act (Ministry of Culture, 2003). Les catégories de biens (monuments, bâtiments historiques, bâtiments commémoratifs, ensemble de bâtiments, sites archéologiques, sites historiques, paysages culturels, antiquités, paysages et monuments naturels) sont décrites à l'article 3. Les classements se font à trois niveaux (art.17) : (1) national, (2) municipal (certaines grandes villes) ou (3) comté/ville. Les bâtiments historiques, ensemble de bâtiments sont classés au niveau municipal ou du comté/ville. Les monuments, ainsi désignés pour leur valeur universelle exceptionnelle (art.3), peuvent être classés aux trois niveaux.

Le comté de Hualien compte 20 monuments (Taïwan : 1050), 65 bâtiments historiques (Taïwan : 1746), 2 ensembles de bâtiments (Taïwan : 23), 6 sites archéologiques (Taïwan : 55), 13 antiquités (Taïwan : 2556) et 4 paysages culturels (Taïwan : 78). À Hualien tous les biens sont classés au niveau du comté. Aucun des 108 monuments nationaux ne se situe dans l'Est du pays. Le patrimoine protégé constitue une part infime de cadre bâti et date principalement de la période japonaise.

La plupart de ces biens protégés sont des propriétés publiques. D'une manière générale, les propriétaires privés ne sont pas intéressés par le classement de leurs biens. Dans un pays plus tourné vers l'avenir que vers le passé, le bâti ancien plus humble, l'architecture vernaculaire, et les traces d'un tissu traditionnel disparaissent inexorablement. L'intérêt qu'on leur porte est anecdotique. Le patrimoine est principalement défini sur base de son potentiel économique, touristique ou identitaire. Dans les zones les plus densément peuplées, particulièrement à l'Ouest du pays et dans le Nord, la pression immobilière conduit à un renouvellement des constructions. Dans la région de Hualien, les fréquents typhons et tremblements de terre ont vraisemblablement accéléré la disparition du bâti ancien.

Le fait que les biens classés soient peu nombreux et principalement constitués de structures coloniales en bois - résistant mieux à l'aléa sismique - a certainement également contribué au faible impact du tremblement de terre. Sur la côte Ouest, où les structures en maçonnerie sont plus fréquentes, un tremblement de terre de magnitude similaire aurait certainement été plus dévastateur (ill. 7.3). Du reste, les dégâts que nous avons eu l'occasion d'observer dans la zone de Taipei, à Lukang (ill. 7.4) et ailleurs concernent des éléments structuraux en maçonnerie. À Hualien les dommages causés, assez logiquement, concernent les assemblages aux pieds et à la tête des piliers et se sont souvent présentés à cause de la présence de toits couverts de tuiles, relativement lourds, qui semble-t-il, ont parfois remplacé des couvertures en cuivre plus légères.



Illustration 7.3 : Maison en Adobe à Dounan dans le comté de Yunlin, à 113 km de l'épicentre. 16 avril 2024



Illustration 7.4: Lukang, comté de Changhua. Temple de Mazu, à 119 Km de l'épicentre. Fractures réparées à la résine époxy. 12 mai 2024

Hualien est un des endroits du monde où les tremblements de terre sont les plus fréquents. En 1811 et 1815, des tremblements de terre ont secoués toute la côte Ouest de Taïwan, où ils ont causé morts et dégâts. Sur base des comptes-rendus contemporains, Tsai (1985) estime leurs magnitudes (7.5ML et 7.7ML) et place leurs épicentres dans la région de Hualien.

Le plus fort tremblement de terre enregistré à Taïwan s'y est également produit en juin 1920 (magnitude estimée : 8.2Mw). La plupart des bâtiments actuels ont été construits après cette date.

En 1951, une série de tremblements de terre très destructifs s'est également produit dans la vallée de Huadong (entre la chaîne centrale et la chaîne côtière) (faille de Chihshang) : 1951年縱谷地震系列.

Depuis 1999 et le tremblement de terre Chi-Chi les normes sont régulièrement améliorées. Tous les bâtiments tombés lors du récent tremblement de terre sont de construction antérieure.

En février 2018, un tremblement de terre (6.4Mw) a touché Hualien (faille de Mi-Lun).

En septembre 2022, un tremblement de terre (6.9Mw) a touché Yuli (玉里鎮), au Sud de Hualien.

Le 3 avril, trois sites patrimoniaux ont été endommagés par le tremblement de terre :

- Le Temple Yoshino (吉安慶修院) : visité
- Le Parc Culturel Ferroviaire (鐵道文化園區) : visité
- La résidence du procureur général (檢察長宿舍) : non visité (il semble qu'il ait été moins impacté)



Illustration 7.5 : Temple Yoshino, Hualien. 11 juin 2024. Le village de Yoshino (吉野移民村) est le second village établi par l'autorité japonaise, en 1910, pour favoriser l'immigration à Taiwan. Le temple est un très rare exemple de temple japonais préservé.



Illustration 7.6: Parc Culturel Ferroviaire, Hualien. 11 juin 2024



Illustration 7.7: Parc Culturel Ferroviaire, Hualien. 11 juin 2024



Illustration 7.8: Parc Culturel Ferroviaire, Hualien. Renforcement provisoire. 11 juin 2024

Lors de notre visite, le directeur du bureau de la culture nous a fait un compte-rendu des mesures prises dans les jours qui ont suivis le séisme.

Le 3 avril, à 08h30, une demi-heure après le tremblement de terre, les dirigeants de l'office de la culture ont rejoint le centre de contrôle. Les propriétaires ou responsables des biens patrimoniaux ont commencé à envoyer des informations. Des agents du bureau culturel ont été affectés aux différentes zones impactées et envoyés sur les lieux pour étudier la situation et informer le centre de contrôle. Les notifications se sont faites en temps réel via une application de réseau social (Line). Et du centre local, les informations ont été transférées au centre de contrôle national.

Le lendemain 4 avril, des experts ont été désignés pour étudier les dégâts et faire une première évaluation des coûts.

Le 5 avril, un rapport a été envoyé au ministère de l'éducation avec une première proposition de budget.

Le 6 avril, une délégation du Bureau du Patrimoine Culturel de Taïwan (文化資產局), une agence du ministère de la culture est arrivée à Hualien. Elle a visité les sites le matin et l'après-midi, en réunion, une proposition de financement a été faite [des travaux d'urgence ?].

En cas de catastrophe naturelle, l'article 27 du CHPA, donne 30 jours aux propriétaires pour préparer un plan de restauration d'urgence et 6 mois pour préparer un plan de restauration. Si nécessaire, l'autorité compétente peut fournir son assistance.

On peut se demander pourquoi le processus a encore été accéléré et si la vitesse de réaction, nécessaire quand des vies sont à protéger, est un critère favorable à des interventions respectueuses sur le patrimoine historique.

Le directeur du bureau de la culture nous a expliqué que si les interventions sont si rapides après un désastre, c'est une question de budget : les fonds d'aide ne sont disponibles que pendant une courte période. En temps normal, les montants alloués au patrimoine proviennent du ministère de la culture et sont toujours inférieurs aux montants demandés. En cas de désastre, le financement est assuré par la Public Construction Commission, Executive Yuan (<https://www.pcc.gov.tw/pcc>). Les chances d'obtenir le nécessaire sont plus grandes et ne peuvent pas être manquées. Mais leurs critères d'appréciation sont différents : ils ne sont pas sensibles aux exigences liées au patrimoine culturel et analysent le budget seulement sur dossier.

Les experts convoqués sont membres d'une organisation professionnelle locale (association de protection du patrimoine. En temps normal, ils s'occupent du contrôle et de l'évaluation des sites. Le bureau du patrimoine culturel contrôle leur travail.

Les premiers versements concernent les travaux de renforcement d'urgence ; pour éviter des effondrements. C'est dans ce cadre que des supports provisoires ont été installés sur le site des bureaux du chemin de fer. Il semble que les fonds à long terme ont également été décidés en même temps. Mais, pour les travaux de restauration, ils arrivent au plus tôt après trois ans. Et deux ans ou plus sont encore nécessaires pour voir les travaux effectués. L'allocation de fonds n'est jamais garantie mais cette fois-ci, Hualien a obtenu la totalité des sommes demandées.

- 12,000,000NT\$ pour le Temple Yoshino (~ 338 000 €)
- 1,380,000NT\$ pour la Résidence du Procureur Général (~39 000 €)
- 56,000,000NT\$ pour le Parc Culturel Ferroviaire (~1 579 000 €)
- 715,000NT\$ pour le bureau des affaires culturelles (~ 20 000 €)

9 Gestion de l'urgence

9.1 Organismes intervenant dans la gestion de crise

Le travail mis en avant dans ce paragraphe, est une comparaison des différents systèmes de diagnostics d'urgence. Pour Taïwan, nous nous sommes basés sur la référence bibliographique [NCREE 2023] qui correspond à un travail de The National Center for Research on Earthquake Engineering (ci-après dénommé NCREE) mais aussi les rendez-vous que nous avons eu avec le CEOC (Central Emergency Operation Center) et NCDR (National Science and Technology Center for Disaster Reduction).

Le NCREE est constitué des chercheurs universitaires qui travaillent à des projets visant à améliorer les technologies sismiques et à réduire les pertes de vies humaines et de biens résultant des tremblements de terre. C'est un organisme à but non lucratif, un des 7 laboratoires du Narlabs (National applied research laboratories) qui sont subventionnés par le ministère de la science et de la technologie (National Science and Technology Council) pour promouvoir les

applications pratiques de la recherche dans les politiques publiques. Il met au point des ressources comme des méthodes d'évaluation de bâtiments et d'ouvrage ou des principes de dimensionnement. L'expertise professionnelle du NCREE est utilisée pour effectuer l'analyse et l'évaluation du séisme et formuler des recommandations pour faciliter les prises de décisions. Le NCREE possède aussi un laboratoire d'essais des structures de premier plan, pour ses besoins propres ou mis à disposition des acteurs économiques pour tester leurs produits. Le CEOC (Central Emergency Operational Center) dépend directement du ministère de l'intérieur via les pompiers (National Fire Agency, NFA). Il s'agit d'une structure de coordination des moyens et de prise de décision mise en place au niveau national pour chaque catastrophe majeure (Séisme de magnitude supérieure à 6 par exemple), dans le but d'appuyer l'échelon régional dans la gestion de crise. Il est présidé par le directeur du NFA, un ministre ou la présidence de Taïwan en fonction de l'ampleur de l'évènement. Il se réunit à Taipei dans une salle dédiée à la gestion de crise rassemblant des représentants de chaque organisme d'Etat impliqué (police, pompiers, transports, etc...) et est en liaison directe avec le centre d'opération d'urgence piloté par le gouvernement local (agence locale des pompiers) qui fait l'évaluation, des dégâts, fait remonter les besoins et coordonne le déploiement sur place des moyens. Le CEOC peut mobiliser les moyens nationaux (hélicoptères, équipes d'intervention interrégionales), et reste en place pendant la durée de la gestion de crise (une semaine dans le cas du séisme du 3 avril 2024). Une fois les opérations de recherche de victimes terminées, la remise en état des réseaux principaux et la démolition des ouvrages dangereux lancés, le CEOC est mis en veille. Il peut être réactivé en cas de réplique (ça a été le cas pour quelques heures lors de la réplique du 23 avril).

Le NCDR (National Science and Technology Center for Disaster Reduction) est un organisme public dépendant du ministère de l'intérieur en charge de mettre en œuvre la politique de prévention et de réduction des risques (risques naturels et technologiques). Il développe les outils opérationnels sur la base de l'alerte sismique de l'agence météorologique (Central Weather Agency, en charge du réseau sismologique) pour l'évaluation rapide des dommages. Il produit des cartes d'accélération et d'intensité (shakemaps, PGA), une représentation 3D de l'épicentre, des cartes de pertes estimées (logiciel TELES, similaire au logiciel HAZUS américain) et des consignes d'urgence. Il a en charge également les exercices de préparation au niveau national et soutien les exercices au niveau local (retour d'expérience, appui, concours photo).

L'articulation entre le CEOC, le NCDR et le NCREE est la suivante :

- Le CEOC, est une structure qui dépend directement du ministère de l'intérieur. Il est l'équivalent du COGIC pour la France (Centre opérationnel de gestion interministériel des crises). Il gère toutes les crises que ne peuvent être gérées au niveau des régions. Le CEOC a aussi différentes antennes sur le territoire Taïwanais de tel sorte à permettre une redondance, ces antennes sont au nombre de 4.
- Le NCDR a pour mission d'appuyer l'évaluation de l'information du Centre central d'opérations d'urgence (CEOC) lors d'une action d'intervention d'urgence. Il est situé dans le bâtiment du CEOC à Taipei. Le NCDR fait une compilation des informations météorologiques, hydrologiques et géologiques, des catastrophes. Les informations météorologiques sont fournies par la CWA (Central Weather Administration). Les informations hydrologiques sont fournies par WRA et CPAMI (Construction and Planning Agency, Ministry of the Interior). Les informations géologiques sont fournies par la SWCB (Soil and Water Conservation Bureau) et la DGH (Directorate General of Highways). Le NCDR est chargé de compiler ces données et d'en faire la synthèse pour fournir une aide à la décision et accompagner les opérations d'urgence.
- Le NCREE fait un accompagnement scientifique des structures nationales et étatiques. Il est très proche de ce que pourrait être un laboratoire universitaire, également en termes de constitution car nous avons rencontré plusieurs universitaires qui en faisaient partie. Il peut être assimilé à un centre de ressources.

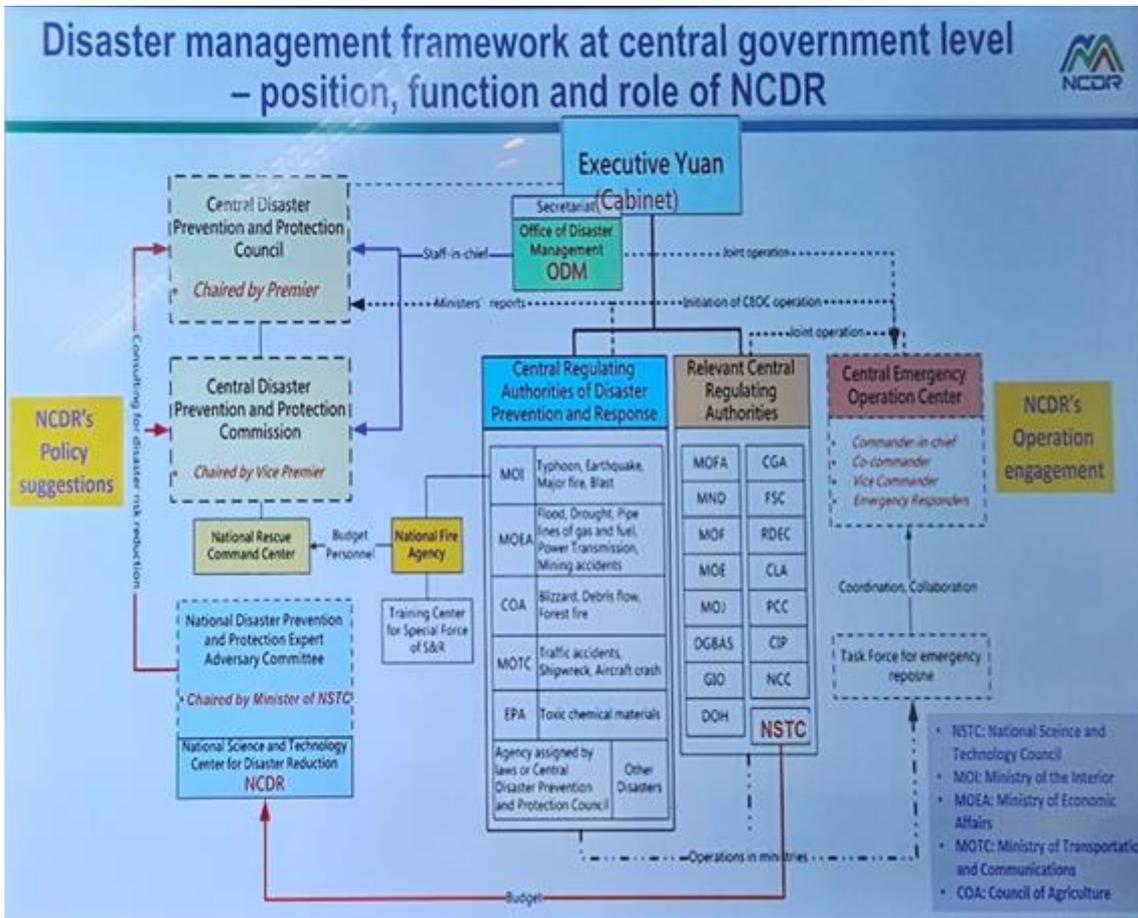


Illustration 9.1-1. Interconnexion entre NCDR et CEOC

Il est important de noter cependant que la gestion de crise est d'abord une prérogative des gouvernements locaux qui ont leur propre centre d'opération au niveau du Comté, opéré par l'agence locale des pompiers (Emergency Operational Center, EOC). Le CEOC et les institutions centrales interviennent en appui. Néanmoins, les observations de terrain, essentielles à l'évaluation des besoins réels, sont fait par les services locaux (police, pompiers, services de l'équipement, etc...) qui font remonter l'information via la plateforme développée et maintenue par le NCDR (photos, texte, données).

Les diagnostics d'urgence post sismique sont réalisés par les ingénieurs civils locaux en priorité. Ils sont organisés par deux associations professionnelles, qui reçoivent les demandes et les répartissent, et mobilisent les inspecteurs. En cas de besoin des ingénieurs du secteur privé peuvent être mobilisés. Un système d'habilitation au diagnostic est en place, a priori géré par les associations professionnelles, mais reconnu par le ministère de l'intérieur. Ces experts sont amenés à faire des recommandations pour les interventions d'urgence (confortement d'urgence, démolition, accompagnement des équipes de recherche de victime). La démolition des bâtiments endommagés, ou leur réparation lorsque c'est possible, est de la responsabilité du maître d'ouvrage.

9.2 Gestion de crise

Lors d'un séisme important, le CEOC est mobilisé en fonction des dommages estimés aux bâtiments et infrastructures. Pour les séismes de faible intensité ou les catastrophe de faible importance (ne nécessitant pas de ressource nationale), la gestion de crise est assurée en local. Pour les séismes importants, la gestion de crise locale fait un reporting au CEOC, en mode standard.

Pour les séismes de magnitude supérieure à 6, le CEOC est présidé par le président de Taïwan. Le CEOC peut s'appuyer sur un réseau d'environ 600 bureaux locaux.

Le CEOC coordonne les activités au niveau national pour l'ensemble des acteurs et peut mobiliser les moyens d'intervention nationaux ainsi que les dispositifs de secours inter-régionaux.

Le gouvernement local met en place un centre de crise local (niveau Comté) pour gérer la crise. Au fur et à mesure que les informations remontent de l'échelle locale sur le nombre de bâtiments endommagés et le nombre de victimes, les moyens sont adaptés.



Illustration 9.2-1. Salle de gestion opérationnelle de crise du CEOC, National Fire Agency, Taipei



Illustration 9.2-2. Salle de gestion opérationnelle de la crise, EOC, Pompiers de Hualien

9.3 Déroulement de la gestion de crise lors du séisme de Hualien

Les premiers rapports sont générés très rapidement, de l'ordre de 5 minutes après l'événement (alerte sismique de la CWA), sur la base des données compilées par le NCDR.

Tremblement de terre de Hualien le 3 avril 2024, exemple d'informations reçues concernant les risques de Tsunami

Heure de sortie : 08h11 le 3 avril, 113e année de la République de Chine
Contenu du message : À 07h58 le 3 avril 113 (heure de Taïwan).

Contenu du message : Alerte au un tremblement de terre d'une magnitude de 7,2 s'est produit dans les eaux orientales de Taïwan. L'épicentre était situé à 121,67 degrés de longitude est et 23,77 degrés de latitude nord. Le tremblement de terre pourrait déclencher un tsunami qui affecterait Taïwan. Une alerte au tsunami est émise pour rappeler aux habitants des zones côtières d'être vigilants, de prendre des précautions strictes et de prêter attention aux dangers causés par les vagues soudaines.

Zone d'alerte	Heure d'arrivée estimée	Amplitude estimée
Zones côtières orientales	04/03 07:59	Moins de 1 mètre
Zones côtières du sud-est	04/03 08:10	Moins de 1 mètre
Chine Zones côtières du nord-est	04/03 08:13	Moins de 1 mètre
zones côtières du nord	04/03 08:39	Moins de 1 mètre
zone côtière du sud-ouest	04/03 08:54	Moins de 1 mètre

Station	Heure d'arrivée du Tsunami	amplitude
Hualien	04/03 08h30	27 cm
Yilan Suao	04/03 08:33	43 cm
Nouveau Taipei Longdong	04/03 08:35	22 cm
Port de Chiayi	04/03 08:49	21 cm
Taitung	04/03 08:52	54 cm
Yilan Wushi	04/03 09:12	82 cm

Heure de sortie : 11h10 le 3 avril, 113e année de la République de Chine
04/03 08:13

Contenu du message : Selon les observations de la station de marée de l'Administration météorologique centrale, les vagues du tsunami ont progressivement atteint la côte. Il est déterminé que la menace de tsunami a été éliminée, l'alerte au tsunami est donc levée.

Illustration 9.3-1. Exemple de successions de messages pour la partie Tsunami après 13 minutes

13 minutes après l'événement, le CEOC avaient toutes les informations sur le possible tsunami et les niveaux de vagues potentielles. Sur la figure 1, dans le tableau du bas sont indiquées les informations potentielles sur le tsunami et à droite les valeurs mesurées avec une très bonne correspondance.

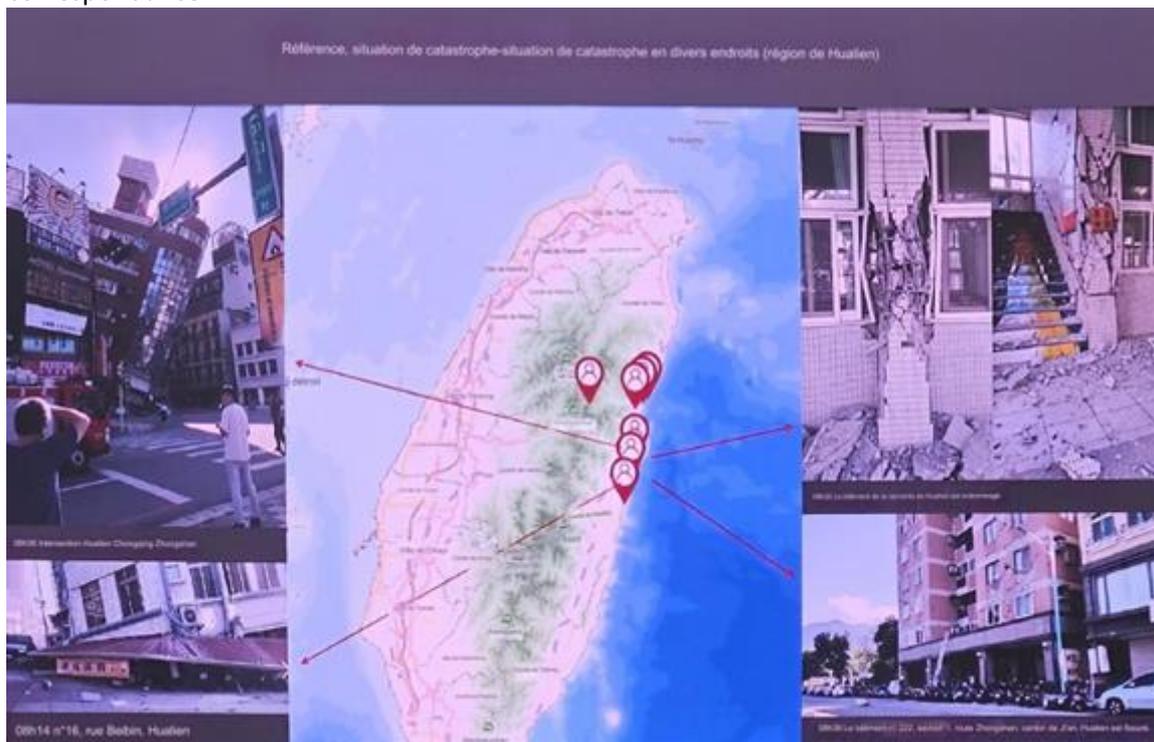


Illustration 9.3-2. Informations reçues par le CEOC après l'événement.

Dans les 25 minutes qui ont suivies l'événement, le gouvernement était informé de l'effondrement de deux bâtiments à Hualien.

De plus, 70 militaires experts en intervention d'urgence au sud de Taïwan et 5 équipes cynophiles de recherche étaient mobilisés et disponibles pour aller sur le site et aider en cas de besoin. Ils ont été déployés à partir de Kaoshiung (Sud de Taïwan).

Au début de l'événement, toutes les communications téléphoniques avec le parc de Taroko ont été coupées, un dispositif mobile d'urgence a alors été déployé pour rétablir les communications.

Selon les besoins remontés à partir des bureaux locaux, les secours sont déplacés à l'aide d'avion ou hélicoptère.

En moins de 30 minutes, les premières photos provenaient du site de Hualien. À ce moment-là, l'information comme quoi une seule personne est décédée en allant rechercher son chat dans un bâtiment effondré. Dans l'heure qui suit d'autres photos et informations de terrain viennent compléter l'évaluation de la situation.

Les échanges entre acteurs sont gérés via le système Emergency Management Information Cloud (EMIC) qui permet à chaque acteur local de mettre à disposition ses observations (dommages, victimes, etc...) et au CEOC de demander des compléments si besoin.

Dans le cas de ce séisme, la plupart des victimes se trouvaient dans le parc du Taroko. L'information sur le nombre de victimes et leur identité a nécessité plus de temps.

Autres informations :

- 372947 logements ont été coupés du réseau électrique, qui a été rétabli en 1 semaine.
- 523 logements ont perdu leur accès au gaz, la distribution a repris en moins d'une semaine.
- Une alerte SMS est envoyée dans toute la zone dans laquelle l'intensité estimée de l'événement est supérieure à 4.

- Pour faciliter les automatismes, des exercices grandeur nature de gestion de crise, associant les écoles, sont réalisés chaque année le 21/9 (jour du séisme de Chi-Chi en 1999), en ciblant une région en particulier. Les écoles effectuent un exercice de protection/évacuation et postent une photo pour un concours avec récompense. En 2023, l'exercice a mobilisé 3 millions de participants.

Le CEOC organise aussi un soutien psychologique aux acteurs de la gestion de crise avec une ligne téléphonique dédiée. Une carte dynamique des appels au numéro d'urgence est produite. Les gouvernements locaux ont la responsabilité d'organiser le relogement, le diagnostic d'urgence, par leurs agents ou des ingénieurs mobilisés. Le National Construction Bureau peut aider à fournir des moyens humains. Lors des opérations de recherche de victime et les équipes de sauveteurs sont accompagnés d'un ingénieur/technicien structure. Le CEOC peut mobiliser des moyens nationaux (déblaiement, génie, etc...). En cas de crise, les habitants sont encouragés à rejoindre un abri adapté, puis à chercher une solution temporaire (amis, famille). Une application pour téléphones Android ou iPhone (Readiness TW e-APP) existe; elle donne une série de renseignements utiles en cas de désastre, dont la position des abris proches. Sans solution temporaire, l'hébergement d'une semaine en hôtel est assuré par le gouvernement. Certains peuvent rester aussi dans les abris d'urgence.

Taiwan bénéficie de trois systèmes d'alerte précoce (Earthquake Early Warning System) gérés par l'agence de météorologie (Central Weather Bureau), l'université nationale de Taiwan (NTU) et le NCREC. Le système du CWB, à échelle nationale, est en opération depuis 2016 à destination du public pour l'informer de la survenue des séismes. Ces alertes sont également utilisées pour stopper les lignes de trains à grande vitesse et pour la sécurité de certaines installations sensibles (centrales nucléaires, usines de production de semi-conducteurs). Les alertes ont bien été émises pour le séisme du 3 avril 2024 et ses répliques les plus fortes. Des sociétés privées proposent également des systèmes d'alerte précoce complémentaires à l'alerte officielle, à destination de clients privés pour la sécurisation des systèmes de production industrielle ou pour certains bâtiments de grande hauteur.

10 La réduction de la vulnérabilité et le renforcement

10.1 Quelques systèmes de renforcements

La ville Hualien a vu certains de leurs immeubles subir des dégâts modérés nécessitant des réparations. Ces réparations sont notamment concernées des dommages qui ne compromettent pas la solidité. Dans la plupart des cas, l'immeuble peut être réutilisable et ne nécessite que des réparations (Illustration 10.1-1). En outre, il est important de prendre les dispositions de réparation nécessaires en cas de dommages non structuraux compromettant le fonctionnement des structures stratégiques et indispensables à la gestion de crise, comme cela a été le cas, à l'Hôpital Hualien (exemple : Illustration 10.1-2).

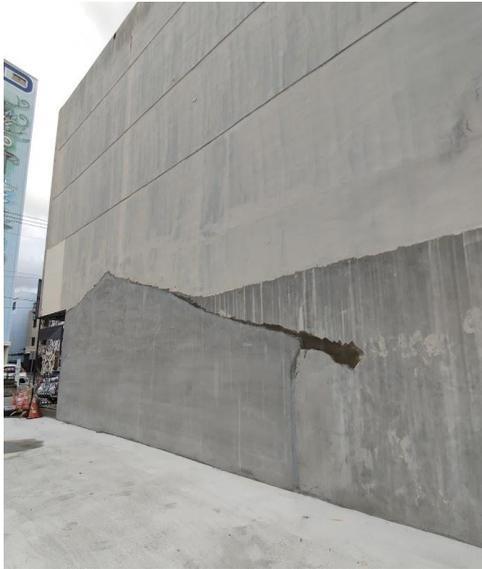


Illustration 10.1-1. Fissures réparées à la résine époxy sur le parement d'un immeuble d'habitation à Hualien



Illustration 10.1-2. Couvre-joint sismique entre bâtiments à l'Hôpital Hualien réparé pour le passage des services de secours

De nombreux bâtiments ont fait l'objet de réparation à la suite de séismes récents. D'autres ont été renforcés lors de travaux de réhabilitation ou dans le cadre de programmes publics. Il est ainsi possible de voir un grand nombre de systèmes de renforcement mis en œuvre sur des bâtiments variés.

Renfort de structure béton armé

Certains bâtiments à structure en portique en béton armé faiblement endommagés (fissures) lors de séismes précédents ont été renforcés par un chemisage en béton armé, surtout au niveau du rez-de-chaussée. C'est le cas notamment d'un bâtiment d'habitation à New Taipei City, proche de l'immeuble très touché (illustration 5.3-5). Le bâtiment renforcé avait été endommagé en 2006. Certains immeubles immédiatement voisins avaient été démolis et reconstruit. Lors du séisme du 3 avril, l'immeuble renforcé n'a subi aucun dommage.



Illustration 10.1-3. Immeuble renforcé par chemisage béton des poteaux et des poutres du RDC



Illustration 10.1-4. Détail du chemisage, le changement de section de la poutre est visible.

Le bâtiment de la banque MegaBank de Hualien a été renforcé peu avant le séisme (2022). Les renforts par chemisage des portiques sont visibles sur le pignon arrière sur les 5 premiers niveaux. Côté rue, des renforts métalliques à deux diagonales ont été disposés au RDC pour préserver la coursive (entrée). L'immeuble n'a pas subi de dommage lors du séisme de 2024, malgré sa position très proche de la faille.



Illustration 10.1-5. Immeuble renforcé par chemisage béton des portiques des niveaux inférieurs



Illustration 10.1-6. Renfort par des diagonales métalliques côté rue.

Structure acier

Lors de la mission, il a été constaté que des bâtiments existants à ossature en béton armé qui ont fait l'objet de renforcements parasismiques par ajout d'un contreventement externe se sont bien comportés structurellement lors du séisme (Illustration 10.1-7). En effet, ce renforcement assure la reprise des efforts sismiques et les transfère vers des fondations dédiées ou renforcées. Cette méthode de renforcement à l'extérieur des bâtiments est une solution pratique pour des raisons évidentes de mise en œuvre. Toutefois, une attention particulière doit être portée quant aux liaisons à l'existant. Illustration 10.1-8 montre un dispositif de renforcement BRB (Buckling Restraint Brace) constitué d'un élément diagonal en acier enrobé de béton à l'égard du risque de flambement du contreventement pour le renforcement des niveaux transparents à l'intérieur du bâtiment.



Illustration 10.1-7. Structure de renfort disposée sur la façade



Illustration 10.1-8. Structure de renfort à l'intérieur du bâtiment (lobby de l'hôtel)

Système de dissipation d'énergie

Beaucoup de bâtiments récents à Taipei, construits en ossature métallique ou mixte (poteaux en profil creux en acier rempli de béton) sont équipés d'amortisseurs diagonaux. Différents systèmes sont présents (à fluide, à frottement). Aucun dommage n'a été constaté sur ces structures. Les amortisseurs sont généralement prévus à la conception. Il est à souligner que le dispositif dissipant l'énergie par viscosité (vérin) devrait être protégé contre l'incendie pour les locaux dont un risque d'incendie est identifié eu égard à la température d'application limitée des fluides à haute viscosité utilisées dans ce dispositif.

A Hualien, différents types de dissipateurs d'énergie, destinés au renforcement des structures en béton ont été observés. Il s'agit de dispositifs dissipant l'énergie par déformation (Illustration 10.1-11) ou par viscosité (vérin, Illustration 10.1-12), reliés à la structure en béton au niveau des planchers via une structure métallique en façade. S'agissant des dispositifs dissipant l'énergie par déformation, ils sont constitués d'une zone faible qui peut avoir un comportement de fusible dissipatif. Quant aux dispositifs dissipant l'énergie par viscosité, il s'agit des dispositifs hydrauliques qui dissipent l'énergie cinétique du séisme. Les immeubles concernés n'ont semble-t-il pas été endommagés.



Illustration 10.1-9. Amortisseurs diagonaux à friction du bâtiment du NCRE



Illustration 10.1-10. Immeuble du NCDR, les amortisseurs sont visibles au R+1et au R+4

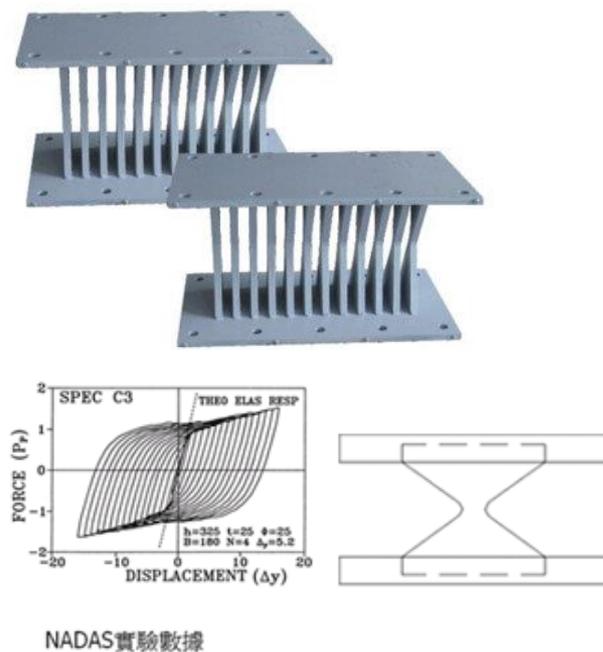


Illustration 10.1-11. Renforcement métallique dissipant l'énergie par déformation (à gauche) et son schéma du fonctionnement pour le dispositif de NADAS Yielding Energy Dissipation Device (à droite)

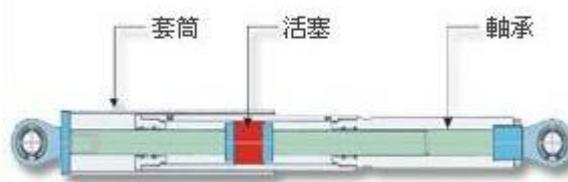
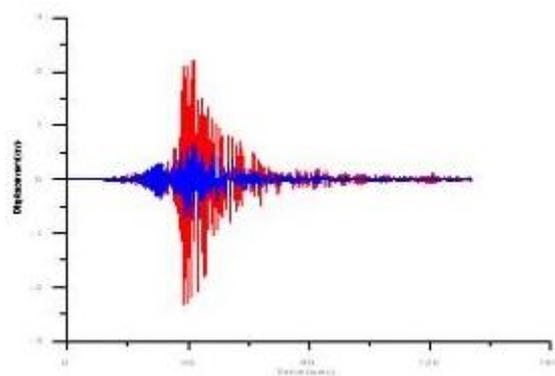


Illustration 10.1-12. Système de dissipation à vérin (à gauche) et son principe de fonctionnement (à droite), Source : [新康卓科技股份有限公司 - Fluid Viscous Damper \(FVD\) \(nctdamper.com\)](http://nctdamper.com)

Isolation à la base

L'article de [Wang&Yu, 2024] a analysé la performance de 19 bâtiments isolés à la base, situés principalement à Taipei et Hualien, lors du séisme de 2024, dont l'hôpital He Xin de Hualien décrit au paragraphe 4.5 du présent rapport de mission. Quelques désordres essentiellement dus à la compatibilité des déplacements de la structure avec son environnement ont été relevés, mais le bâtiment est resté opérationnel. L'article présente les accélérations mesurées à différents niveaux, qui montrent bien l'effet de l'isolation. Le complexe de l'Hôpital He Xin comprenant de bâtiments avec des structures très différentes et des systèmes de renforcement différents, il est possible de comparer les avantages et inconvénients des différentes solutions.

10.2 Programme de renforcement des écoles, et des bâtiments publics

Un des intérêts de la mission post-sismique dans la région de Taïwan était de pouvoir constater l'effet de politiques de renforcement des bâtiments. Suite au séisme de Chi-Chi en 1999, Taïwan s'est doté d'une politique de diagnostic et de renforcement des bâtiments publics, en particulier les écoles. Les entretiens avec le NCREE et le NCDR ont permis de préciser l'étendue de ces actions, et leur organisation dans le temps. Le retour d'expérience du séisme de ChiChi 99 et du séisme du 3 avril 2024 sur les équipements et les éléments non structuraux des hôpitaux a aussi été valorisé. En 1999, 1000 lits étaient indisponibles à l'hôpital de Nantou à cause des chutes de faux plafonds, parement, perte des groupes électrogènes. En 2024, les dommages ont été très limités, les hôpitaux ont continués à fonctionner normalement, grâce au programme d'évaluation de la vulnérabilité, et de renforcement des hôpitaux qui a été mis en place entre 2000 et 2021, pour conférer aux bâtiments une résistance au séisme de période de retour 475 ans, avec un coefficient d'importance de 1.5, et déployer des mesures constructives pour les faux plafonds (renforts des profilés, câbles de maintien). Certains bâtiments ont vu leur structure renforcée ou ont été mis sur isolateurs.

Lors d'un entretien avec la NCREE, les ingénieurs taiwanais ont indiqué que la plupart des bâtiments publics de Taïwan, comme des écoles ou des bâtiments d'administration publique, sont généralement suffisamment résistants aux séismes ou ont été renforcés dans le passé.

En particulier pour les bâtiments scolaires, les observations faites lors des tremblements de terre de Ruei-Li, Chi-Chi et Chai-Yi, ont montré que les dommages subis par ces structures ont été les plus graves de tous les types de bâtiments. Pour cela, le ministère de l'éducation de Taïwan avait mis en œuvre un vaste programme d'amélioration de la performance sismique des écoles primaires et secondaires, basé sur une stratégie proposée par le NCREE. Cette stratégie d'évaluation et renforcement sismique visait à la modernisation des bâtiments scolaires existants de moyenne hauteur en béton armé en trois étapes. Elle est basée sur les types structurels courants, la résistance sismique, possibles modes de défaillance et des observations expérimentales [Tsai et al, 2008]. Les trois étapes sont les suivantes :

- Examen rapide pour identifier les bâtiments à haut risque : Le gouvernement central fournit des fonds aux juridictions locales pour effectuer un diagnostic rapide des structures en béton armé dépassant un certain nombre d'étages et dont les permis de construire ont été délivrés avant la fin de l'année 1999.

- Évaluations sismiques obligatoires : Tous les bâtiments identifiés comme étant à haut risque par un examen rapide, ainsi que les bâtiments privés à usage public dont les permis de construire ont été délivrés avant le 31 décembre 1999, doivent faire l'objet d'une évaluation des risques sismiques.

- Renforcement et reconstruction sismiques : Pour toutes les structures considérées comme présentant un risque de dommages sismiques, le gouvernement fournit des conseils complets en matière de modernisation, encourage la rénovation urbaine ou accélère la reconstruction (la priorité étant donnée aux bâtiments anciens et dangereux). Au cours de la phase de planification des travaux de rénovation ou de reconstruction, le gouvernement offre également des subventions pour les renforcements partiels dans un premier temps.

En ce qui concerne les immeubles de grande hauteur, selon ingénieurs taiwanais du NCREE ces structures sont généralement moins vulnérables aux effets des tremblements de terre et ne représentent pas une grande vulnérabilité sismique.

Les bâtiments privés de hauteur moyenne, généralement de 4 à 6 étages, constituent le groupe de risque sismique le plus important en dehors des bâtiments publics. Ces constructions disposent souvent de bureaux ouverts ou de surfaces de vente ouverts au rez-de-chaussée, avec un contreventement souvent nettement inférieur aux étages supérieurs (« soft story »), augmentant ultérieurement la vulnérabilité sismique. En outre, pour des bâtiments de 4 à 6 étages avec une hauteur estimée entre 12 et 18 mètres, la plage de période propre probable est comprise entre 0,5 et 0,65 secondes, correspond aux pics d'amplification du signal sismique relevés dans les spectres horizontaux mesurés.

Après le séisme Kaohsiung Meinong du 6 février 2016 par exemple, beaucoup de dégâts et effondrements liés à cette typologie structurale ont été observés.



Illustration 10.2-1. Exemple de construction avec un rez de chaussée souple. Source: Seismic preliminary evaluation of low-rise residential buildings in Taiwan, Tsung-Chih Chiou, Yaw-Shen Tu, Wen-Cheng Shen, Pu-Weng Weng, Shyh-Jiann Hwang, Lap-Loi Chung, NCREE 2016

Ces bâtiments sont souvent divisés entre plusieurs propriétaires, ce qui rend un renforcement uniforme et conséquent de ces structures difficile. Selon le NCREE, il existe des subventions publiques pour encourager le renforcement sismique de ces bâtiments privés, mais malgré cela, de nombreux ouvrages de ce type n'ont toujours pas été renforcés.

11 Conclusions

Après la survenue du séisme du 3 avril 2024, le conseil de l'AFPS a décidé de lancer une mission post-sismique à Taiwan. Un grand nombre d'observations de terrain ont pu être réalisées lors de la mission, tant sur des bâtiments, les infrastructures et l'environnement. De nombreuses rencontres avec les acteurs locaux et nationaux ont permis également de mieux comprendre l'organisation de la gestion de crise, qui s'est traduite par une reprise très rapide de l'activité, malgré la sévérité de l'évènement sismique.

La mission retient particulièrement les enseignements suivants :

- La gouvernance des risques et la gestion de crise sont très efficaces, et régulièrement mis à l'épreuve par les catastrophes naturelles qui frappent régulièrement l'île (Typhon, séismes), ce qui explique en grande partie la remise en fonction rapide des infrastructures principales. Il a aussi été constaté qu'il existe une grosse marge de sécurité pour les infrastructures de réseau critiques en cas d'évènement extrême, conféré par le dimensionnement selon des normes régulièrement remises à jour, un système d'ouvrage de protection efficace, et une organisation générale favorisant la redondance, qui contribue à la résilience globale des réseaux. Cela facilite l'organisation des secours et limite la durée de la phase gestion de crise.
- Concernant le bâti, le développement urbain rapide de ces dernières décennies dans l'est de Taiwan, et la rareté du foncier expliquent à la fois le faible nombre de bâtiments anciens, et le grand nombre de construction « modernes » conçues en tenant compte des sollicitations sismiques. Les bâtiments courants qui ont le plus souffert du séisme du 3 avril présentent souvent des défauts de construction combinés à une mauvaise conception. La survenue régulière de séisme dont l'intensité entraîne des dommages aux structures, fait que les ouvrages les plus vulnérables ont été réparés ou détruit précédemment. Le patrimoine historique local est limité, il est surtout constitué de

structures en bois et les dégâts observés sont peu nombreux. Ils se concentrent sur des structures moins bien entretenues ou qui ont subi des modifications au cours de leur existence.

Un point marquant est l'efficacité du renforcement des bâtiments existants, dont un grand nombre d'exemple ont pu être observés. La politique de renforcement systématique des écoles, lancées après le séisme de 1999, se révèle performante, et s'étend, plus lentement aux autres ouvrages publics, voire à certains ouvrages privés. Enfin les appuis parasismiques se sont révélés très utiles pour maintenir l'opérationnalité de l'hôpital principal de Hualien, pourtant situé dans une zone où l'accélération sismique était très forte. Il s'agit d'un facteur important pour contribuer à la bonne exécution des opérations de secours.

Au regard des objectifs fixés dans la lettre de mission, on retiendra que :

- de nombreuses données sont accessibles sur les mouvements sismiques mesurés lors du séisme, y compris à proximité des sites observés, ce qui aide à l'interprétation.
- la réglementation parasismique taïwanaise est très avancée, et repose sur des techniques éprouvées et le retour d'expérience des nombreux séismes qui touchent l'île.
- les mesures de prévention sismique ont été fortement développées suite au séisme de 1999, ce qui s'est traduit par une prise de conscience plus grande du risque, une amélioration de la gouvernance, un développement des normes et des techniques de constructions parasismiques et des plans de renforcement de grande ampleur des infrastructures et des établissements scolaires.
- du fait de sa géographie, l'île de Taïwan est fréquemment exposée aux catastrophes naturelles, les constructions et les infrastructures, autant que la gouvernance et les outils de la gestion de crise intègrent une dimension multirisque et valorisent les solutions efficaces pour les différents types d'évènements.
- la phase de gestion de crise a été très courte, les décisions sont prises rapidement quant au traitement des ouvrages endommagés. L'articulation entre la gestion au niveau locale, au plus près des besoins, et la coordination nationale des moyens semble avoir largement contribué au retour rapide à la normale, même dans les zones les plus touchés.
- des petits bâtiments et des maisons individuelles ont subi peu de dommages, au regard de leur nombre. Le phénomène de transparence au rez-de-chaussée reste un facteur de vulnérabilité courant, du fait de la forte urbanisation de l'île, avec de très nombreux commerces de proximité.
- les grands ouvrages : hôpitaux, immeubles, ponts, grands ouvrages, sont dimensionnés et réalisés selon des normes de construction qui garantissent une robustesse et un coefficient de sécurité important même pour des séismes de forte intensité.
- Les réseaux et les installations industrielles ont bien résisté dans l'ensemble, malgré la difficulté que représente la géographie de la côte Est de l'île.
- les éléments non structuraux et les équipements ont subi des dommages, au moins dans certains bâtiments, mais la gestion de crise conduit à nettoyer et remplacer très rapidement ces éléments, ce qui n'a pas permis l'observation directe des dommages dans la plupart des cas. Il semble que ce séisme montre que si la structure des bâtiments est résistante, et la gestion de crise efficace, les dommages au second œuvre et aux équipements peuvent être rapidement réparés.
- le bâti historique et le patrimoine est assez peu représenté dans la partie la plus touchée de Taïwan, mais quelques observations ont été faites. La politique de préservation du patrimoine étant moins développée à Taïwan qu'en Europe, la question du comportement des bâtiments très anciens est assez peu étudiée localement.

Des fiches spécifiques pour chaque bâtiment visité lors de la mission sont données en annexe, en complément des analyses plus générales indiquées dans le corps de texte. Elles présentent la localisation du bâtiment et des photos des principaux dommages observés.

Enfin les membres de la mission ont apprécié l'ambiance agréable de l'équipe de terrain, l'excellent accueil qui nous a été réservé, la très grande disponibilité des contacts locaux et la volonté de partager leur expérience des acteurs de terrain rencontrés. Ce sont des facteurs indispensables pour la réussite des missions de terrain post-sismiques.

12 Références

Academia Sinica, Data Management Center, Institute of Earth Sciences (IESDMC) <https://dmc.earth.sinica.edu.tw/>

Amae, Yoshihisa, 2011, "Pro-colonial or Postcolonial? Appropriation of Japanese Colonial Heritage in Present-day Taiwan", *Journal of Current Chinese Affairs*, 40, 1, 19-62

Beyreuther, M. et al, 2010. "ObsPy: A Python Toolbox for Seismology", *Seismological Research Letters*, 81(3), 530-533

Central Weather Administration, Seismological Center. <https://scweb.cwb.gov.tw/en-US>

Central Weather Administration, Taiwan Geophysical Database Management System <https://gdms.cwa.gov.tw/>

Chai, J.F, Tseng, T.J, Tsai, K.C., 2009. Development of seismic force requirements for buildings in Taiwan, *Earthq Eng & Eng Vib* (2009) 8: 349-358

J.-F. Chai & T.-J. Ten., Seismic Design Force for Buildings in Taiwan, National Center for Research on Earthquake Engineering, Taiwan, 15. WCEE, Lisboa 2012 Chang, W.Y., Chen, KP. & Tsai, Y.B, 2016. An updated and refined catalog of earthquakes in Taiwan (1900–2014) with homogenized M_w magnitudes. *Earth Planet Sp* 68, 45 (2016). <https://doi.org/10.1186/s40623-016-0414-4>

Chu, Tyan-Ming et al, 2021. Benefits of Defining Geological Sensitive Zones in the Mitigation of Disasters Along Earthquake Fault Zones in Taiwan – The Case of Mi-Lun Fault. *Journal of Disaster Research* 16(8)

Dillingham, Reed and Dillingham, Chang-Lin, 1971. A survey of traditional architecture of Taiwan, Center for Housing and Urban Research, Tunghai University, Taichung

Geological Survey and Mining Management Agency (GSMMA), Ministry of Economics Affairs, 2024. Carte géologique des zones de failles actives (活動斷層條帶地質圖). https://fault.gsmma.gov.tw/About/Map_pics?page=3

Lee and Tsai, 2008. Mapping Vs30 in Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 19, No. 6, 671-682, December 2008

Liu, 2022, An Online Query Service for Seismic Design Response Spectra Based on the Taiwan Building Code: Sederes Hsun-Jen Liu¹, Xue-Min Lu², Yu-Wen Chang³, and Wen-Yu Jean³, 2022 NCREC Research Programs and Accomplishments

Manthorpe, Jonathan, 2005. *Forbidden Nation. The History of Taiwan*. Palgrave Macmillan, New-York and Houndmills

Ministry of Culture, 2003. Cultural Heritage Preservation Act. <https://law.moj.gov.tw/ENG/LawClass/LawAll.aspx?pcode=H0170001>

Ministry of Interior, 2022. Building Act. <https://law.moj.gov.tw/ENG/LawClass/LawAll.aspx?pcode=D0070109>

Ministry of Interior, 2022. Disaster Prevention and Protection Act. <https://law.moj.gov.tw/ENG/LawClass/LawAll.aspx?pcode=D0120014>

NCDR, 2024. 0403 Hualien Earthquake 4th Impacts Assessment Report, Central Emergency Operation Center National Science and Technology Center for Disaster Reduction 2024.04.0409:00

NCREE, 2005. Seismic Design Code for Buildings in Taiwan.

NCREE, 2024. Chung-Che Chou, Chiun-Lin Wu, Juin-Fu Chai, George C. Yao, NCREE, Taiwan April 05, 2024, Summary Report of Hualien Earthquake in Taiwan on April 3, 2024 (first edition, v1.0)

NCREE, 2024, Chou et al., v2, 2024. Summary Report of Hualien Earthquake in Taiwan on April 3, 2024 (2nd edition, V2.0), 25 avril 2024

NCREE, 2024b. Taiwan Earthquake Loss Estimation (TELES). <https://teles.ncree.org.tw/>

NSC, 2024: Seismic Safety Regulations for the NPPs in Taiwan, Nuclear Regulation Office, Nuclear Safety Commission, June 13, 2024

Rubinstein, Murray A. (ed.), 1998. Taiwan: A New History, Routledge

Suzuki, 2024. 2024年4月3日台湾花蓮地震 被害調查報告 (速報) 2024年4月11日

Tsai, K-C, Hwang, S-J, 2008. Seismic retrofit program for Taiwan school buildings after 1999 Chi-Chi earthquake, 14 WCEE, 2008, Beijing, China

Tsai, Yi-Ben, 1985, "A study of disastrous earthquakes in Taiwan, 1683-1895", Bulletin of the Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, vol.5, 1985, pp. 1-44

Wang, J.H., 2024. A Catalogue of Historical and Instrumentally-Recorded $M_s \geq 7$ Earthquakes in Taiwan. 3(2): 41–59. DOI: <https://doi.org/10.36956/eps.v3i2.1061>

Wang, S.J, Yu, C.H, 2024. Performance of Seismically Isolated Structures during the Mw 7.4, Hualien, Taiwan, Earthquake on April 3, 2024, ASSISi, 06/03/2024

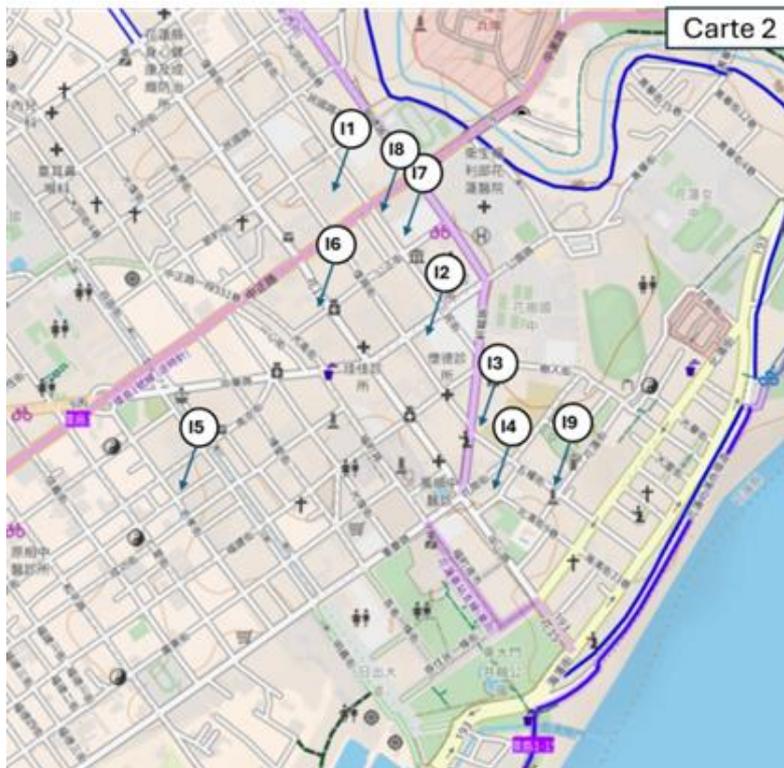
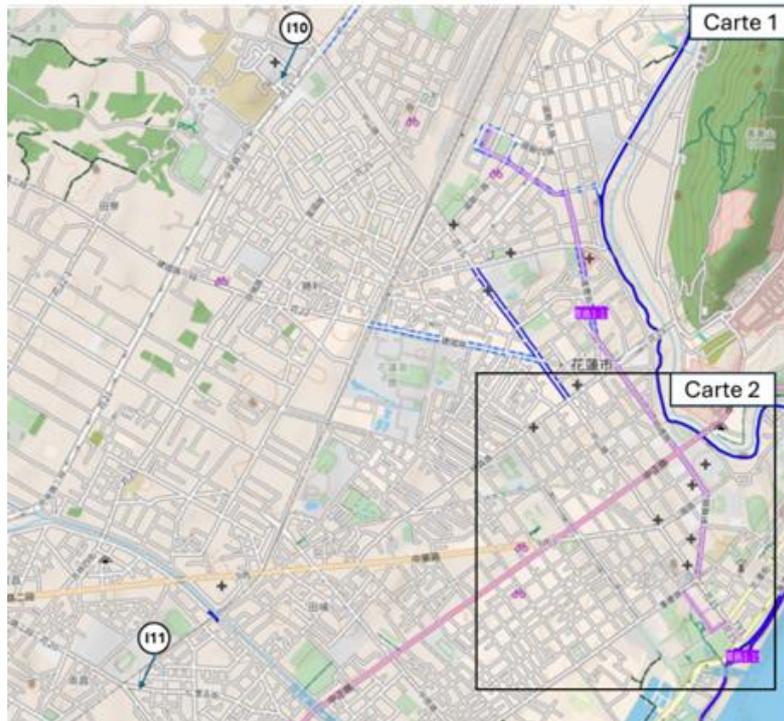
Yamada et al., 2020. Shallow Subsurface Structure in the Hualien Basin and Relevance to the Damage Pattern and Fault Rupture during the 2018 Hualien Earthquake, BSSA, vol 110, dec 2020

13 Annexes

Le présent rapport est complété par l'Annexe 1 : Fiches bâtiment, qui contient les fiches descriptives des bâtiments visités ainsi qu'un registre photographique, et par l'Annexe 2 : Spectres de réponse, qui présente les spectres de réponse en accélération obtenus à partir des enregistrements des stations situées à Tapei et à Hualien.

Annexe 1 : Fiches bâtiment

Liste des bâtiments visités



Référence : I1

Date de visite	10/06/2024
Usage	hôtel
Type de structure	Structure principale métallique enrobée de béton armé et remplissage en béton.
Nombre d'étages	21, partie arrière et équivalent 5 niveaux partie avant.
Problème principal	Création d'un point dure avec le bâtiment plus bas.
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	86 m x 66 m, année de construction 2017
Localisation	23.979007004272603, 121.6093988218956
adresse	No. 599, Zhongzheng Rd, Hualien City, Hualien County, 97061
Visite 3D	Oui, R0010302 à 311
Photos	20240610_104152.jpg à 20240610_110822.jpg



Référence : I2

Date de visite	10/06/2024
Usage	Bureaux
Type de structure	Structure renforcée après 2022 par portique et par renforcement béton
Nombre d'étages	7
Problème principal	Pas de problème, structure renforcée
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	Pas de données
Localisation	23.97683333333333, 121.6106944444444
Adresse	26-34, Gongyuan Rd, Hualien City, Hualien County, 970
Vue 3D	non
Photos	20240610_112405.jpg à 20240610_112644.jpg



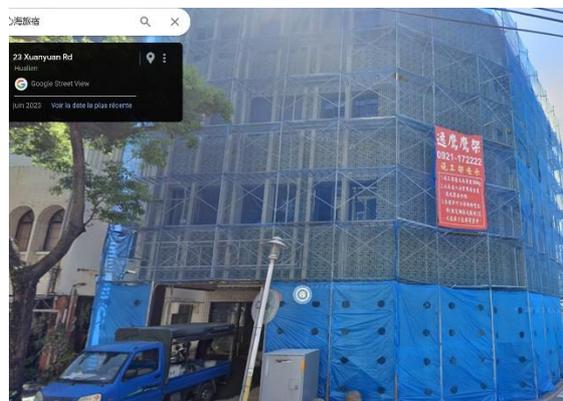
Google street view juin 2023



Google street view juin 2024

Référence : I3

Date de visite	10/06/2024
Usage	Bureau
Type de structure	
Nombre d'étages	4
Problème principal	Mise en sécurité temporaire
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	Bâtiment réhabilité en juin 2023
Localisation	23.975359082427794, 121.61182795919714
adresse	970, Hualien County, Hualien City, Xuanyuan Rd,
3D	Oui, R0010324 à R0010326
Photos	20240610_113705.jpg 20240610_145216.jpg à 20240610_145408.jpg

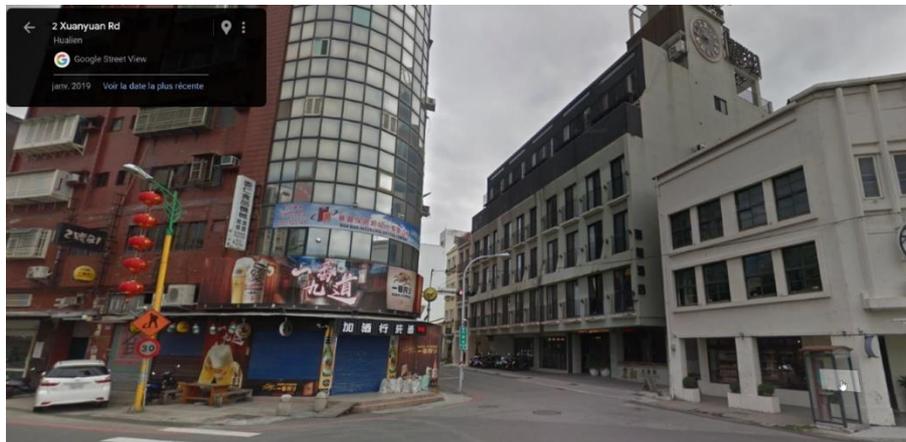


Google street juin 2023



Référence I 4

Date de visite	10/06/2024
Usage	Hôtel Les Champs Hualien
Type de structure	Béton et poteau poutre. Structure enforcée avant séisme.
Nombre d'étages	6
Problème principal	Entrechoquement entre 2 parties
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	Construit en 2009 et renforcé en 2019
Localisation	23.974341913395318, 121.61176700899753
Adresse	No. 2號, Huagang St, Hualien City, Hualien County, 970
3D	R0010312 à 318
Photos	20240610_113807.jpg à 20240610_115416.jpg 20240610_150641.jpg



Google street janvier 2019, sans renforcement.



Référence : I5

Date de visite	10/06/2024
Usage	??
Type de structure	Torchis
Nombre d'étages	2
Problème principal	vétusté
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	Plus utilisé.
Localisation	23.97422222222224, 121.60647222222222
adresse	No. 58, Zhongxiao St, Hualien City, Hualien County, 970
3D	Non
Photos	20240610_132818.jpg à 20240610_132825.jpg



Référence : I6

Date de visite	10/06/2024
Usage	Commerces+ logement
Type de structure	Poteaux-poutres en béton
Nombre d'étages	4 niveaux
Problème principal	Rupture poteaux et poutres au RDC Mise en sécurité temporaire
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	Il y a un bâtiment symétrique en face mais sans aucun dégât dessus.
Localisation	23.977444444444444, 121.60927777777778
adresse	154 Zhongshan Rd, Hualien
3D	Oui R0010319 et R0010320
Photos	20240610_140159.jpg à 20240610_140929.jpg



Photo google street

Référence I7

Date de visite	10/06/2024
Usage	Habitation
Type de structure	Poteaux-poutres avec certain remplissage en béton.
Nombre d'étages	12
Problème principal	Fort endommagement sur plusieurs niveaux
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	
Localisation	23.97852777777778, 121.61033333333333
Adresse	970, Taïwan, Hualien, Hualien City
3D	Oui R0010321 et R0010323
Photos	20240610_141659.jpg à 20240610_142755.jpg 20240611_121643.jpg à 20240611_122731.jpg



Référence : I8

Date de visite	10/06/2024
Usage	hôtel
Type de structure	Poteaux béton et remplissage voile béton. Fonctionnement en voiles couplés
Nombre d'étages	
Problème principal	Rupture des allèges de couplage, rupture des parements agrafés. Démolition de la moitié avant du bâtiment.
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	
Localisation	23.978666666666665, 121.61013888888888
Adresse	No. 590號, Zhongzheng Rd, Hualien City, Hualien County, Taiwan 970
3D	Non
Photos	20240610_143114.jpg 20240610_141323.jpg à 20240610_141507.jpg 20240611_121453.jpg

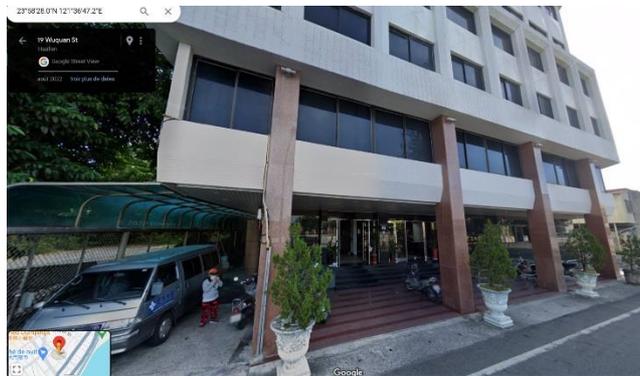


Image Google street

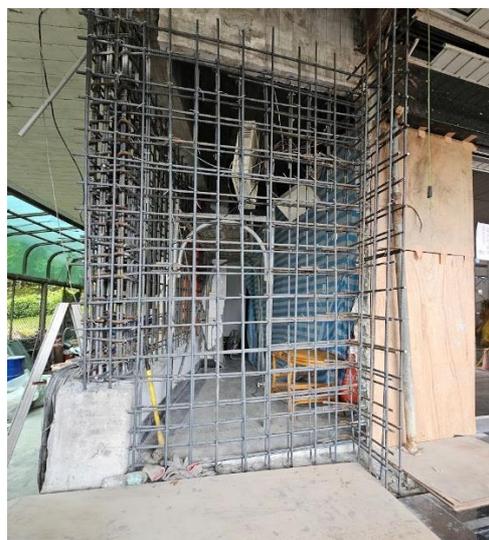


Référence I9

Date de visite	10/06/2024
Usage	Hôtel
Type de structure	Poteau-poutre béton armé + remplissage
Nombre d'étages	6
Problème principal	Important cisaillement au RDC, bon exemple de renforcement en cours. Repris des poteaux au RDC déjà fait.
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	Avant 2009
Localisation	23.974444444444444, 121.61311111111111
adresse	36 Wuquan St, Hualien
3D	Non
Photos	20240610_152443.jpg à 20240610_152814.jpg

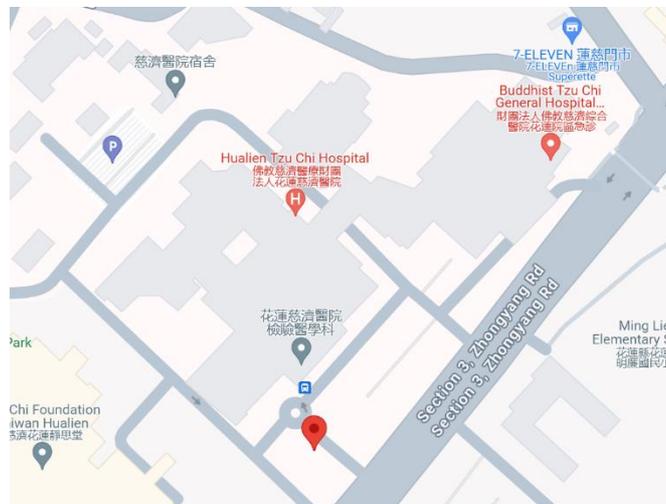


Vue google street view



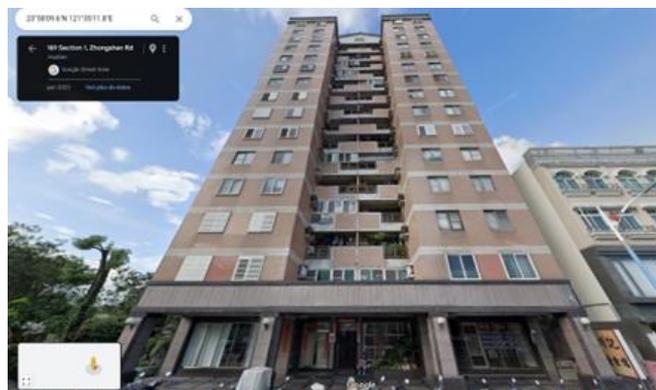
Référence I10

Date de visite	11/06/2024
Usage	Hôpital
Type de structure	Poteau-poutre
Nombre d'étages	De l'ordre de 10
Problème principal	De grands déplacements,
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	très intéressant avec isolateur,
Localisation	23.994583333333335, 121.59272222222222
adresse	No. 707號, Section 3, Zhongyang Rd, Hualien City, Hualien County, Taiwan 970
3D	Non
Photos	20240611_093808.jpg à 20240611_114017.jpg



Référence I11

Date de visite	11/06/2024
Usage	Bâtiment d'habitation
Type de structure	Poteaux-poutre béton + remplissage béton armé
Nombre d'étages	14
Problème principal	Beaucoup de tableaux sont cisailés.
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	
Localisation	23.969333333333335, 121.58661111111111
Adresse	189 Section 1, Zhongshan Rd, Hualien
3D	R0010327 à R0010347
Photos	20240611_142131.jpg à 20240611_151431.jpg

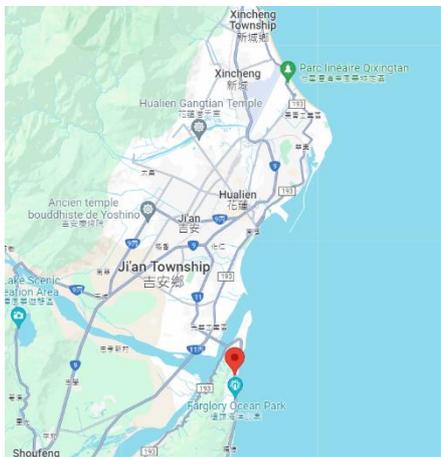


Google street



Référence I12

Date de visite	11/6/2024
Usage	Maison individuelle
Type de structure	Poteaux poutres béton et remplissage béton
Nombre d'étages	1
Problème principal	Surélévation et très proche de l'épicentre
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	Construction initiale de 1968 surélevée en 2012
Localisation	23.91154514 N, 121.60338018 E
adresse	SouFeng



Vue de la maison initiale, source Googlestreetview 2009



. Vue de la surélévation, source Googlestreetview 2012



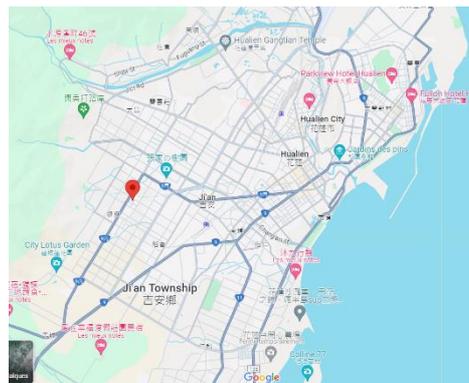
Vue de la maison endommagée par le séisme du 4 avril Pierre 06/04



Vue de la maison endommagée par la réplique du 23 avril source [花蓮連續餘震民宿軟腳倒塌 累計12件紅單傾倒屋 - 生活 - 自由時報電子報 \(ltn.com.tw\)](https://www.ltn.com.tw/news/life/article/1211111)

Référence I13

Date de visite	12/6/2024
Usage	temple
Type de structure	Structure bois ancienne
Nombre d'étages	RDC simple
Problème principal	Rupture locale d'assemblages, couverture lourde
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	Construction de style japonais à ossature bois et remplissage en adobe
Localisation	N23.973925581688448, E121.56468093397666
Adresse	No. 345號, Zhongxing Rd, Ji'an Township, Hualien County, Taiwan 973

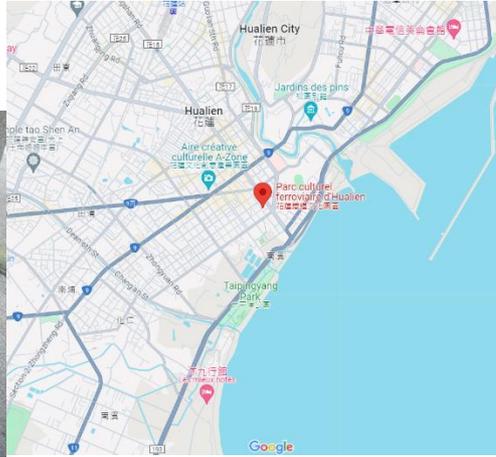




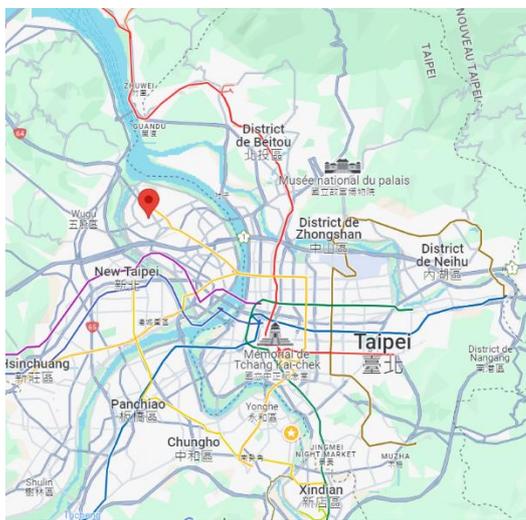
Référence I13

Date de visite	12/06/2024
Usage	Monument historique, ancienne gare
Type de structure	Structure bois, style japonais
Nombre d'étages	Simple Rdc
Problème principal	Toiture alourdie par le remplacement de la couverture d'origine cuivre par une couverture en tuile, ruptures d'assemblages
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	Gare des années 1930, ossature bois.
Localisation	23.975876158846987, 121.61070827614323
adresse	Hualien





Date de visite	9/06/2024
Usage	Monument historique
Type de structure	Maçonnerie de pierre
Nombre d'étages	RDC Simple
Problème principal	Fissures dans les murs, rupture du faitage
Données sur le bâtiment (âge, caractéristique,	Maison traditionnelle de style chinois de 1895
Localisation	25.08603263 N, 121.46649630 E
adresse	LuZhou, New Taipei city, Taipei

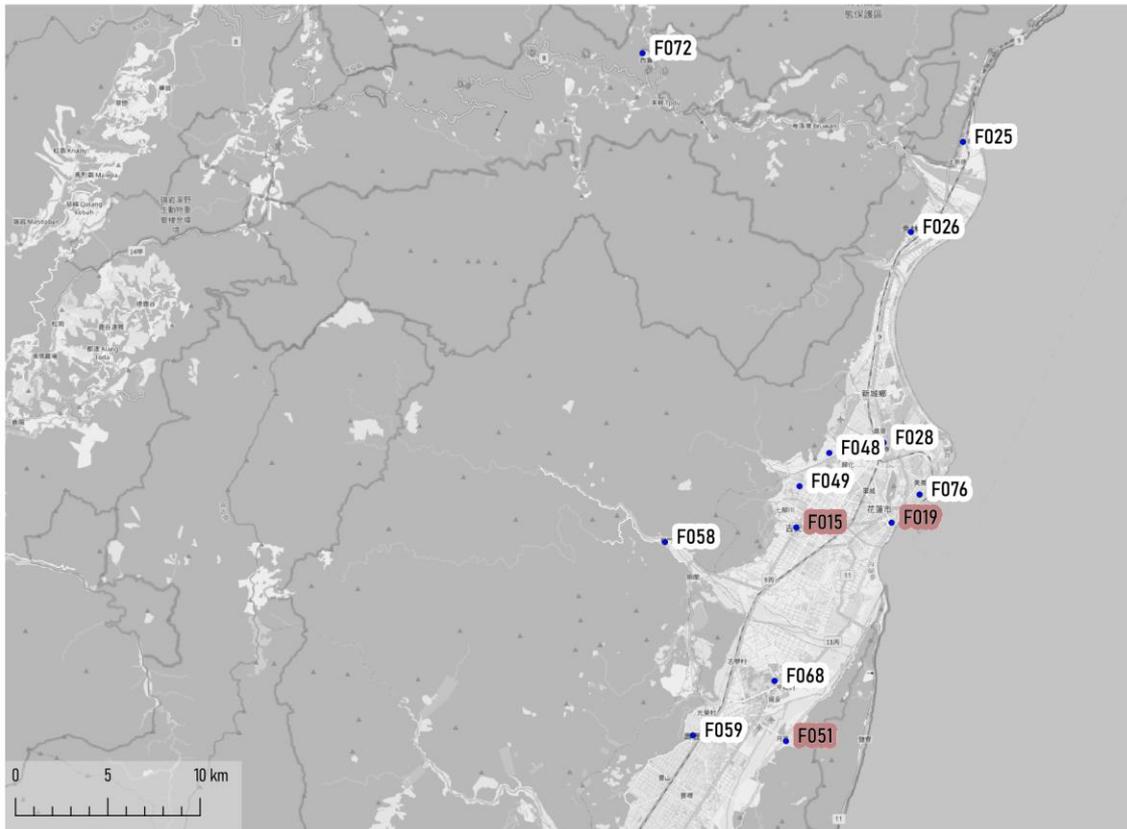


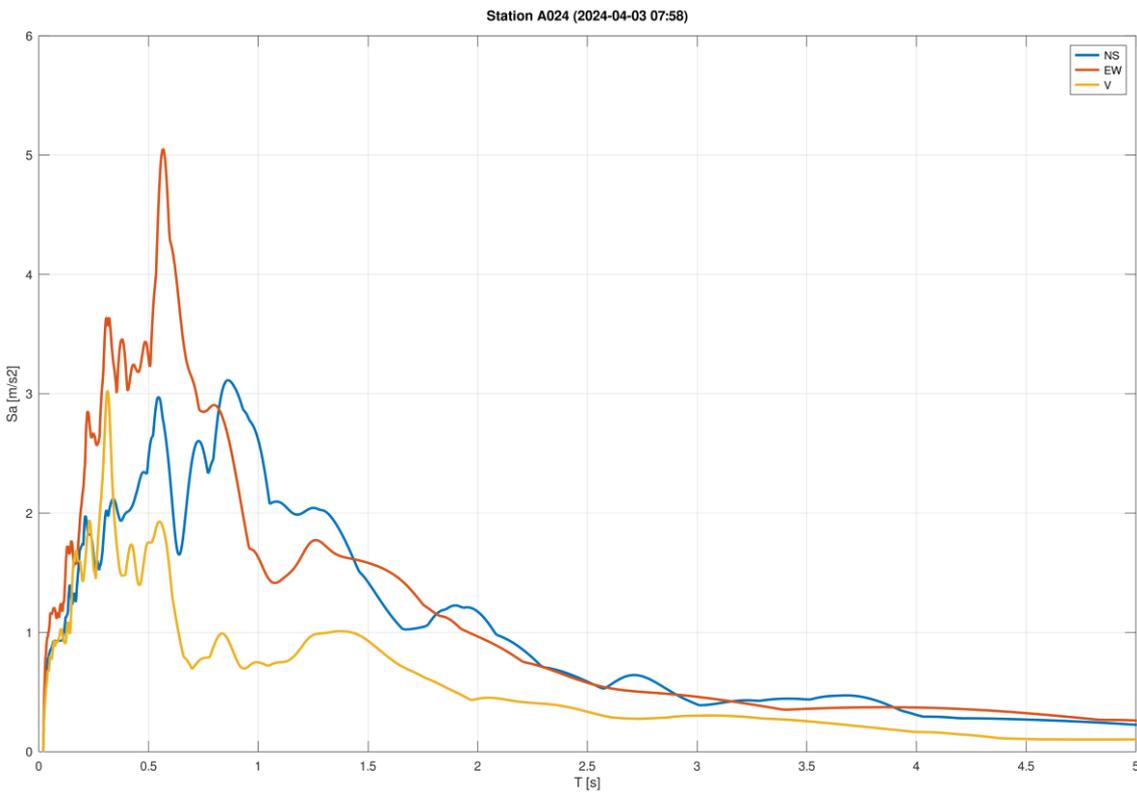
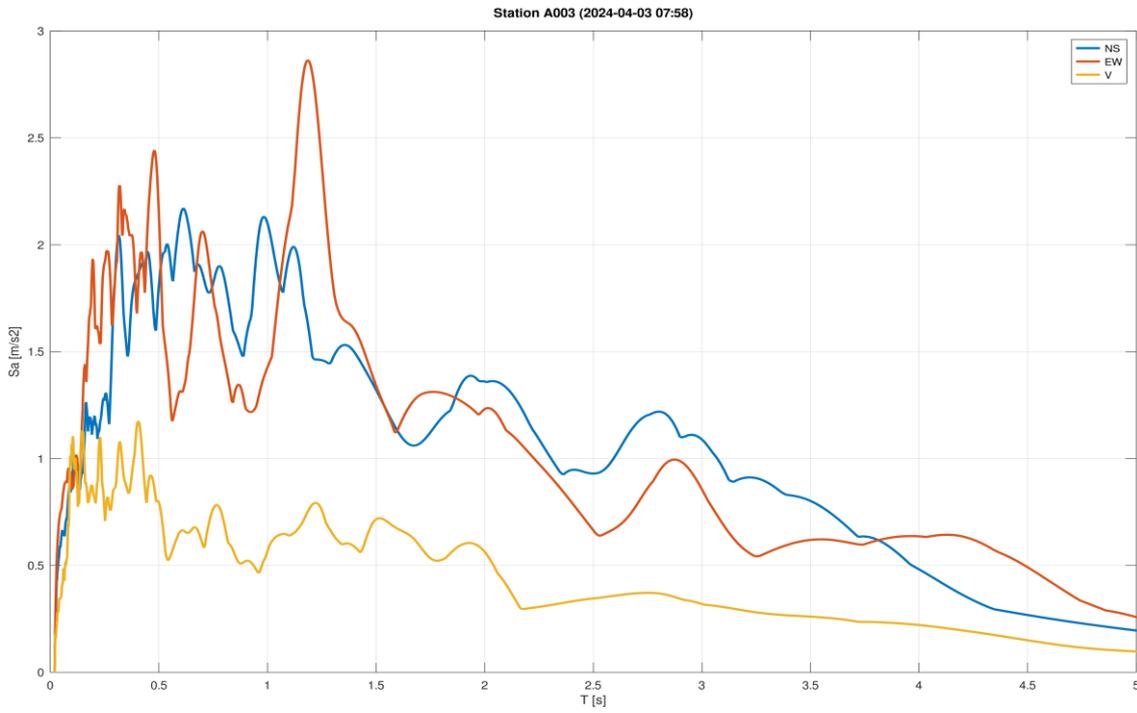
Annexe 2 : Spectres de réponse

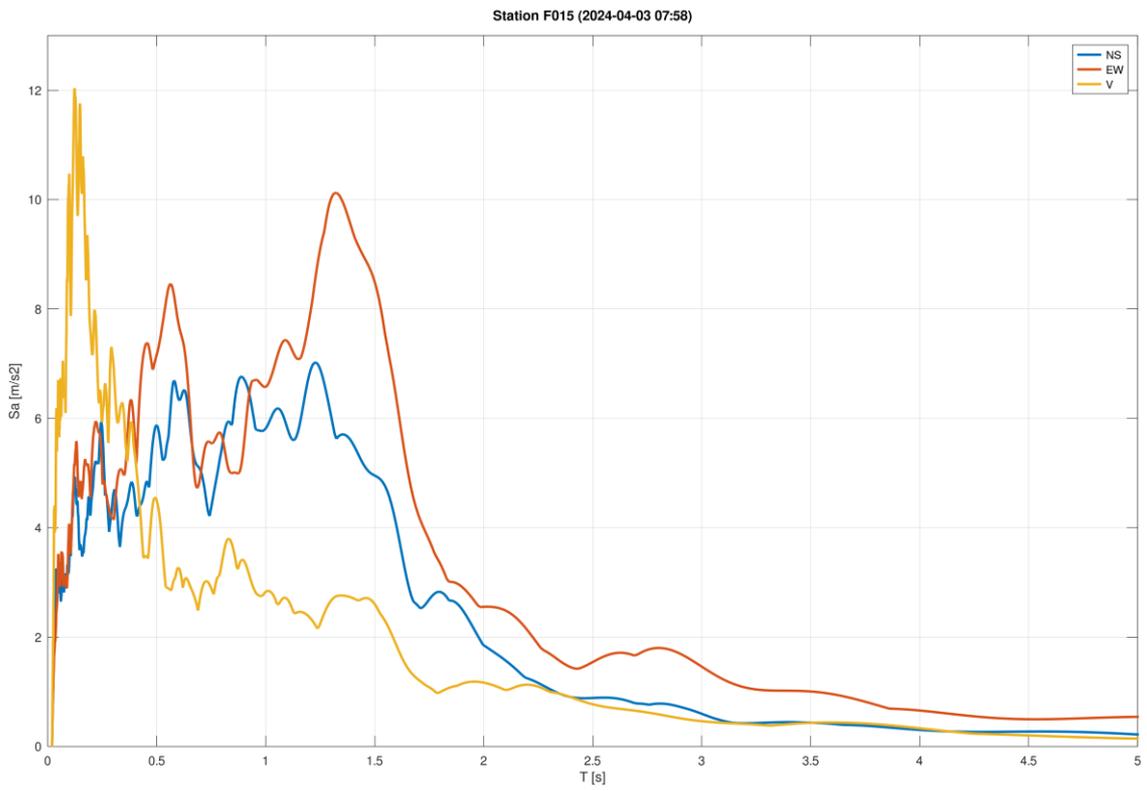
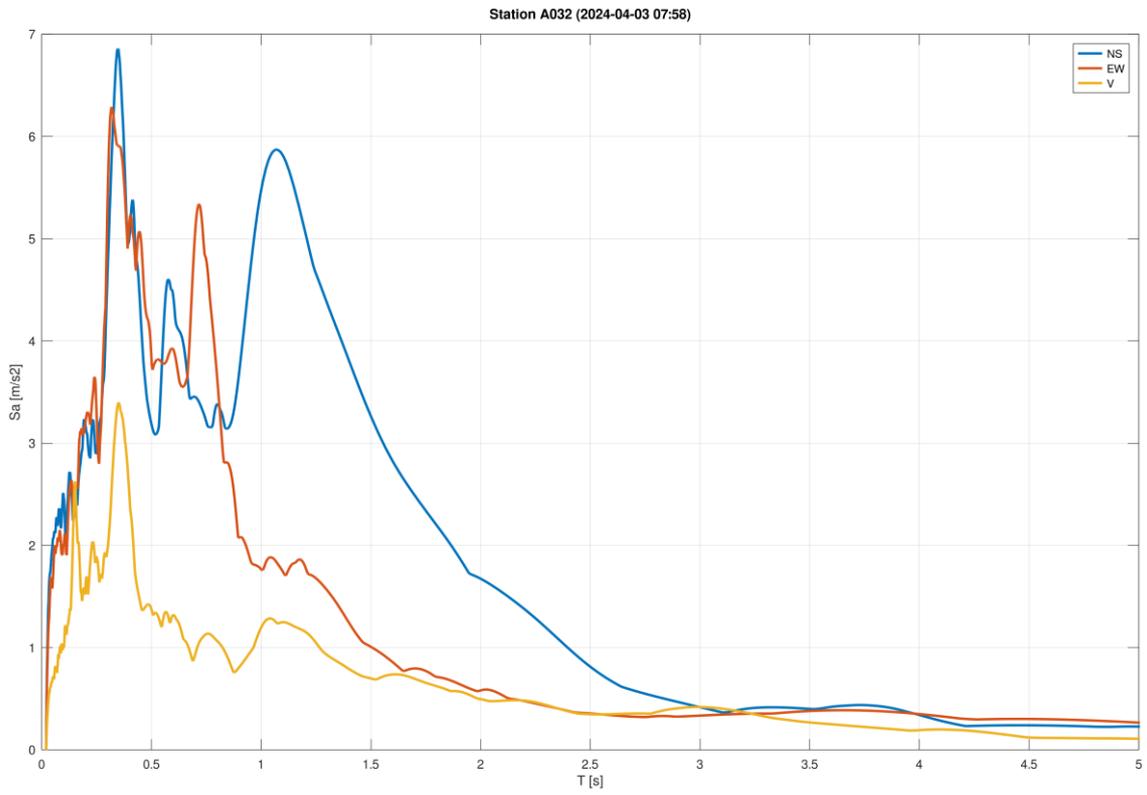
Taipei



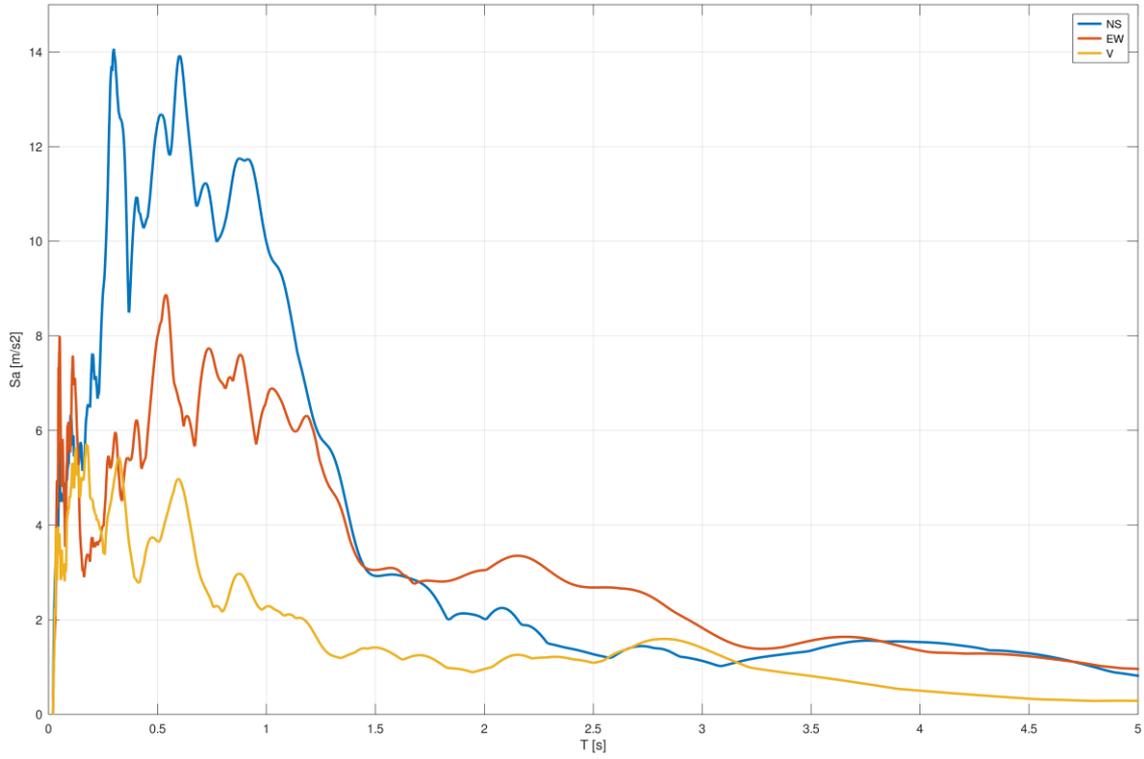
Hualien



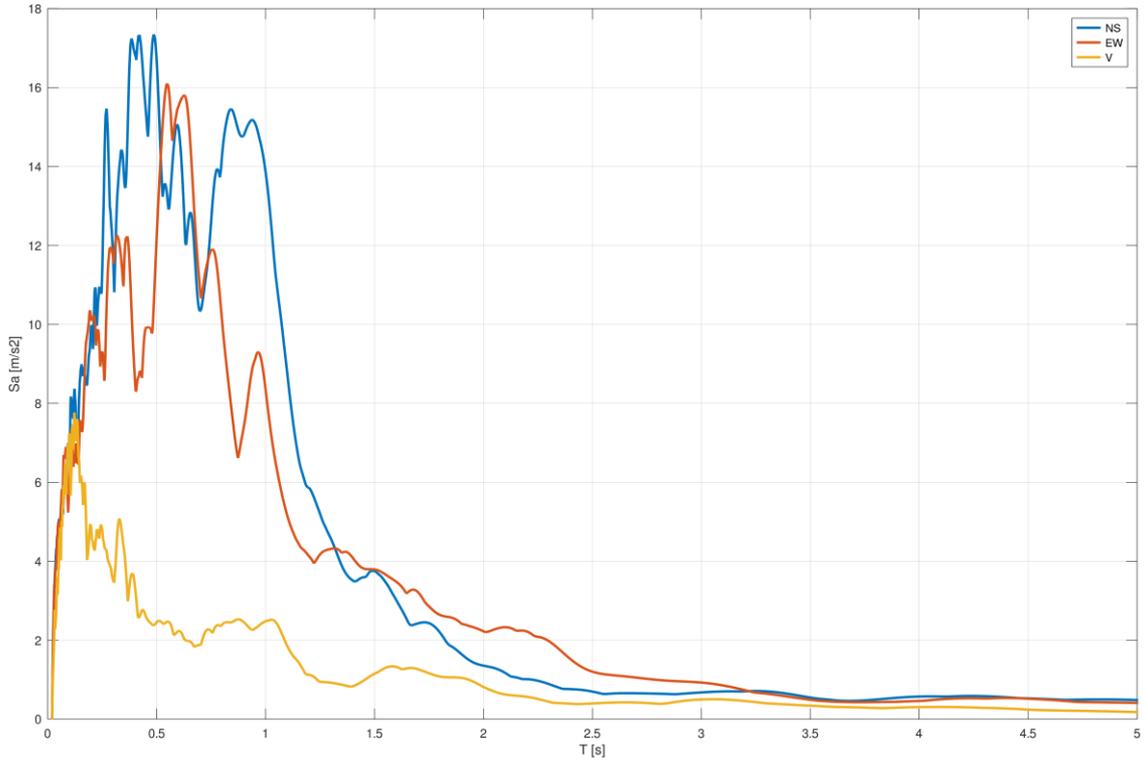




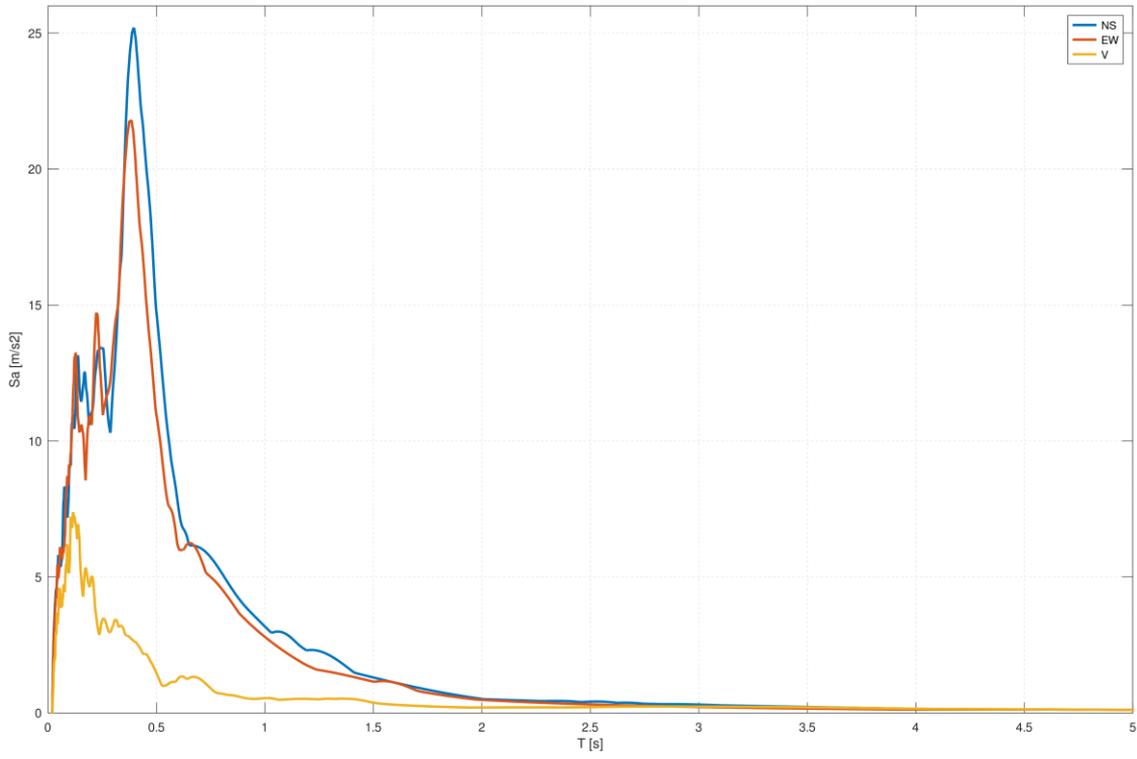
Station F019 (2024-04-03 07:58)



Station F051 (2024-04-03 07:58)



Station F051 (2024-04-23 02:26)





Publié par : L'AFPS
Association Française du Génie Parasismique
French Association for Earthquake Engineering

Siège social et secrétariat :
42 Rue Boissière, F-75016 Paris. France
Tel : +33 (0)1 85 34 33 19
E-Mail : secretariat@afps-seisme.org
Site internet : www.afps-seisme.org

Copyright :
© AFPS, Association Française du Génie Parasismique.
La reproduction de cette publication à des fins commerciales, notamment en vue de la vente, est interdite sans autorisation écrite préalable du détenteur des droits d'auteur.

Responsable de publication :
Le chef de mission, Nicolas TAILLEFER.

Auteurs :
Nicolas TAILLEFER, Pierre SMARS, Pascal PERROTIN,
Mohsen ROUSEFID, Vincent PELLISSIER, Julian PERNSTICH.

Remerciements :
La responsable des missions post-sismiques AFPS, Carolina FRANCO.
La Direction générale de la prévention des risques (DGPR) du MTEL.

Photos : AFPS.



Novembre 2024

