

**Université de Liège**  
Faculté des Sciences  
Département de Géographie

Thèse présentée à l'Université de Liège  
par **MAI Thành Tân**  
en vue de l'obtention du titre de Docteur en Sciences

## **GEORISQUES AU CENTRE SEPTENTRIONAL DU VIETNAM**

Thèse soutenue publiquement le 2 mars devant le jury composé de :

Michel Erpicum (Président du jury, Université de Liège)

Alain Demoulin (Université de Liège)

Jean Paul Rudant (Université de Marne la Vallée)

Thierry Winter (Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans)

Phan Trong Trinh (Académie des Sciences et Technologie du Vietnam) (co-promoteur)

André Ozer (Université de Liège) (promoteur)

## Remerciements

*Cette thèse a été effectuée grâce aux aides de plusieurs organisations et individus. A cette occasion, je voudrais leur exprimer ma gratitude.*

*Avant tout, je suis particulièrement reconnaissant à mes co-promoteurs, Monsieur le Professeur André Ozer, directeur du Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection – Université de Liège, et Monsieur le Professeur Phan Trong Trinh, chef du Département de Géodynamique, Institut des Sciences géologiques – Académie des Sciences et de la Technologie du Vietnam, pour leur aide, leur support et leurs conseils au long de cette recherche.*

*J'adresse également mes remerciements à Messieurs Michel Erpicum, Alain Demoulin et Yves Cornet pour leurs précieuses opinions à ce travail.*

*Je remercie vivement les Professeurs Jean Paul Rudant de l'Université de Marne la Vallée et Thierry Winter du Bureau de Recherches Géologiques et Minières de France, d'avoir accepté de juger mon travail de thèse.*

*Toute ma gratitude s'adresse aussi aux chercheurs du Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection et spécialement à Monsieur Marc Salmon qui m'a beaucoup aidé dans le traitement des données.*

*De grands mercis également aux chercheurs de l'Institut des Sciences géologiques, plus particulièrement à son Directeur, le Docteur Tran Trong Hue et à Messieurs Nguyen Dich Dy, Dinh Van Thuan, Bui Van Thom, Phan Dong Pha, Pham Quang Son, Hoang Quang Vinh pour leurs conseils et leur soutien.*

*Ce travail est réalisé dans le cadre de la coopération entre le Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection de l'Université de Liège et l'Institut des sciences géologiques de l'Académie des Sciences et de Technologie du Vietnam, subsidié par les accords entre la Communauté française de Belgique et la Wallonie, d'une part, et le Vietnam, d'autre part. Mes reconnaissances s'expriment à ces organismes, spécialement au Commissariat Générale aux Relations internationales de la Communauté française de Belgique qui m'a octroyé plusieurs bourses d'études en Belgique.*

*Je voudrais exprimer mes remerciements aux Institut de Géographie et Institut des Sciences géologiques de l'Académie des Sciences et de Technologie du Vietnam, et spécialement Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection - Université de Liège pour m'avoir permis d'utiliser les données et les équipements qui sont disponible chez eux. Grâce au projet OASIS de l'Union Européenne, nous avons pu disposer de données nouvelles du satellite SPOT.*

*Enfin, je tiens à remercier ma famille ainsi que mes amis qui m'ont soutenu tout au long de ce travail.*

*A toutes celles et ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, merci.*

## TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1. GENERALITES SUR LE CENTRE SEPTENTRIONAL DU VIETNAM</b> .....	<b>4</b>
1.1. CONDITIONS PHYSIQUES.....	4
1.1.1. Position .....	4
1.1.2. Relief .....	5
1.1.3. Climat .....	6
1.1.4. Système hydrographique .....	8
1.1.5. La mer.....	9
1.1.6. La forêt .....	10
1.1.7. Ressources minières .....	11
1.2. HOMME ET ACTIVITES SOCIO-ÉCONOMIQUES.....	12
1.2.1. Population.....	12
1.2.2. Infrastructures.....	13
1.2.3. Economie.....	14
1.3. GEOLOGIE .....	15
1.3.1. Stratigraphie .....	15
1.3.2. Complexes magmatiques.....	17
1.3.3. Failles actives .....	18
1.4. GEORISQUES DANS LA REGION.....	18
1.4.1. Risque sismique.....	20
1.4.2. Fissuration du sol.....	21
1.4.3. Glissements de terrain.....	22
1.4.4. Crues subites et coulées de boue .....	22
1.4.5. Erosion.....	23
1.5. CONCLUSION .....	24
<b>CHAPITRE 2. RISQUE SISMIQUE</b> .....	<b>26</b>
2.1. CONTEXTE TECTONIQUE.....	26
2.1.1. Tectonique pré-cénozoïque .....	26
2.1.2. Néotectonique.....	29
2.2. SEISMES ET GRANDES FAILLES .....	31
2.3. ANALYSE DU RISQUE SISMIQUE POUR LES BARRAGES.....	33
2.3.1. Identification des failles actives .....	34
2.3.2. Estimation de la magnitude .....	35
2.3.3. Evaluation d'accélération maximale du sol.....	38
2.3.4. Modélisation de la déformation et du changement de contrainte de Coulomb lors d'un séisme maximum.....	40
2.4. RISQUE SISMIQUE POUR LE BARRAGE DE BAN LA.....	41

2.4.1.	Faille active .....	41
2.4.2.	Magnitude maximale .....	45
2.4.3.	Accélération du sol .....	46
2.4.4.	Modélisation de la déformation et du changement de contrainte de Coulomb lors d'un séisme maximum.....	47
2.5.	RISQUE SISMIQUE POUR LE BARRAGE DE HUONG DIEN.....	53
2.5.1.	Résumé relatif au barrage de Huong Dien.....	53
2.5.2.	Failles actives. ....	57
2.5.3.	Magnitude maximale des failles actives autour du barrage de Huong Dien ....	64
2.5.4.	Accélération du sol au barrage de Huong Dien.....	65
2.5.5.	Modélisation de la déformation et du changement de contrainte de Coulomb lors d'un séisme maximum.....	65
2.6.	RISQUE SISMIQUE POUR LE BARRAGE DE BAN UON.....	72
2.6.1.	Détermination des failles actives.....	72
2.6.2.	Magnitude maximale des failles autour du barrage de Ban Uon.....	75
2.6.3.	Accélération du sol au barrage de Ban Uon .....	76
2.7.	CONCLUSION .....	79
<b>CHAPITRE 3. EROSION CÔTIÈRE À THUA THIEN HUÉ .....</b>		<b>81</b>
3.1.	INTRODUCTION .....	81
3.2.	FACTEURS INFLUENÇANT L'ÉROSION CÔTIÈRE.....	82
3.2.1.	Climat .....	82
3.2.2.	Cyclones .....	87
3.2.3.	Système hydrographique .....	89
3.2.4.	Conditions météo-marines.....	94
3.2.5.	Géologie .....	96
3.2.6.	Activités anthropiques .....	102
3.3.	METHODOLOGIE .....	106
3.3.1.	Les données .....	107
3.3.2.	Correction géométrique .....	108
3.3.3.	La fusion.....	109
3.3.4.	Composition colorée.....	113
3.3.5.	Détermination du trait de côte .....	113
3.4.	EVOLUTION DE LA COTE PENDANT LE QUATERNAIRE.....	115
3.5.	EVOLUTION DE LA COTE.....	117
3.5.1.	La côte de Dien Huong à Thuan An.....	118
3.5.2.	La passe de Thuan An. ....	119
3.5.3.	La côte de Thuan An à Tu Hien .....	126
3.5.4.	La passe de Tu Hien .....	126
3.5.5.	La baie de Chan May.....	129
3.5.6.	La côte de Lang Co.....	131

3.6.	CONCLUSION .....	132
<b>CHAPITRE 4.</b>	<b>RISQUES DE GLISSEMENTS DE TERRAIN .....</b>	<b>134</b>
4.1.	INTRODUCTION .....	134
4.2.	GLISSEMENTS DE TERRAIN ACTUELS A THUA THIEN - HUÉ .....	136
4.3.	METHODE D'ANALYSE DU RISQUE DE GLISSEMENTS DE TERRAIN PAR SIG.....	145
4.3.1.	Sélection des paramètres .....	145
4.3.2.	Cartes composantes .....	145
4.3.3.	Echantillonnage .....	146
4.3.4.	Pondération des facteurs et leurs classes .....	148
4.3.5.	Cartographie de la carte de susceptibilité de glissements de terrain .....	149
4.4.	RAPPORT ENTRE LES FACTEURS CONTROLANT ET LES GLISSEMENTS DE TERRAIN .....	149
4.4.1.	Rapport entre le relief et les glissements de terrain.....	149
4.4.2.	Rapport entre les précipitations et les glissements de terrain.....	152
4.4.3.	Rapport entre l'occupation du sol et les glissements de terrain .....	154
4.4.4.	Rapport entre l'altération et les glissements de terrain.....	157
4.4.5.	Rapport entre la lithologie et les glissements de terrain.....	160
4.4.6.	Rapport entre le pendage et les glissements de terrain.....	164
4.4.7.	Rapport entre les failles et les glissements de terrain.....	173
4.4.8.	Rapport entre la route et les glissements de terrain.....	175
4.5.	L'IMPORTANCE DES FACTEURS CONTROLANT LES GLISSEMENTS DE TERRAIN.....	177
4.6.	RISQUE DE GLISSEMENTS DE TERRAIN A THUA THIEN HUÉ .....	179
4.7.	CONCLUSION .....	182
	<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>184</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>186</b>
	<b>ANNEXE .....</b>	<b>196</b>

## INTRODUCTION

La région du centre septentrional du Vietnam, malgré son potentiel économique, est encore une des régions pauvres du Vietnam. Ce territoire étroit et allongé, avec un relief de montagnes, de collines et de plaines, se trouve au milieu du Vietnam, entouré par le delta du Fleuve Rouge et la région Nord-Ouest au nord, le Laos à l'ouest, la région du Centre méridional au sud et la Mer de l'Est (la mer de Chine méridionale) à l'est. Grâce à sa position et sa topographie, la région peut se développer en divers types d'économie. A présent, dans cette région se localisent des travaux d'importance économique et culturelle pour le Vietnam. Des travaux importants à savoir la route nationale Ho Chi Minh, une ligne de haute tension 500 KV, des parcs industriels, des zones économiques, des barrages, etc. sont construits, en train d'être construits et seront construits. Le patrimoine culturel mondial de l'ancienne capitale Hué, le patrimoine naturel mondial de Phong Nha - Ke Bang, et d'autres beaux sites dans la région sont de bonnes bases pour son développement touristique. Néanmoins, à cause de ses caractéristiques physiques, la région du centre septentrional du Vietnam est fréquemment touchée par des risques naturels. La répartition entre haute montagne à l'ouest et plaine côtière à l'est rend le climat local extrême avec une fréquence très élevée de sécheresses et d'inondations. Le relief étroit avec une pente raide de l'ouest vers l'est, les pluies abondantes et les tempêtes fréquentes engendrent souvent des crues subites en montagne, à l'ouest et des inondations dans la plaine, à l'est. De plus, ces caractères causent aussi une série de risques comme les glissements de terrain, l'érosion des rivières et de la mer. L'activité sismique est un autre géorisque dans la région, concernant le mouvement endogène, et il est aussi la cause profonde d'autres géorisques. Le mouvement tectonique le long des failles actives peut créer des faiblesses, engendrer des glissements de terrain. Les crues subites peuvent se passer aux endroits où les courants d'eau sont bloqués par des glissements de terrain. Les mouvements tectoniques jouent souvent un rôle déclenchant d'autres risques. Les érosions côtières et les changements des embouchures sont causés non seulement par les facteurs exogènes mais peut-être aussi par un mouvement tectonique vertical. Les documents historiques montrent que Thanh Hoa et Nghe An, au nord de la région, subirent autrefois de grands tremblements de terre. La faille de Song Ma traversant la région est estimée comme la plus grande faille sismogénique du Vietnam. Alors, le Centre septentrional du Vietnam est une région très sensible aux risques naturels. Ces risques peuvent empêcher les processus permettant à cette région pauvre de devenir riche. Évidemment, il importe de les étudier pour un développement durable de cette région. Il y a plusieurs approches dans l'étude des risques naturels et au cours des dizaines dernières années, grâce aux progrès technologiques, la télédétection et le système d'information géographique sont de plus en plus largement utilisés en sciences de la terre en général et dans l'étude des géorisques en particulier. Grâce aux grands pas dans la technologie, la télédétection devient un outil très efficace pour surveiller l'environnement de la terre. L'amélioration des résolutions spatiales et spectrales, permettant d'identifier des problèmes qui ne sont pas résolus par les images normales, est appliquée pour l'étude de la terre : zone humide, végétation, érosion, accumulation, glissement de terrain, etc. De plus en plus de nouvelles techniques dans la télédétection sont efficacement utilisées, à savoir : l'interférométrie radar, la fusion des images, le composition colorée, le filtrage, etc.

La thèse titrée « Géorisques au Centre septentrional du Vietnam » est développée autour d'une approche par télédétection. Dans le cadre de cette thèse, les géorisques y sont limités aux risques sismiques, à l'érosion et aux accumulations côtières et aux glissements de terrain.

Les objectifs de cette thèse sont :

- L'application des technologies spatiales (télédétection et SIG) pour étudier les géorisques

- La mise en évidence des géorisques dans la région : sismique, érosion côtière et inondation, glissement de terrain.
- Une proposition de gestion des géorisques

Les études consacrées aux géorisques avec l'aide de la télédétection et du SIG ainsi que des autres risques ont des points communs :

- Analyse des données (cartes, photos aériennes, images satellitaires) en utilisant les logiciels de traitement d'image ou encore des techniques comme filtrage, composition colorée, fusion, etc. pour saisir les objets intéressants et puis identifier les risques et leur répartition dans le temps et dans l'espace.
- Utiliser les logiciels de SIG et d'autres pour analyser et modéliser les risques, etc.
- Sur base de ces études, proposer des mesures de mitigation dans le plan de développement de la région.

Les géorisques au Centre septentrional du Vietnam ne se répartissent pas régulièrement dans l'espace. Cela dépend de la région, un risque peut dominer les autres. L'étude de trois risques : sismique, érosion et glissement de terrain est réalisée dans trois régions où, respectivement, le risque est dominant.

Le risque sismique est étudié pour les barrages. Une série de barrages pour l'électricité et pour l'irrigation y sera construite, donc l'estimation du risque de tremblement de terre est une nécessité pour les rapports de sécurité préalables à la construction des barrages et aussi afin de les rendre opérationnels. Trois barrages hydroélectriques sont estimés en terme de risque sismique : Ban La (Nghe An), Huong Dien (Thua Thien – Hué) et Ban Uon (Thanh Hoa). Cette estimation y est appliquée avec les démarches suivantes :

- Traiter les données de télédétection (photos aériennes et images satellitaires) en utilisant les techniques comme : filtrage, fusion, composition colorée, etc. pour tracer et puis analyser les failles actives et leurs paramètres
- Déterminer la magnitude maximale et l'accélération du sol qui doivent être prises en compte dans la construction d'un barrage.
- Modeler le changement du champ de contraintes de Coulomb sur le site de construction d'un barrage.

Les risques d'érosion et d'accumulation sont aussi analysés sur la côte de Thua Thien - Hué, une province dans le sud du Centre septentrional du Vietnam. Sa particularité est la présence de la lagune Tam Giang - Cau Hai, une des plus grandes lagunes en Asie du Sud-est, le long de la côte et dont elle est séparée par un système de dunes sableuses. Cette lagune influence fortement l'érosion et l'accumulation de la côte ainsi que l'inondation de la plaine côtière, où se concentrent la plupart des habitants, les facilités économiques et touristiques de la province et où se trouve un patrimoine culturel mondial reconnu par l'UNESCO avec la cité de Hué. L'étude du changement côtier a une signification importante pour une bonne stratégie de développement dans la région littorale.

Les glissements de terrain sont aussi étudiés dans la région de Thua Thien Hué. La pluie abondante et les fortes pentes du relief sont parmi les facteurs favorisant les glissements de terrain et leur fréquence relativement importante. Alors cette étude pourrait être utile pour la stratégie de développement de la montagne de Thua Thien Hué. Cette étude est basée sur l'analyse des facteurs contrôlant les glissements de terrain, sur la pondération et l'intégration de ces facteurs avec l'aide des logiciels de SIG.

Dans toutes les trois études de cas sur géorisques: séisme, érosion - accumulation côtière, glissement de terrain, à côté des bases communes comme la technologie de télédétection et le

Système d'Information Géographique, dépendant de la particularité de chaque risque, les autres techniques d'approche peuvent y être ajoutées.

La thèse focalisée sur les trois géorisques : séisme, érosion - accumulation côtière et glissement de terrain, est structurée comme suit :

- Introduction
- Chapitre 1 : Généralités de la région
  - Conditions physiques
  - Homme et activités socio-économiques
  - Géologie
  - Géorisques dans la région.
  - Conclusion
- Chapitre 2 : Risque sismique
  - Contexte tectonique
  - Séisme et grandes failles,
  - Analyse du risque sismique pour les barrages
  - Risque sismique pour le barrage de Ban La
  - Risque sismique pour le barrage de Huong Dien
  - Risque sismique pour le barrage de Ban Uon
  - Conclusion
- Chapitre 3 : Erosion côtière à Thua Thien Hué
  - Introduction
  - Facteurs influençant l'érosion côtière
  - Méthodologie
  - Évolution de la côte pendant le Quaternaire
  - Évolution de la côte
  - Conclusion
- Chapitre 4 : Risques de glissements de terrain
  - Introduction
  - Glissements de terrain actuels à Thua Thien Hué
  - Méthode d'analyse du risque de glissements de terrain par SIG
  - Rapport entre les facteurs controlants et les glissements de terrain.
  - L'importance des facteurs contrôlant les glissements de terrain
  - Risque de glissements de terrain à Thua Thien Hué
  - Conclusion
- Conclusion générale
- Bibliographie
- Annexes



# CHAPITRE 1.

## GENERALITES SUR LE CENTRE SEPTENTRIONAL DU VIETNAM

### 1.1. CONDITIONS PHYSIQUES

#### 1.1.1. Position

Globalement, le territoire du Vietnam est divisé en 8 régions économiques (Figure 1.1) :

- Le Nord-Est du Nord
- Le Nord-Ouest du Nord
- Le Delta du Fleuve Rouge (Delta du Tonkin)
- **Le Centre septentrional**
- Le Centre méridional
- Les hauts plateaux du Centre
- L'Est du Sud
- L'Ouest du Sud (Delta du Mékong)

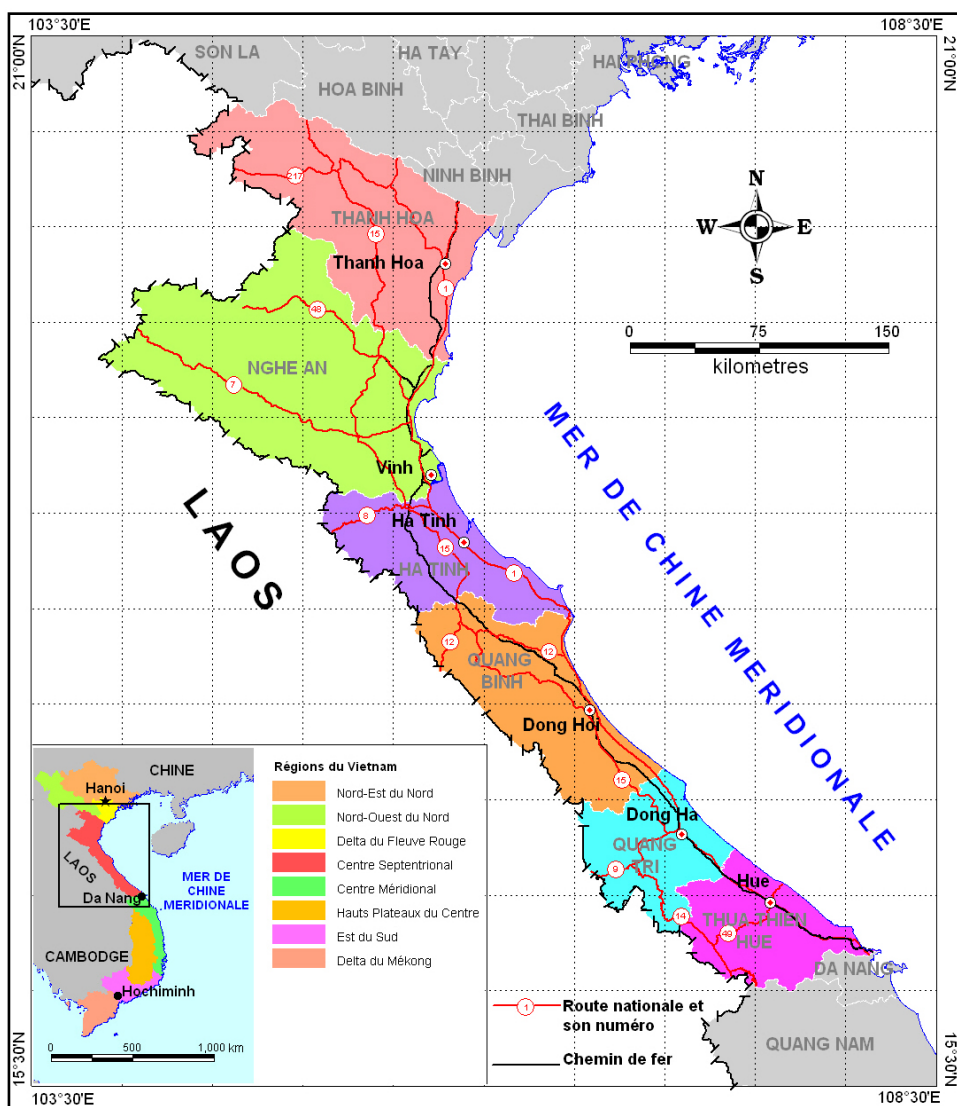


Figure 1.1. La région du Centre septentrional du Vietnam  
(Tran Trong Hue, 2001)

Le Centre septentrional est un territoire étroit qui se trouve au milieu du Vietnam. Il s'étend en direction NO-SE, le long de la côte de la mer de Chine méridionale, couvrant une superficie de 51.800 km<sup>2</sup> environ, de 6 provinces du nord au sud: Thanh Hoa, Nghe An, Ha Tinh, Quang Binh, Quang Tri et Thua Thien- Hué. La région est adjacente aux provinces : Ninh Binh (du Delta du Fleuve Rouge), Hoa Binh et Son La (de la région du Nord-Est du Nord) au nord; Da Nang et Quang Nam (de la région du Centre méridional) au sud. Sa position au milieu du Vietnam favorise le développement de la région en favorisant les échanges de marchandises entre la région et les autres du Vietnam. La frontière Vietnam - Laos à l'ouest avec des routes qui la traversent peut promouvoir l'échange international entre le Vietnam et le Laos, même la Thaïlande et la Birmanie plus loin à l'ouest. A l'est, plus de 600 km de la côte, avec une série de ports sont une bonne base pour les échanges internationaux à travers la navigation et, de plus, la proximité maritime peut favoriser la pêche et le tourisme balnéaire.

### 1.1.2. Relief

La région est comprise dans une bande étroite d'environ 600 km de long et de 40 à 200 km de large (Figure 1.2). Du NO vers le SE, le relief a des tendances descendantes ainsi qu'en direction O - E. La région est caractérisée par des montagnes, des collines et la plaine côtière, respectivement réparties à l'ouest, au milieu et à l'est.

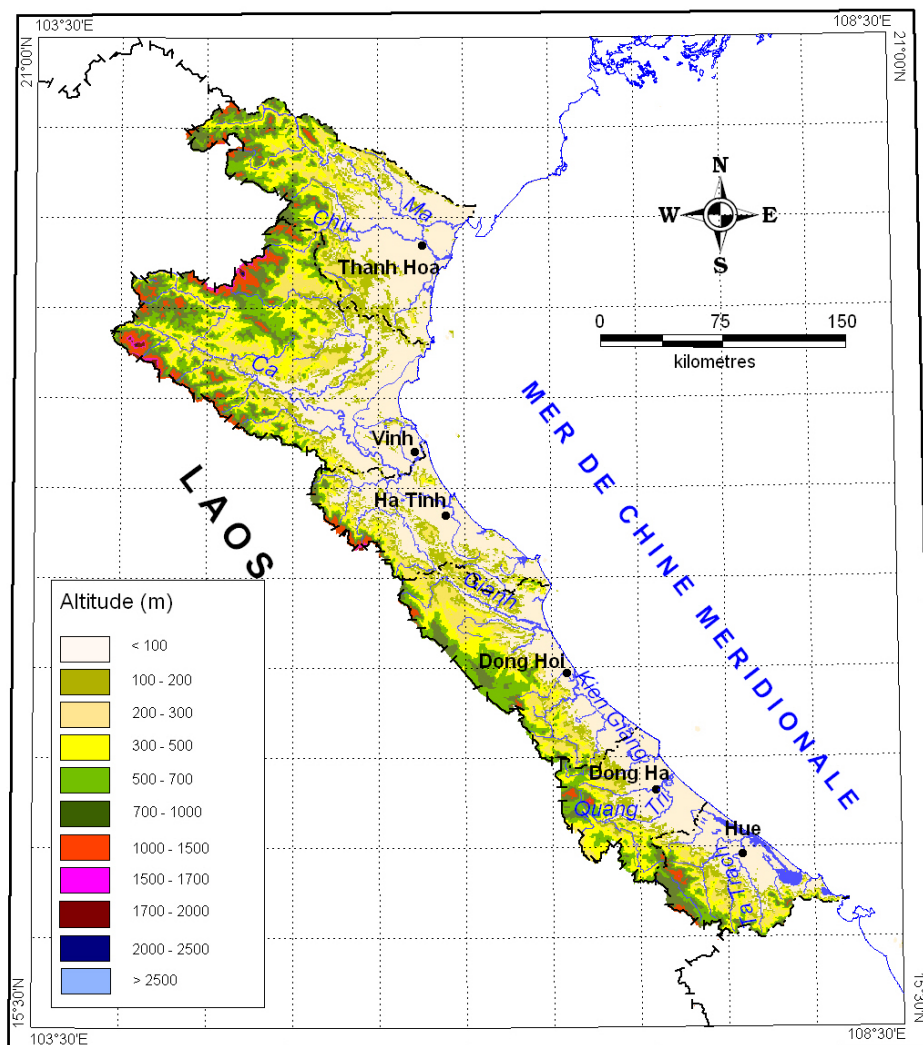


Figure 1.2. Le relief de la région du Centre septentrional du Vietnam  
(Tran Trong Hue, 2001)

La montagne se trouve à l'ouest de la région et couvre 50% du territoire. Elle appartient au nord de la Cordillère de Truong Son (ou Cordillère annamitique), qui sépare cette région du Laos. Le nord du Truong Son est composé de chaînes de direction NO - SE dont certaines s'étendent jusqu'à la mer, au sud de Ha Tinh et au sud de Thua Thien - Hué. Au nord, la montagne est située loin de la mer, le relief descend doucement de la montagne vers les collines puis à la plaine. Au sud, la montagne s'avance vers la mer, et plonge brusquement sur une plaine littorale orientale étroite. Le nord du Truong Son a une hauteur variant de 1000 m à 2500 m. Sa partie du nord est plus haute avec des pics de plus de 2.000 m à la frontière Vietnam - Laos. Plus au sud, l'altitude diminue, les pics atteignent seulement de 1500 - 1700m.

La zone de collines est une transition entre la montagne occidentale et la plaine orientale. Son relief est caractérisé par une altitude en échelons s'abaissant de 300 - 600m, à 100m jusqu'à 50m. En général, les collines sont en forme de sommets arrondis, plats et en pente douce.

La plaine occupe un sixième de la superficie du Centre septentrional. Elle comprend une série de plaines étroites vers 20m de haut, s'inclinant vers la mer à l'est. Au nord, la plaine est plus étendue, ce sont les deltas des fleuves Ma (Thanh Hoa) et Ca (Nghe An), avec des superficies de 2.900 km<sup>2</sup> et 2800 km<sup>2</sup> respectivement. Plus au sud, à Quang Binh, Quang Tri et Thua Thien - Hué, à cause de l'avancée de la montagne vers la mer, la plaine est restreinte à une bande de 10 à 20 km de large le long de la côte.

La particularité marquante dans la plaine est l'apparition de dunes sableuses le long de la côte avec une hauteur de 5 à 10 m au nord (dans les provinces : Thanh Hoa, Nghe An, Ha Tinh) et de 10m à 50m au sud (Quang Binh, Quang Tri et Thua Thien - Hué). Les dunes couvrent 5% du territoire et elles ont une tendance à s'avancer vers l'intérieur, avec une expansion plus large de 2 - 3 km à 5 - 6 km à certains endroits.

Entre les dunes, ce sont des bandes de terre basse où se trouvent des lacs d'eau douce. Dans les plaines au sud de la région, il existe des lagunes derrière les dunes côtières. La plus grande est la Tam Giang - Cau Hai, une connexion de plusieurs lagunes à savoir : Tam Giang, Thanh Lam, Ha Trung, Cau Hai, se trouvent dans la province de Thua Thien - Hué. Comptant plus de 70 km de long, 10 km de large et 10m de profondeur, Tam Giang - Cau Hai est une des plus grandes lagunes de l'Asie du Sud-Est.

### **1.1.3. Climat**

La région du Centre septentrional du Vietnam est située dans la zone tropicale humide, qui est caractérisée par une mousson avec deux saisons : hiver froid et été chaud. Le climat est différencié en fonction de l'altitude, de l'influence des vents du NE ou du SO.

Le total des radiations solaires annuelles atteint 110-130 kcal/cm<sup>2</sup> (Nguyen Khanh Van *et al.*, 2000), avec une température moyenne annuelle de 23°C - 25°C (Tableau 1.1) et une amplitude annuelle de 11,2°C. La température augmente graduellement du nord au sud, la période de froid se réduit dans le même sens telle qu'il n'y a aucun mois avec une température moyenne inférieure à 18°C dans le sud de la région (Quang Binh, Quang Tri et Thua Thien - Hué) (Nguyen Khanh Van *et al.*, 2000).

L'humidité relative est assez élevée avec des valeurs moyennes annuelles décroissant du nord au sud de 85 - 86% à 82% (Tableau 1.1). Dans la variation annuelle d'humidité, la période plus humide va de septembre à mai. Aux mois de Juin et de Juillet, les valeurs d'humidité sont plus faibles à cause de la dominance du vent chaud et sec provenant de l'ouest.

**Tableau 1.1. Température, humidité et précipitation moyenne annuelle au Centre septentrional du Vietnam**

Station (Province)	Température (°C)	Humidité relative (%)	Précipitation (mm)
Thanh Hoa (Thanh Hoa)	23,6	85	1.742
Vinh (Nghe An)	23,9	86	1.968
Ha Tinh (Ha Tinh)	23,9	86	2.654
Dong Hoi (Quang Binh)	24,6	83	2.161
Dong Ha (Quang Tri)	25,0	82	2.295
Hué (Thua Thien - Hué)	25,2	82	2.834

(Nguyen Khanh Van et al., 2000)

Les précipitations sont abondantes, de 1700 mm à 2800 mm (Tableau 1.1), à cause de la position de la région recevant les vents pluvieux de la mer à l'est, qui sont arrêtés par la Cordillère de Truong Son à l'ouest. En général, la précipitation de la région augmente du nord au sud et d'est à l'ouest, Thua Thien Hué est la province la plus pluvieuse. Les conditions topographiques influencent aussi la redistribution des précipitations. La plupart des centres plus pluvieux sont situés à haute altitude à l'ouest ou au sud de la région où la position est favorable à la réception des vents de différentes directions. Les centres pluvieux avec des précipitations supérieures à 3.000 mm/an peuvent être comptés : Huong Son, Ky Anh (au sud de Ha Tinh), Nam Dong, Bach Ma - Phu Loc (au sud de Thua Thien Hué). Ces centres sont liés à l'avancée des chaînes de Hoanh Son (Ha Tinh) et Bach Ma - Hai Van (Thua Thien - Hué) à partir de Truong Son jusqu'à la mer. Les centres moins pluvieux se répartissent dans les terres basses à l'abri du vent. Le centre de Muong Xen, en amont du fleuve Ca (NO de la province Nghe An) est un exemple avec une précipitation annuelle de 1000 mm. La plaine côtière est aussi la région la moins pluvieuse par rapport aux autres. La période pluvieuse s'étend de mai à décembre avec un retard du nord au sud de la région. Dans le Nord, y compris les provinces Thanh Hoa, Nghe An et Ha Tinh, la pluie abondante tombe d'août à octobre, tandis que dans le Sud, Quang Binh, Quang Tri et Thua Thien - Hué, de septembre à décembre.

Le régime du vent est un système de mousson avec deux saisons différentes est aussi influencé par le relief. En hiver, le vent du NO est dominant lorsqu'en été, les vents du SO et du S sont dominants. Le régime de mousson y agit fortement sur le régime climatique. La mousson de NE fait abaisser la température en montagne avec des gelées. La mousson du SO qui était le courant d'air humide devient chaude et sèche en passant la Cordillère de Truong Son, par effet de Foehn. Ce vent souffle d'avril à août, fait monter la température jusqu'à 39 – 40°C et abaisse l'humidité jusqu'à 30 – 45%, une condition très désagréable pour les êtres vivants.

La région est fréquemment touchée par des tempêtes, dépressions tropicales, fronts froids, de la convergence intertropicale. Les tempêtes affectant le Vietnam proviennent soit de l'ouest du Pacifique, soit du large de la Mer de Chine méridionale. Statistiquement de 1954 à 1991, il y a eu 232 tempêtes et cyclones arrivant ou influençant le Vietnam dont 88 (soit 38%) à la région du Centre septentrional. C'est-à-dire qu'il y a 2,5 tempêtes ou cyclones dans cette région chaque année. Les tempêtes arrivent souvent entre juillet et décembre. Il y a un décalage entre le nord et le sud de la région. Dans le nord (Thanh Hoa, Nghe An, Ha Tinh), la plupart des tempêtes tombent de juillet à septembre, avec une plus grande fréquence en août. Au sud (Quang Binh, Quang Tri, Thua Thien) la plupart des tempêtes arrivent plus tard, d'août à octobre. Au cours de ces dernières décennies, la région a connu une tendance à l'augmentation des tempêtes en terme de fréquence et d'intensité.

### 1.1.4. Système hydrographique

Les chaînes de la Cordillère de Truong Son s'étendant tout près de la mer favorisent un réseau assez dense de cours d'eau avec des caractéristiques remarquables : toutes les rivières sont courtes et rapides avec de petits bassins dont la plupart changent brusquement de l'amont à l'aval. La région compte environ 200 rivières qui ont plus de 10 km de long, 23 bassins qui ont des cours d'eau arrivant jusqu'à la mer. En moyenne, la densité du réseau hydrographique est de 0,75 km/km<sup>2</sup>, il y a une embouchure chaque 30 km. Parmi les fleuves, 6 seulement ont un bassin plus de 2.000 km<sup>2</sup>, du nord au sud : Ma, Ca, Gianh, Kien Giang, Quang Tri et Ta Trach (Rivière des Parfums) (Figure 1.2, Tableau 1.2), les autres ont un bassin inférieur à 1.000 km<sup>2</sup>. Le Ma et le Ca sont les plus grands fleuves, leurs bassins couvrent chacun une superficie supérieure à 17.000km<sup>2</sup> et ces deux bassins occupent 68% du territoire centre septentrional. Les 4 autres grands bassins couvrent 25% du territoire et les autres petits bassins occupent seulement 7% de la région.

**Tableau 1.2. Caractéristique morphologique des rivières de plus 100 km de long au Centre septentrional du Vietnam**

Rivière	Longueur (km)	Superficie du bassin (km <sup>2</sup> )	Altitude moyenne du bassin (m)	Densité du réseau (km/km <sup>2</sup> )
Ma	512/410*	24800/17600*	762	0,66
Ca	531/361*	27200/17730*	294	0,60
Gianh	158	4680	360	1,04
Kien Giang	96	2650	234	0,84
Quang Tri	156	2660	301	0,92
Ta Trach	104	2830	330	0,60

\* : numérateur pour tout le bassin / dénominateur pour la partie de bassin au Centre septentrional

(Pham Huy Tien., 2005)

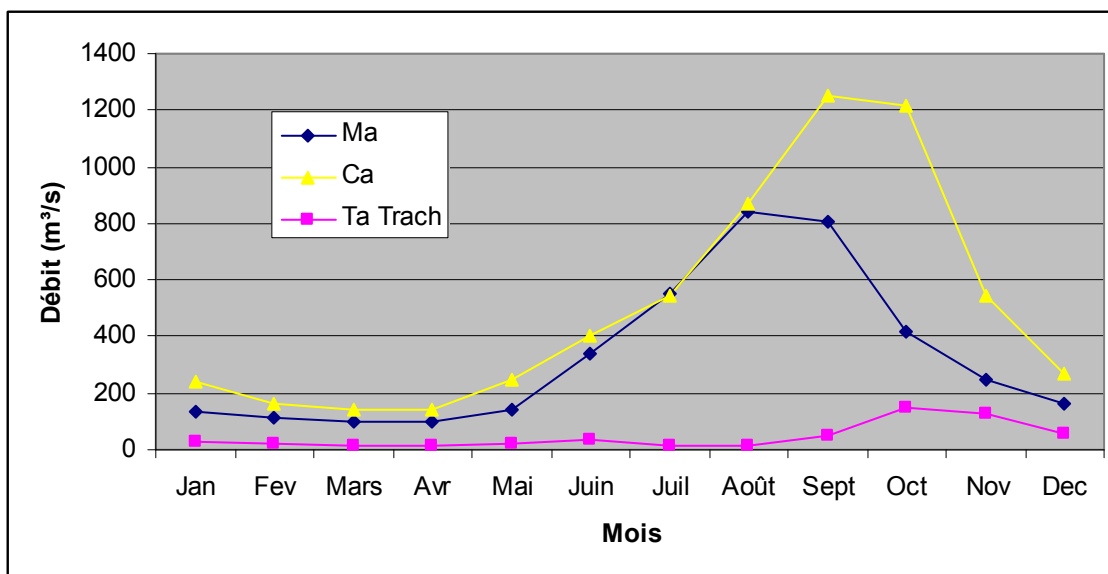
Selon les données observées sur plusieurs années, la somme annuelle de l'eau de ruissellement (la précipitation moins l'évaporation et moins la percolation) est estimée à plus de 73 milliards de mètres cube en moyenne pour tous les 23 bassins de la région. Cette somme d'eau, si elle était répandue sur toute la région (superficie de 51.980 km<sup>2</sup>) créerait une lame d'eau de 1.400 mm.

L'écoulement des rivières dans la région varie en fonction du régime de précipitations qui, à cause des conditions topographiques, est spatialement différencié avec un déplacement vers le sud en période de tempête.

Les débits dans les bassins de Ma et Ca sont plusieurs fois plus grands que les autres bassins de la région (Figure 1.3). Ces bassins se trouvent au nord de la région (Thanh Hoa, Nghe An), ils sont influencés directement par des turbulences météorologiques provenant de la mer (dépression tropicale, tempête). La saison de crue commence en juillet jusqu'en novembre avec un montant de 70 - 80% du total annuel d'écoulement et un débit spécifique de 8 - 10 l/s/km<sup>2</sup>. Les trois mois qui totalisent le plus d'écoulement avec 50% - 55% du total annuel sont août, septembre et octobre, forte activité des turbulences météorologiques dans la région. La période d'étiage va de décembre à juin, le mois avec le plus faible débit, seulement 1-3% du total annuel et de 2 - 5 l/s/km<sup>2</sup>, tombé en mars.

Dans les provinces Ha Tinh, Quang Binh et Quang Tri, au sud des bassins Ma - Ca, où se trouvent les bassins de Gianh, Kien Giang, Quang Tri et autres petits bassins, la période de crue dure dans 3 mois en automne - hiver avec 60 - 70% du total de l'écoulement de l'année. Octobre est le mois d'écoulement le plus grand avec 20 - 25% du total annuel. L'étiage dure

de décembre à mars. Le mois avec le moins d'écoulement (2 - 4% du total annuel) tombe en avril, ou en juillet - août.



**Figure 1.3. Variation annuelle du débit moyen des rivières principales**

(basée sur les données de: Pham Huy Tien, 2005 et Nguyen Huu Cu, 2006)

La période de crue à Thua Thien - Hué (Figure 1.3) arrive plus tard que les autres. Elle dure 3 mois d'octobre à décembre mais son écoulement compte 60 - 75% du total annuel avec un débit spécifique de 150 - 200 l/s/km<sup>2</sup>. La période d'étiage dure 9 mois, de janvier à septembre mais le pourcentage d'écoulement est assez élevé avec 35 - 40% du total annuel et un débit spécifique de 15 - 35 l/s/km<sup>2</sup>. Avril est le mois avec le plus d'étiage avec un pourcentage de 1-2,5 du total annuel. Les débits spécifiques dans toute période de crue et d'étiage atteignent des valeurs assez élevées par rapport aux autres régions du Vietnam.

Le système hydrographique joue non seulement un rôle pour la navigation mais aussi une source importante pour la production agricole, pour l'industrie et la vie. La variation extrême d'écoulement et le débit spécifique élevé rendent le Centre septentrional risqué pour les inondations, crues subites, sécheresses, érosion, etc.

### 1.1.5. La mer

Le Centre septentrional a 634,8 km de la côte avec 24 embouchures d'importances différentes. Le régime de marée y est compliqué : régulier diurne, irrégulier diurne, régulier semi-diurne et irrégulier semi-diurne.

Dans le nord (Thanh Hoa, Nghe An, Ha Tinh et nord Quang Binh), la marée irrégulière diurne est dominante avec une amplitude variant entre 1,2m - 2,5m et diminuant du nord au sud. Au sud de la région (sud Quang Binh, Quang Tri, Thua Thien - Hué), la variation de la marée est plus compliquée avec une dominance irrégulière diurne, sauf Thuan An et ses alentours (Thua Thien - Hué) où se trouve la marée régulière diurne. L'amplitude de marée diminue à 1,1 m au sud de Quang Binh, jusqu'à 0,5m à Thuan An et puis augmente vers 1m au sud de la région.

Les vagues sont contrôlées par la mousson : les vents du NE en hiver et du SO en été. Au large de la mer les vagues sont, grosso modo, de la même direction que les vents, alors qu'à la côte, cette coïncidence n'existe plus à cause de l'influence du fond et de la morphologie de la côte. Les vagues changent leur direction ainsi que leur hauteur d'un endroit à l'autre. Au nord,

de Thanh Hoa à Ha Tinh, les vagues NE en hiver ont une fréquence de 40% avec une hauteur de 0,8 - 0,9m en moyenne, mais cette valeur atteint 1,1 - 1,2m en moyenne et 2,0 - 2,5m au maximum pendant trois mois au début d'hiver. En été, les vagues SE sont les plus fréquentes, ensuite, ce sont les vagues qui viennent du nord et du nord-est. Leur hauteur atteint 0,6 - 0,7m en moyenne et 3,0 à 3,5 m au maximum. De juin à août, les vagues SO dominent avec une hauteur de 0,6 - 0,7m, cette valeur peut atteindre 6m lors des tempêtes.

Dans le sud, de Quang Binh à Thua Thien - Hué, les vagues du NE dominant en hiver avec une hauteur de 0,8 - 0,9m en moyenne. Cette valeur atteint 1,1 - 1,2m en moyenne et 4,0 - 4,5m au maximum dans les trois mois du début d'hiver. En été, les vagues du SE sont plus fréquentes, mais celles du NE et du N sont aussi connues. La hauteur est de 0,6 - 0,7m en moyenne et de 3,5m au maximum. En juillet et août, les vagues de l'ouest ou du sud-ouest dominant, leur hauteur atteint 0,7 m en moyenne et 4 m au maximum. En septembre et octobre où les tempêtes sont fréquentes, la hauteur des vagues peut aller jusque 6 - 7m et même plus.

Les courants littoraux sont aussi compliqués et contrôlés par des facteurs saisonniers. En hiver, les courants en majorité proviennent du nord et, au contraire, en été ils proviennent du sud ou du sud-ouest. Leur vitesse est de 20 - 25 m/s en moyenne.

La surcote pendant les tempêtes est aussi un facteur océanologique important. Statistiquement dans la région du Centre septentrional du Vietnam, sur 144 tempêtes, 101 engendrent des surcotes dont 58,2% de plus d'1 m, et 9,1% de plus de 2 m. La surcote maximale pendant une tempête a été enregistrée à 3,6m à Cua Hoi (Nghe An) en 1989, cette valeur est 5,8m si on compte la vive-eau.

#### **1.1.6. La forêt**

La forêt occupe une grande superficie dans le Centre septentrional du Vietnam, principalement dans la montagne à l'ouest. La végétation de toute la région peut être divisée en 6 types : Forêt dense, sempervirente, pluviale humide tropicale; Forêt dense, semi-caducifoliée, humide tropicale; Forêt dense, caducifoliée, peu humide tropicale; Lande d'arbres, arbrisseaux et herbes tropicales ; Végétation de plaine et Végétation sableuse littorale (Nguyen Lap Dan, 2004).

*Forêt dense, sempervirente, pluviale humide tropicale.* Ce type est distribué sous 800m et avec des précipitations moyennes annuelles de plus de 2.000 mm. La structure de la forêt comprend 5 étages : sur-canopée, canopée, sous-canopée, arbrisseau buissonnant et herbe et fougère.

*Forêt dense, semi-caducifoliée, humide tropicale.* Cette forêt se trouve aux altitudes de moins de 700m et avec des précipitations moyennes annuelles de 1.500 à 1.800 mm. Les arbres, y compris les semi-caducifoliés et les sempervirents avec une proportion de 25 – 75%, y croissent densément.

*Forêt dense, caducifoliée, peu humide tropicale.* Elle se développe en région de précipitations basses (600 - 1.200 mm) et de saison sèche longue. Les arbres caducifoliés occupent 75% de la forêt. Celle-ci est structurée en 2 strates dont une plus haute quasi-continue comprenant des arbres caducifoliés avec des lianes.

*Lande d'arbres, arbrisseaux et herbes tropicales.* Les prairies dominent dans cette lande, tandis que les arbres et les arbrisseaux sont épars. Cette lande se trouve dans un climat sec prolongé avec une basse précipitation. Elle est souvent influencée par des activités anthropiques.

*Végétation de plaine.* Le couvert végétal naturel est remplacé par celui planté. Les plantes souvent trouvées sont les céréales, les arbres fruitiers et les arbres de bois.

*Végétation sableuse littorale.* Elle est pauvre avec des plantes xérophiles

La région compte 1438 espèces végétales dont plusieurs espèces rares et précieuses. Néanmoins, un nombre d'espèces est en train de disparaître en raison de la surexploitation. C'est aussi la raison de la diminution de la surface forestière. Les statistiques provinciales montrent que Ha Tinh et Thanh Hoa perdent respectivement 2.500 ha et 6.000 ha de forêt chaque année. Pour réduire les risques naturels et conserver la biodiversité, des campagnes de reboisement se sont développées au cours des dernières dizaines d'années.

### **1.1.7. Ressources minières**

Le Centre septentrional du Vietnam est une région relativement riche en minerais. La région compte 60% des réserves de fer, 80% d'étain, 100% de chromite et 40% de calcaire par rapport au total national. Jusqu'à présent, plus de 300 mines et affleurements de minerais sont découverts dans ce territoire. La ressource minérale peut être divisée en groupes suivants : combustible, métal, non métal et eau minérale.

Les combustibles dans cette région comportent des charbons et des tourbes. Les charbons sont trouvés à Thanh Hoa, Nghe An, Ha Tinh et les tourbes sont localisées principalement à Thanh Hoa, mais aussi à Ha Tinh, Quang Binh và Thua Thien- Hué.

Les ressources en métal sont assez abondantes. Des chromes se concentrent à Thanh Hoa avec une grande mine de bonne qualité (chromite de Co Dinh). Les titanés en forme de placers sont distribués le long de la côte à Thanh Hoa, Nghe An, Ha Tinh, Thua Thien - Hué. Le fer se trouve dans plusieurs provinces de la région. La mine la plus importante est Thach Khe (Ha Tinh) avec une réserve estimée de 600 millions tonnes. Les étains sont concentrés dans la province de Nghe An dont les plus grandes mines sont le Suoi Bac et Nalit au nord-ouest de cette province. Ces minerais sont aussi découverts à Thanh Hoa et Ha Tinh. Le minerai d'or apparaît à plusieurs endroits dans les provinces : Thanh Hoa, Nghe An, Ha Tinh et Quang Binh. Les autres métaux, à savoir manganèse, aluminium, cuivre, plomb, zinc, mercure, etc., sont distribués principalement à Thanh Hoa, Nghe An, Ha Tinh et Quang Binh.

Les non-métaux dans la région sont aussi divers et abondants, y compris pyrite, barite, phosphorite, serpentinite, dolomite, bentonite, kaolinite, sable à verre, mica, quartz, pierre précieuse et matériau de construction. Les phosphorites sont abondantes dans la province de Thanh Hoa avec une réserve totale de 1 million de tonnes. Ils sont aussi trouvés à Nghe An, Ha Tinh et Quang Binh. Les kaolins sont largement distribués dans les provinces : Thanh Hoa, Ha Tinh, Quang Binh, Thua Thien - Hué avec une réserve de dizaines de millions de tonnes. Les sables à verre dont la grande réserve se trouvent à Ba Don (Quang Binh), sont aussi trouvés à Thua Thien- Hué et Ha Tinh. Ces sables sont qualifiés pour faire des verres de haute qualité. Le calcaire à ciment a un grand potentiel dans la province de Thanh Hoa. De plus, le calcaire ainsi que les dolomies sont aussi trouvés dans les provinces de Nghe An, Ha Tinh et Quang Binh. Les autres matériaux à construction : cailloux, galets, sable, ardoise, additif de ciment, poudre colorante, etc. sont aussi trouvés dans le Centre septentrional.

L'eau minérale et thermale est aussi une ressource importante dans la région. Plusieurs sources ont été découvertes dans les provinces de Nghe An, Ha Tinh et Quang Binh.



## 1.2. HOMME ET ACTIVITES SOCIO-ÉCONOMIQUES

### 1.2.1. Population

En 2006, selon le Bureau Général des Statistiques, le Centre septentrional du Vietnam comptait 10.668.300 habitants, soit 13% de la population du Vietnam. Entre 1995 et 2006 la population s'est accrue chaque année avec un taux de 0,98% en moyenne, mais la croissance annuelle a tendance à diminuer (Figure 1.4). En moyenne, la densité de population est de 207 habitants/km<sup>2</sup>, inférieure au niveau moyen national (254 habitants/km<sup>2</sup>) et elle est la deuxième plus faible densité parmi les 8 régions économiques du Vietnam.

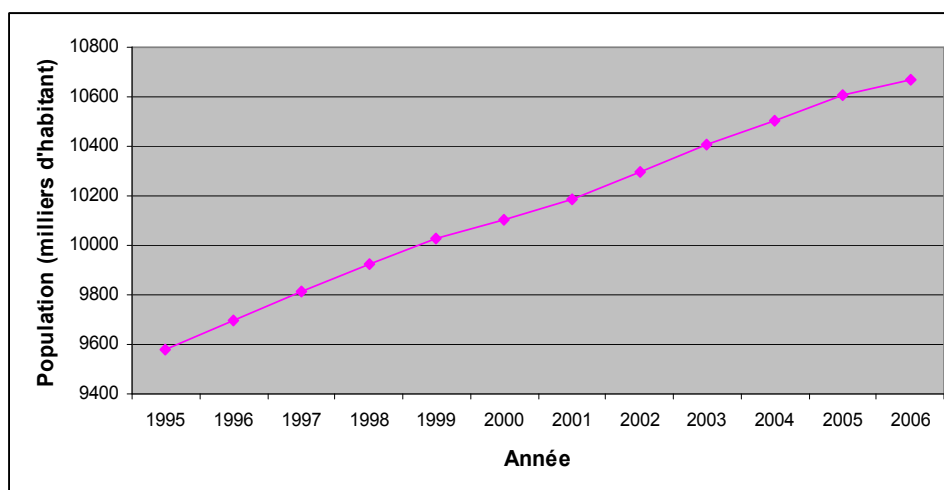


Figure 1.4. Evolution démographique du Centre septentrional entre 1995 et 2006.

(chiffres du Bureau générale de statistiques du Vietnam)

La répartition de la population est irrégulière dans la région. 86% de la population habitent à la campagne et le reste (14%) dans les centres urbains et la plupart de la population se concentre dans la plaine littorale. La population change aussi d'une province à l'autre (Figure 1.5). Thanh Hoa est la province la plus peuplée avec près de 3,7 millions d'habitants et une densité de 330 habitants/km<sup>2</sup>. Quang Tri a le moins de population et Quang Binh a la plus faible densité. Thua Thien Hué est la province la plus urbanisée avec 31% de population vivant dans les centres urbains.

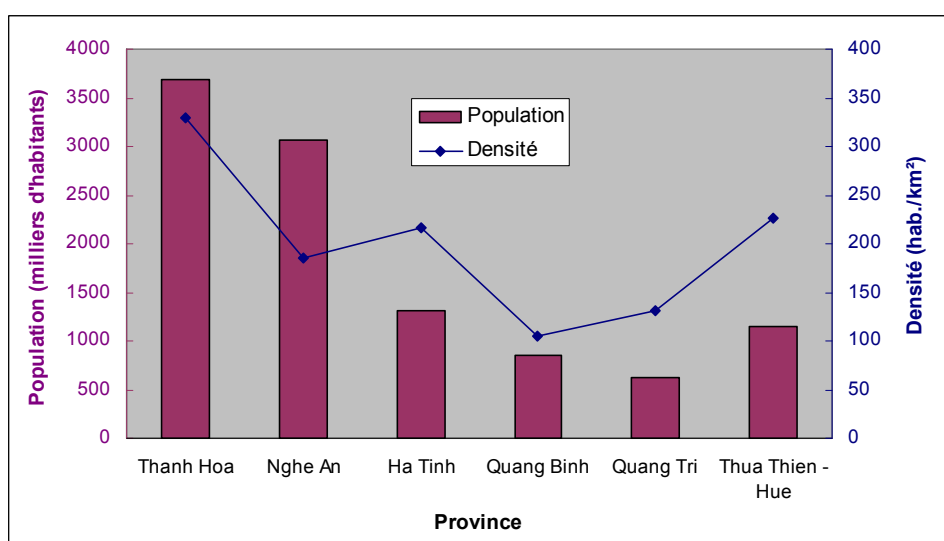


Figure 1.5. Répartition de population et de densité au Centre septentrional en 2006

(Chiffre du Bureau générale de statistiques du Vietnam)

La région est un lieu où habitent plus de 30 ethnies dont le Kinh (le Viet) est majoritaire avec plus de 80% de la population, vivent principalement dans la plaine; le Thai compte 4,8%, vivant principalement à la montagne de Thanh Hoa et Nghe An; les autres ethnies en faible pourcentage, habitant à la montagne.

En général, les provinces dans la région du centre septentrional sont pauvres à cause du faible niveau de base et des forts impacts des catastrophes naturelles. Néanmoins, dans les années récentes, le PIB annuel de la région a tendance à augmenter.

### **1.2.2. Infrastructures**

Situé au milieu du Vietnam, une position stratégique importante, les infrastructures au Centre septentrional sont de plus en plus développées. Pour l'axe nord - sud traversant la région, reliant le nord et le sud du Vietnam, il y a deux routes nationales, la numéro 1 et la route de Hochiminh, et le chemin de fer transvietnamien (Figure 1.1). La route nationale N°1 longe le littoral, plus ou moins parallèlement à la côte, joue un rôle important non seulement au niveau régional mais aussi national. La plupart des transactions commerciales dans la région et avec les autres du Vietnam est réalisée par cette route. L'autoroute Hochiminh passe par la montagne dans l'ouest de région. La reconstruction de cette route a été réalisée il y a un an, basée sur les routes nationales N°15 (de Thanh Hoa à Quang Tri) et N°14 (de Quang Tri à Thua Thien - Hué) formées sous le régime de la colonie française et la piste Hochiminh créée pendant la guerre du Vietnam. Cette route joue des rôles, d'une part, de développement économique de la "haute région" montagneuse de Truong Son et d'autre part, de délestage de la route N°1.

Reliant ces deux routes, il y a une série de routes nationales de direction est – ouest : N°217 (Thanh Hoa), N°7, N°46, N°48 (Nghe An), N°8 (Ha Tinh), N°12 (Quang Binh), N°9 (Quang Tri) et N°49 (Thua Thien - Hué). Ces routes jouent le rôle non seulement de relier la plaine et la montagne dans la région mais aussi de relier la région et le pays voisin (Laos). La route N°9, la plus importante appartenant à l'axe transasiatique reliant le Centre du Vietnam, le sud du Laos et le nord-est du Thaïlande, rénovée depuis quelques années est mise en service.

A côté des routes nationales, il y a aussi un réseau des routes de province et de district qui se répartissent dans toutes les provinces de la région. Jusqu'à présent, le système routier est beaucoup amélioré, mais il y a encore des difficultés de circuler spécialement sur les routes locales.

La navigation fluviale joue un rôle local d'échange des biens entre la plaine et la montagne. Une série de ports le long de la côte dans la région : Cua Lo, Nhat Le, Thuan An, Vung Ang et Chan May, sont des bases importantes pour la navigation maritime ainsi que la pêche en mer. L'aviation dans la région appartient au système d'aviation du Centre vietnamien avec deux grands aéroports : Vinh et Hué. Ils sont utilisés pour le service intérieur.

Autrefois, le centre septentrional vietnamien était une région qui manquait d'électricité, mais à présent, elle est suffisamment alimentée en électricité grâce à la ligne de haute tension de 500 KV mise en service depuis 1994. La région a un grand potentiel hydro-électrique grâce à son réseau hydrographique dense. Dans le futur, une série d'usines hydroélectriques seront construites dans la région à savoir : Cua Dat, Ban Uon (Thanh Hoa), Ban La (Nghe An), Rao Quan (Quang Tri), Huong Dien, A Luoi, Binh Dien (Thua Thien - Hué) pour répondre au besoin d'énergie de la région.

### 1.2.3. Economie

L'agriculture est le secteur dominant dans l'économie de la région. La culture des plantes vivrières y est fondamentale. Mais récemment, la surface consacrée à la riziculture a diminué à cause de l'expansion de terre pour les plantes industrielles et les habitations, d'autant plus que la terre est en danger de désertification engendré par des mouvements dunaires sableux, notamment dans la zone côtière des provinces de Quang Binh, Quang Tri. Les plantes industrielles à court terme : arachide, soja, tabac, etc. sont développées dans toutes les provinces. L'élevage s'est récemment développé, spécialement dans les provinces de Quang Binh et Quang Tri, qui comptent 45 animaux sur 100 habitants (Bureau Général de Statistiques, 2007)

La pêche a un grand potentiel avec 635 km de côtes, des dizaines d'embouchures, des milliers de km<sup>2</sup> d'eaux territoriales et quelques mille kilomètres de navigation fluviale. Ce sont les conditions favorables à la pêche. Le rendement annuel est estimé environ 60.000 à 70.000 tonnes de produits maritimes et 6.000 à 7.000 tonnes de poisson d'eau douce. A côté de la pêche, l'aquaculture est aussi développée. L'industrie de transformation des produits aquatiques dans la région est aussi promue.

Pour le secteur secondaire, la région possède 3 petits centres industriels : Thanh Hoa, Vinh et Hué. Parmi les six provinces de la région, Thanh Hoa est la province qui compte le plus d'établissements industriels alors que Quang Tri est la moins fréquentée.

L'exploitation minière et la production des matériaux de construction sont les deux industries puissantes dans la région. Les matériaux de construction, fortement exploités à Thanh Hoa, sont les calcaires de pavement, de construction et de ciment, les argiles de brique, les sables, les cailloux, les galets, etc. L'exploitation minière se développe dans toutes les provinces, notamment dans Nghe An, Thanh Hoa et Quang Binh. Chacune de ces 3 provinces a environ 100 établissements opérant dans cette industrie. Le charbon, l'or, l'étain et les pierres précieuses sont exploités à Nghe An, l'or à Thanh Hoa et le titane à Thanh Hoa, Nghe An et Ha Tinh. L'exploitation de sources d'eau minérale est localisée à Quang Binh, Nghe An et Ha Tinh.

L'industrie de transformation alimentaire se développe dans plusieurs localités avec les produits suivants : sucre, alcool, huile végétale, confiserie, notamment la transformation de produit maritime est fortement poussée au cours de ces dernières années. L'exploitation et la transformation de produits forestiers, spécialement le bois, se développent dans les provinces de Nghe An et Quang Binh.

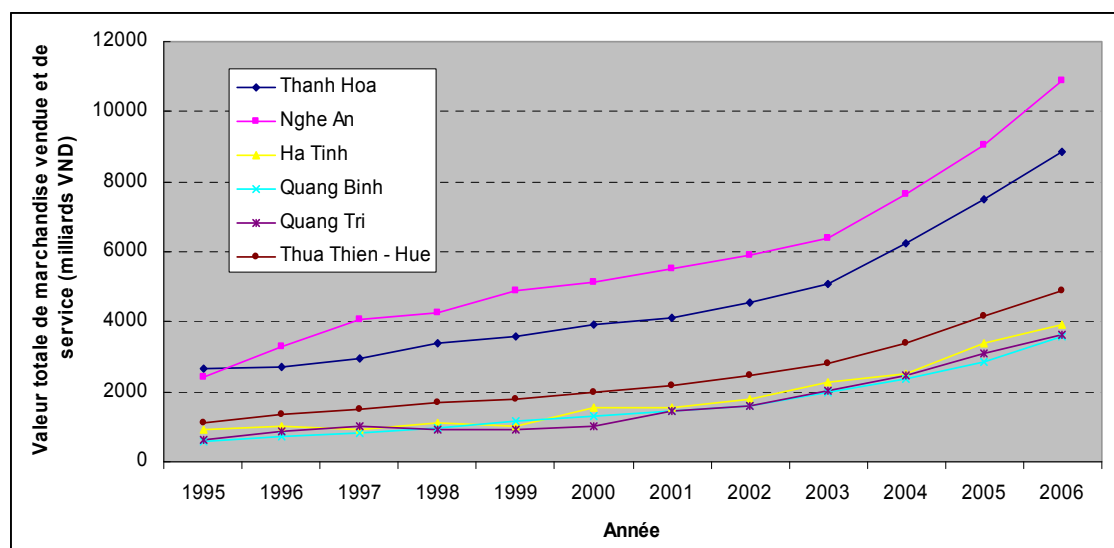
L'industrie artisanale et l'industrie de production de consommation (textile, habillement) sont promues à Thanh Hoa, Hué et Nghe An. La production de céramique et de verre est présente dans toutes les provinces de la région.

Les industries chimiques et mécaniques sont investies dans plusieurs localités : Thanh Hoa, Nghe An, Quang Binh et Thua Thien- Hué. La région, jusqu'à présent, n'a jamais eu de grands établissements industriels. A l'heure actuelle, une série de parcs industriels à savoir Vung Ang (Ha Tinh), Lao Bao (Quang Tri), Phu Bai, Chan May (Thua Thien- Hué) est en train de sortir de terre.

Le tourisme est un point fort de la région avec des sites touristiques au niveau national et international. La région est connue avec 3 patrimoines mondiaux admis par l'UNESCO : Hué, Musique du palais royal de Hué et le Parc national de Phong Nha-Ke Bang. Hué, ancienne capitale du Vietnam, est un des grands centres du tourisme du Vietnam. La bonne harmonie de la citadelle, les autres anciennes architectures dans un paysage naturel magnifique, la vie spirituelle, la musique royale, la gastronomie, etc., attirent de plus en plus le tourisme

international ainsi que national. Dans la région, il y a beaucoup de vestiges historiques et culturels de valeur à savoir : le site archéologique Nui Do- Dong Son de l'âge de la pierre, les citadelles des dynasties Le et des dynasties Ho, les pagodes Huong Tich et Chau Tien, les anciens champs de bataille de la guerre américaine, etc. Plusieurs parcs nationaux et réserves naturelles se trouvent dans la région avec des centaines d'espèces végétales et animales sauvages et précieuses. Beaucoup de beaux sites : les grottes Phong Nha (Quang Binh), Cua Ha et Tien (Thanh Hoa), notamment les plages le long de la côte comme Sam Son (Thanh Hoa), Cua Lo (Nghe An), Xuan Thanh, Thien Cam, Thach Hai, Mui Dao (Ha Tinh), Đa Nhay (Quang Binh), Cua Viet (Quang Tri), Canh Duong, Lang Co, Thuan An (Thua Thien- Hué) , etc. attirent un grand nombre de touristes chaque année.

La région du centre septentrional, comme toutes les autres régions, est en train d'être urbanisée. Il se développe beaucoup de centres commerciaux dont la plupart se situent le long de la côte comme les villes Thanh Hoa (Thanh Hoa), Vinh (Nghe An), Ha Tinh (Ha Tinh), Dong Hoi (Quang Binh), Dong Ha (Quang Tri), Hué (Thua Thien - Hué). La valeur totale de marchandise vendue et de service dans toutes les provinces de la région est de plus en plus élevée (Fig 1.6). En 2006, cette valeur atteint 35.735 milliards de Dong vietnamien (soit 2.233 millions de dollars américain) (Bureau général de statistiques du Vietnam). Les marchandises vendues principalement sont les produits agricoles, industriels et alimentaires. Nghe An et Thanh Hoa sont les deux provinces qui ont la valeur totale d'achat des marchandises la plus élevée, plus de 4500 milliards VND chaque année. Les provinces Nghe An, Ha Tinh et Thua Thien- Hué achète les produits de vivres avec un pourcentage plus élevé, environ 10 – 20% de la production. Le pourcentage le plus bas appartient à la province de Quang Tri avec une valeur de 2 – 4%.



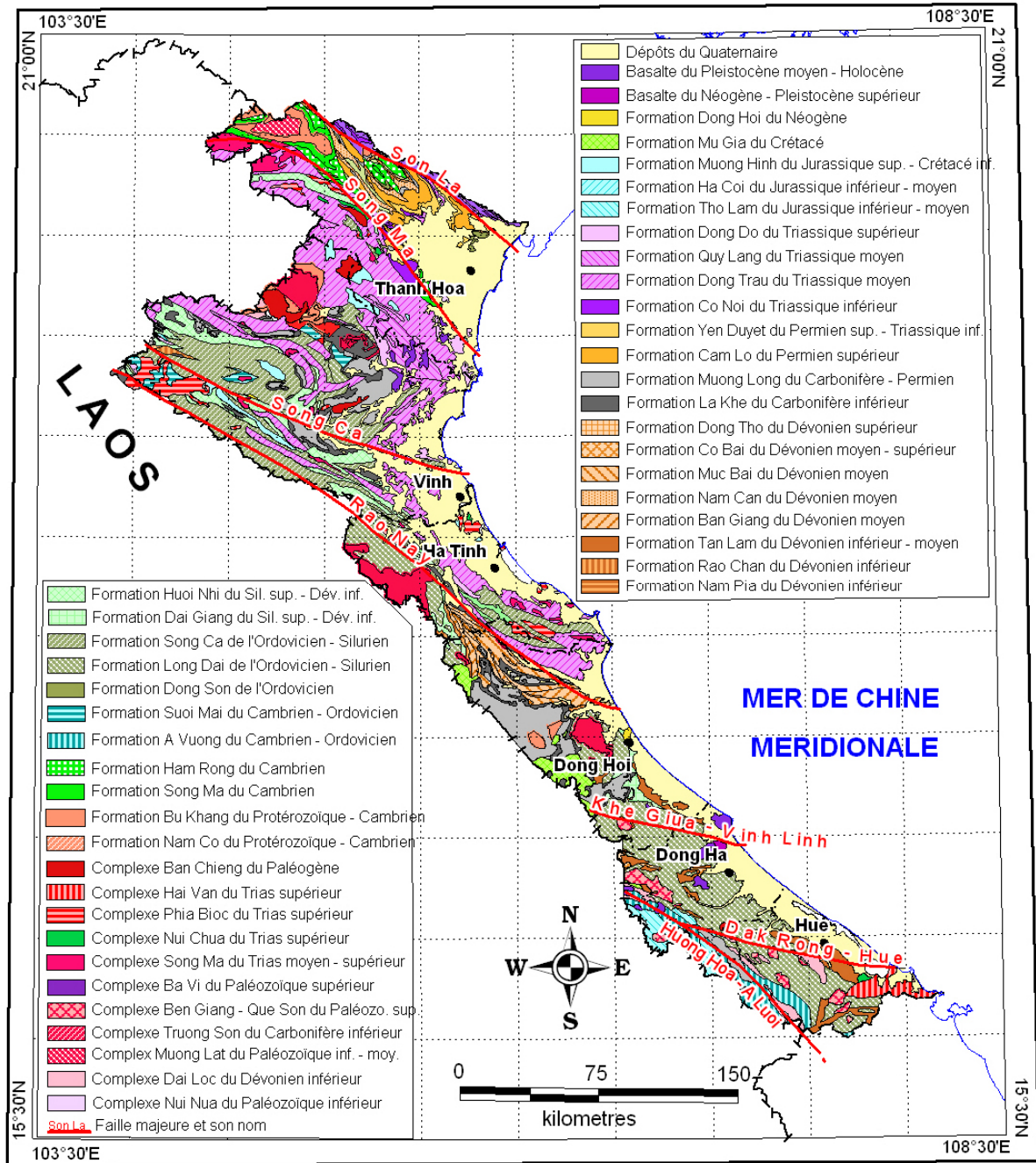
**Figure 1.6. Variation de valeur totale de marchandise vendue et de service dans les provinces du Centre septentrional entre 1995 et 2006.**

*(chiffres du Bureau générale de statistiques du Vietnam)*

### 1.3. GEOLOGIE

#### 1.3.1. Stratigraphie

Dans la région du Centre septentrional, affleurent des roches datées du Protérozoïque au Quaternaire. Sur la carte géologique à l'échelle de 1 : 500.000 (Tran Duc Luong et Nguyen Xuan Bao, 1988), il y a 35 formations stratigraphiques (Figure 1.7). Ces formations peuvent être groupées et résumées comme suit :



**Figure 1.7. Géologie de la région du Centre septentrional du Vietnam**

(Simplification de la carte géologique 1 :500.000 établie par Tran Duc Luong et Nguyen Xuan Bao, 1988)

Les formations du Néoprotérozoïque au Cambrien inférieur sont Nam Co et Bu Khang. Leurs roches principales sont des quartzites, schistes quartzeux, schistes sériciteux, plagiogneiss, micaschistes. Ils affleurent à l'ouest de Thanh Hoa et Nghe An

Les formations du Cambrien à l'Ordovicien inférieur comprennent : A Vuong, Song Ma, Ham Rong, Suoi Mai et Dong Son. Elles sont caractérisées par des grès quartzitoïdes, quartzites, schistes verts, schiste siliceux, schistes sériciteux, micaschistes et calcaires recristallisés se trouvant principalement à Thanh Hoa, Nghe An et Thua Thien Hué.

Les formations de l'Ordovicien – Silurien contiennent : Long Dai et Song Ca. Ces formations sont principalement composées de schistes argileux, schistes quartzeux sériciteux, quartzites

et grès. Elles affleurent à l'ouest des provinces : Nghe An, Quang Binh, Quang Tri et Thua Thien Hué.

*Les formations du Silurien supérieur – Dévonien inférieur* sont : Dai Giang et Huoi Nhi. Ces formations commencent par des grès en bas se changeant aux schistes argileux en haut, trouvés à Nghe An, Quang Binh, Quang Tri et Thua Thien Hué.

*Les formations du Dévonien* sont nombreuses : Nam Pia, Rao Chan, Tan Lam, Ban Giang Nam Can, Muc Bai, Co Bai et Dong Tho. Ces formations se trouvent fréquemment dans la région étudiée. Elles sont principalement composées de conglomérats, grès, siltites, argilites, marnes et calcaires.

*Les formations du Carbonifère – Permien* contiennent : La Khe, Muong Long, Cam Lo, Yen Duyet. Elles sont caractérisées par des conglomérats, grès, siltites, argilites, marnes et calcaires et se répartissent à Thanh Hoa, Nghe An, Ha Tinh, Quang Binh et Quang Tri.

*Les formations du Trias* comprennent : Co Noi, Dong Trau, Quy Lang et Dong Do. Elles sont trouvées principalement à Thanh Hoa, Nghe An et Ha Tinh avec des roches typiques comme : conglomérats, grès, siltites, argilites, marnes et calcaires.

*Les formations du Jurassique* sont : Tho Lam, Ha Coi et Muong Hinh. Ces formations affleurent à Thanh Hoa, Nghe An et Thua Thien Hué. Généralement, de bas en haut, on note des conglomérats, grès, puis des siltites et des argilites.

*La seule formation du Crétacé* est nommée Mu Gia, trouvée à l'ouest de Quang Binh. Elle est caractérisée par des sédiments terrigènes : conglomérat, grès, siltites et argilites.

*Les roches du Cénozoïque* appartiennent à la formation de Dong Hoi du Néogène ou aux basaltes du Pliocène supérieur - Pléistocène et du Pléistocène moyen – Holocène. La formation de Dong Hoi se trouve à l'endroit de même nom dans la province de Quang Binh. Elle est principalement composée de conglomérat à la base, d'argile et de kaolin au sommet. Les basaltes du Pliocène supérieur - Pléistocène et du Pléistocène moyen – Holocène se trouvent à Quang Tri et Nghe An.

*Les dépôts meubles du Quaternaire* (y compris une partie du Pliocène supérieur) couvrent toute la plaine littorale, le long des vallées et les dépressions intra-montagneuses. À la plaine littorale, leur épaisseur augmente vers la mer de quelques dizaines mètres à des centaines mètres. Ils sont divisés en dépôts du Pléistocène moyen, Pléistocène supérieur, Holocène inférieur – moyen, Holocène supérieur, Holocène indifférencié et Quaternaire indifférencié avec des faciès fluviaux et marins. Le long de la côte de Quang Binh à Thua Thien Hué, il y a des dunes sableuses façonnées par le vent. Le long des grandes vallées, ce sont des alluvions constituées de cailloux, galets, sable et argile. Les dépressions intra montagneuses sont remplies de dépôts alluviaux et de dépôts de pente avec des épaisseurs de quelques dizaines de mètres.

### **1.3.2. Complexes magmatiques**

Au Centre septentrional du Vietnam, le magmatisme est fréquent et diversifié. On peut y trouver au moins 11 complexes intrusifs, datés du Paléozoïque au Cénozoïque. Ils peuvent être divisés en 3 groupes : ultrabasique, basique et acide.

Le groupe ultrabasique comprend deux complexes : Nui Nua du Paléozoïque inférieur – moyen et Ba Vi du Paléozoïque supérieur. Ils sont trouvés à Thanh Hoa avec des roches typiques : serpentine, harburgite, dunite, verlite, lertzolite, péridotite et gabbro.

Le groupe basique n'a qu'un complexe – le Nui Chua du Trias supérieur, trouvé en forme de massifs de taille de quelques km<sup>2</sup> à Nghe An, Ha Tinh et Thua Thien - Hué. Les gabbros sont la roche principale dans la composition.

Le groupe acide contient 8 complexes :

- Dai Loc du Dévonien inférieur,
- Muong Lat du Paléozoïque inférieur – moyen
- Truong Son du Carbonifère inférieur
- Ben Giang – Que Son du Paléozoïque supérieur
- Song Ma du Trias moyen – supérieur
- Phia Bioc du Trias supérieur
- Hai Van du Trias supérieur et
- Ban Chieng du Paléogène

Les roches principales de ces complexes sont : les granites et granodiorites. Ils se trouvent fréquemment à l'ouest de la région d'étude.

### 1.3.3. Failles actives

Des failles actives divisent la région en différentes structures néotectoniques. Leurs activités sont reflétées par les tremblements de terre, les anomalies géochimiques et géothermiques, la fissuration du sol et le glissement de terrain, l'apparition d'eau thermale, etc. Les failles majeures sont (Figure 1.7) :

- La faille de Son La sur 115 km dans le nord de la région de direction NO-SE.
- La faille Song Ma, traverse la région à Thanh Hoa en direction NO-SE.
- La faille Song Ca est un système de plusieurs failles traversant les provinces de Nghe An et Ha Tinh.
- La faille Rao Nay traverse la région à SO Ha Tinh - Nord Quang Binh en direction de SO-NE.
- La faille Khe Giua - Vinh Linh passe le territoire 120 km au sud Quang Binh - nord Quang Tri en direction ONO-ENE.
- La faille Dak Rong - Hué traverse le sud-ouest Quang Tri et le nord Thua Thien - Hué sur une distance de 170km.
- La faille Huong Hoa - A Luoi traverse l'ouest des provinces Quang Tri et Thua Thien - Hué.

## 1.4. GEORISQUES DANS LA REGION

Le Centre septentrional est un territoire étroit qui s'étend sur plus de 600km sur 6 provinces Thanh Hoa, Nghe An, Ha Tinh, Quang Binh, Quang Tri et Thua Thien - Hué. Cette région est caractérisée par :

- une structure géologique complexe avec une longue évolution et des réactivités de failles spécialement celles orientées NO - SE.
- la présence de la haute montagne, fortement disséquée par un réseau hydrographique dense et raide à l'ouest de la région, descendant brusquement à la plaine littorale orientale.
- un régime extrême du climat avec une précipitation abondante, mais irrégulière spatialement et temporellement, et de fréquentes tempêtes.

Ces caractéristiques rendent la région une des plus susceptibles aux géorisques au Vietnam. Ces risques sont mentionnés par plusieurs auteurs : Nguyen Dinh Xuyen., 1985 ; Nguyen Trong Yem, 2001; Tran Tan Van, 2001; Tran Trong. Hué., 2001, 2006 ; Le Quoc Hung,

2002 ; Nguyen Van Cu & Pham Huy Tien, 2003 ; Tran Huu Tuyen, 2003 ; Nguyen Lap Dan, 2004 ; Phan Trong Trinh, 2004; Pham Huy Tien, 2005 ; etc. Basé sur l'analyse de 7 géorisques : fissuration du sol, glissement de terrain, crue subite, érosion subaérienne, érosion - accumulation de rivière, érosion - accumulation de la côte, influence l'environnement géochimique sur l'être humain, Tran Trong Hue (2001) a classifié la région en trois niveaux : de géorisque fort, de géorisque moyen et de géorisque faible (Figure 1.8).

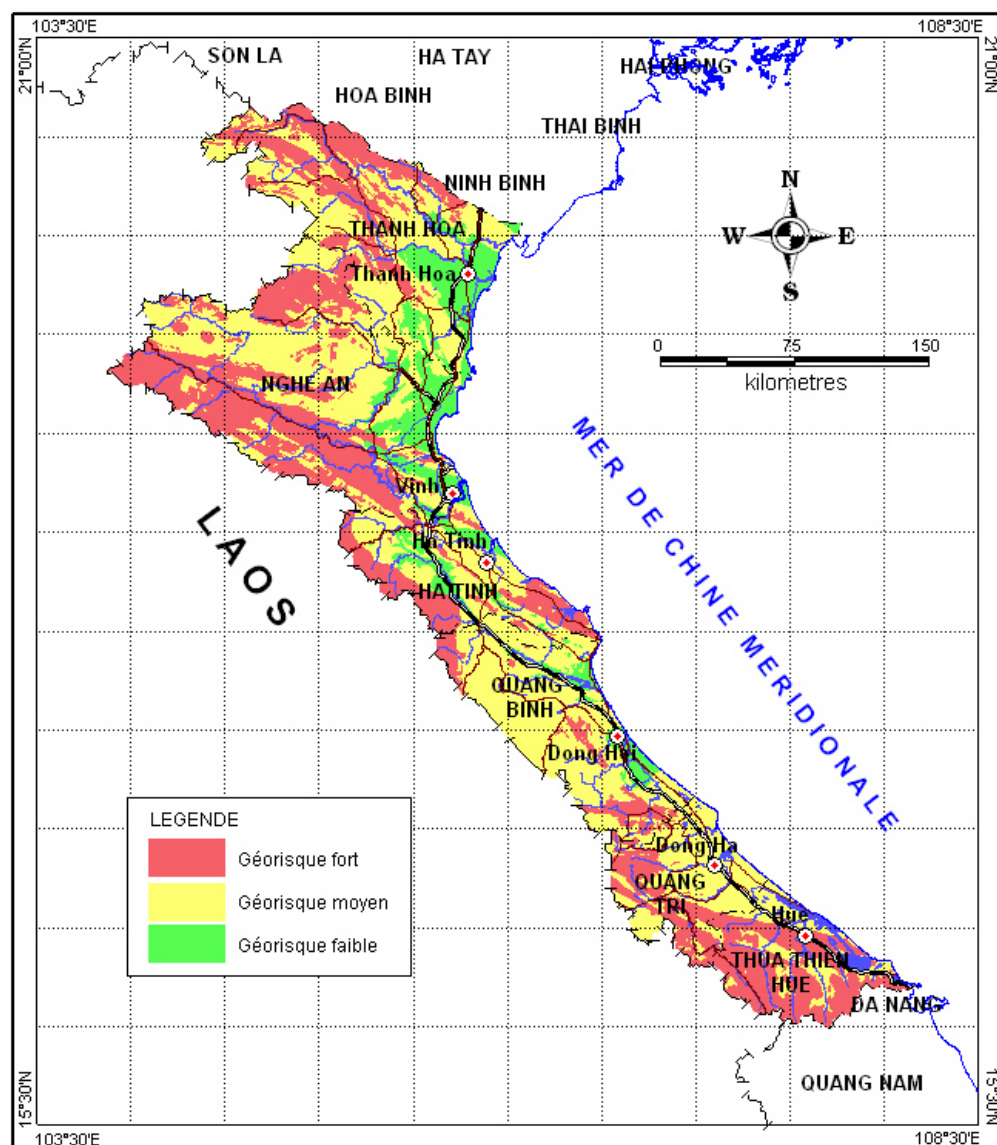


Figure 1.8. Répartition des géorisques au Centre septentrional du Vietnam

(Tran Trong Hue, 2001)

La région à géorisques forts compte les trois quarts des districts ou équivalents dans le Centre septentrionale du Vietnam. Elle se trouve principalement à l'ouest de Thanh Hoa, au sud-ouest de Nghe An, à l'ouest et à l'est de Ha Tinh, à l'ouest de Quang Tri et au sud-ouest de Thua Thien - Hué. Dans cette région, 2 ou plus géorisques sont souvent trouvés. En général, la région de géorisque fort se trouve à haute montagne dans l'ouest du Centre septentrional avec une haute densité de géorisque fort ou à la plaine littorale dans l'est avec un éparpillement de géorisques forts.



La région de géorisque moyen occupe 13 districts sur un total de 81 dans le Centre septentrional du Vietnam. Elle se trouve dans la zone de collines ou en plaine où au moins un géorisque à niveau moyen ou plusieurs géorisques faibles se présentent.

La région de géorisque faible est principalement limitée dans la plaine littorale à Thanh Hoa et Nghe An. Tous les risques y sont tellement faibles qu'ils causent des dommages insignifiants.

#### **1.4.1. Risque sismique.**

Le risque sismique est lié aux activités néotectoniques, qui se passent le long des failles actives dans la région: Son La, Song Ma, Song Ca, Rao Nay, Khe Giua - Vinh Linh, Dak Rong - Hué, Huong Hoa - A Luoi (Bui Van Thom, 2002 ; Phan Trong Trinh, 2004) (Figure 1.7). Les activités de ces failles sont reflétées par les fissures dans le sol, les glissements de terrain, les sources thermales, les anomalies géochimiques et géothermiques qui apparaissent le long de ces failles. La sismicité de ces failles est mentionnée par Nguyen Dinh Xuyen & Nguyen Ngoc Thuy (1997) comme suit :

La faille de Son La a engendré les tremblements de terre à Tuan Giao (au-delà de la région) le 24 juin 1983 avec une magnitude de 6,7 sur l'échelle de Richter, à Kim Tan avec une magnitude de 5 et plusieurs faibles séismes à Nga Son.

La faille Song Ma, a causé des tremblements de terre de magnitude maximale de 7,0 dans le passé. Les calculs de l'Institut de Physique du Globe - Académie des Sciences et de la Technologie du Vietnam montrent que la faille Song Ma peut engendrer un séisme de  $M_s \text{ Max}$  de 6,5 - 7,0 avec un foyer sismique en profondeur de 25 - 30 km.

La faille Song Ca est un système de plusieurs failles dont les plus grandes sont : Song Ca (faille principale), Huoi Nhi - Xieng Lip, Khe Bo - Nghi Xuan, Khe Bo - Ha Tinh. Un séisme de  $M_{\text{max}}=5,6 - 6$ ,  $H=15 - 20$  km,  $I_0=8$  (échelle MSK 64) peut être engendré dans cette faille. Les tremblements de terre y enregistrés sont ceux en 1903 avec une magnitude de 5,1, en 1918 avec magnitude de 5,6 et en 1921 avec magnitude de 6,0. La faille Song Ca est donc active.

Rao Nay est la faille dans le SO Ha Tinh et le Nord Quang Binh, qui peut engendrer un tremblement de terre avec  $M_{\text{max}}=5,6 - 6$ ,  $H=15 - 20$  km,  $I_0=8$  (l'échelle MSK64). Les tremblements de terre qui se sont passés entre 1900 et 2000 ont une magnitude de 4,8 à 6 sur l'échelle de Richter.

La faille Khe Giua - Vinh Linh peut engendrer un tremblement de terre avec une  $M_{\text{max}}=4,0 - 4,9$ ,  $I_0=5-6$  (échelle MSK64) mais à cause de son prolongement au delà, cette région peut subir un tremblement de terre avec une  $M_{\text{max}}=5,1 - 5,5$ ,  $I_0=6-7$  (échelle MSK64).

Pour la faille Dak Rong – Hué, des mesures menées en juin 1995 et en février 1998 à Huong Tra - Hué (province de Thua Thien - Hué) par l'Institut des Sciences géologiques donnent une amplitude de mouvement vertical de 4 mm/an avec la montée du côté SO et la subsidence du côté NE ; et une amplitude de 3mm/an de mouvement dextre (Bui Van Thom, 2001). La faille Dak Rong - Hué est une faille sismogénique avec une  $M_{\text{max}}=5,6-6$  et  $H_{\text{max}}=10-15$ km (Nguyen Dinh Xuyen & Nguyen Ngoc Thuy 1997). L'embouchure de Thuan An, environ 10km de Hué a subi un tremblement de terre d'intensité III autrefois (Nguyen Dinh Xuyen & Nguyen Ngoc Thuy 1997). En novembre 1829, au nord de Hué, un tremblement de terre avec une intensité de VII s'est passé (Van Duc Chuong, 1996). La faille Dak Rong - Hué est donc active.

La faille Huong Hoa - A Luoi, dans le zonage des tremblements de terre au Vietnam, établi par Nguyen Dinh Xuyen & Nguyen Ngoc Thuy 1997, tombe dans la zone sismogénique de  $M_{max}=5.6-6$  et  $H_{max}=10-15\text{km}$ .

#### 1.4.2. Fissuration du sol

La fissuration du sol ou les diaclases est contrôlée par le relief, les propriétés des roches et les autres conditions naturelles. Au centre septentrional du Vietnam, la fissuration du sol est un géorisque dangereux et principalement originaire d'activités endogènes. En général, les fissures de sol répartissent irrégulièrement dans le territoire. Elles se concentrent souvent dans les bandes traversées par les failles actives. La relation entre la répartition des fissures et la zone de faille active est mentionnée par Tran Trong Hue (2001) (Tableau 1.3).

**Tableau 1.3. Répartition des fissures du sol dans les zones influencée par les failles actives**

Zone influencée par faille active	Endroit : événement
Son La	Kim Tan (Thach Thanh - Thanh Hoa) : rupture de digue fluviale en 1996 Bim Son (Thanh Hoa) : 3 bandes de fissures sur 3km de long
Song Ma	Yen Cat (Nhu Xuan - Thanh Hoa): fissures, rupture du pont Quang Truong (Quang Xuong - Thanh Hoa): fissures grandes de 0,5 - 1m de large, des centaines mètres de long
Song Ca	Huoi Giang et Sop Thap (Ky Son - Nghe An) : fissures et affaissement dans vaste superficie sur substrat de grès et de quartzite. Son Ha, Ve, Xop Chao (Tuong Duong - Nghe An) : fissures de 150 - 300m de long Ru Suong (Yen Thanh - Nghe An), Thanh Khai (Thanh Chuong - Nghe An), Duc Thuy (Duc Tho - Ha Tinh) : fissures dans la plaine, en bande de centaines mètres de long.
Rao Nay	Loc Yen (Huong Khe - Ha Tinh) : fissure sur 10 km <sup>2</sup> sur la terrasse de la rivière Ngan Sau Thanh Hoa (Tuyen Hoa - Quang Binh) : fissure, trous d'affaissement alignés
Khe Giua - Vinh Linh	Vinh Lam, Ben Quang (Vinh Linh - Quang Tri), Kim Thuy (Le Thuy - Quang Binh) : fissures de 500m de long au maximum Cam Lo (Quang Tri) : fissures, trous d'affaissement alignés
Dak Rong - Hué	Citadelle de Hué, Huong Ho, Phu Thuong, Thuy Chau, Phu Bai (Thua Thien - Hué) : fissuration avec grande densité, en bandes
Huong Hoa - A Luoi	Huoi Nhi (Dak Rong - Quang Tri), Huong Phong, Hong Ha (A Luoi - Thua Thien Hué) : fissuration avec glissement de terrain,

(résumé de Tran Trong Hue, 2001)

Au Centre septentrional, la fissuration peut être trouvée sur tous reliefs : la montagne, la colline et la plaine, sur la roche, sur la croûte d'altération ou sur le dépôt meuble du Quaternaire. L'échelle de fissuration change çà et là. Sa dimension change de quelques mètres à centaines mètres de long, de quelques centimètres à quelques mètres de large et de dizaines centimètres à 3 - 4 mètres de profondeur. Dans quelques cas, la fissuration est accompagnée avec le jaillissement d'eau ou de glissement de terrain. La fissuration et l'affaissement ont endommagé les infrastructure dans la région, par exemple, la rupture de la digue à Kim Tan (Thach Thanh - Thanh Hoa), de la route Pho Cat - Bim Son (Thanh Hoa) et de la route Thanh Khai - Thanh Chuong (Nghe An). De nombreux ouvrages civils (citadelle, bâtiment, maison, école, hôpital, etc.) ont été détruits par la fissuration à plusieurs endroits, spécialement à Quang Tri et Thua Thien - Hué. Plus dangereusement, la fissuration est aussi à la base d'un déclenchement de glissement de terrain.

### **1.4.3. Glissements de terrain.**

Les glissements de terrain s'observent fréquemment dans la région du Centre septentrional. Ils engendrent de graves conséquences en endommageant des biens et des vies dans la région. Bien que les autorités essaient de les limiter, le coût traitant ces conséquences peut atteindre des dizaines de milliards de dong vietnamien.

L'échelle de glissement change selon les endroits. Les glissements de terrain sont plus nombreux et plus graves en montagne dans l'ouest de la région, spécialement à Thanh Hoa, Nghe An et Thua Thien - Hué. Les grands glissements endommagent souvent le système routier dans la région. Toutes les routes nationales ainsi que régionales sont touchées et même bloquées pendant plusieurs jours à cause de glissements. Le volume de glissement varie de centaines de m<sup>3</sup> à quelques milliers de m<sup>3</sup>, parfois à 200.000 m<sup>3</sup>. Un événement avec plusieurs grands blocs glissés de dizaines de milliers de mètres cube, provoqué par la forte et longue pluie, vers la fin d'octobre et au début de novembre 1999, a fait des morts et de graves dégâts à Thua Thien - Hué, spécialement dans la région montagneuse du SO de cette province. Thua Thien - Hué est aussi la province la plus fréquemment touchée par les glissements dans le Centre septentrional du Vietnam au cours des dernières années.

Les glissements de terrain au Centre septentrional s'observent principalement à la période pluvieuse d'août à novembre. Ils sont de plus en plus nombreux et à certains endroits, ils se passent à plusieurs reprises. Les causes des glissements dans cette région sont indiquées comme suit : (Tran Trong Hue, 2001)

- Le relief et la pente
- La composition de la roche et l'altération
- La structure tectonique et l'activité de tectonique récente
- Le facteur hydrologique
- La végétation
- Le facteur anthropique

En analysant ces facteurs, le Centre septentrional est généralement divisé en 4 régions avec différents niveaux de risque de glissement.

- La région de risque élevé de glissements. Elle compte 15 - 20% du territoire, se situant dans l'ouest du territoire
- La région de risque moyen de glissement. Elle occupe 55 - 60% du territoire, se trouvant principalement à Thanh Hoa, Nghe An, le nord de ce territoire ou alternant avec la région de risque élevé
- La région de risque faible de glissement. Elle se trouve à la zone côtière avec 30 - 35% de la superficie de territoire.
- La région de chute de roches : Elle se trouve dans le nord de Thanh Hoa, au centre de Nghe An et l'ouest de Quang Binh avec une superficie modeste

### **1.4.4. Crues subites et coulées de boue**

Les crues subites et coulées de boue au Vietnam ont été étudiées par Cao Dang Du (1995), Le Bac Huynh (1999), Tran Van Tu (2000). Plus en détail, pour la région du Centre septentrional, ce sont les études de Le Duy Bach *et al.*, (1999) et Tran Trong Hue (2001). La région est souvent attaquée par des tempêtes, des dépressions tropicales et des vagues de froid du nord. Les pluies très fortes et longues engendrent des crues subites et des coulées de boue. L'apparition de ces crues coïncide donc avec la période d'activité des facteurs provoquants, d'août à novembre. Au cours des dernières années, les crues subites et les coulées de boue

deviennent un géorisque important qui cause de grands dégâts en montagne dans l'ouest du territoire d'étude. Typiquement, l'événement de 1983 à Hai Lang a fait 25 morts, les crues subites en 1996 à Thua Thien Hué ont détruit 30 ponts (Tran Trong Hue, 2001).

Le danger de crue subite – coulée de boue sur le développement socio-économique est toujours élevé à cause de la soudaineté de ce risque en même temps que les fortes pluies qui engendrent d'autres risques tels que crue et glissements de terrain. Plusieurs travaux civils, des infrastructures, des bâtiments, des habitations, des terres agricoles, des surfaces d'eau pour l'aquaculture, etc. même la vie humaine ont été frappés par des crues subites ou des coulées de boue.

Les crues subites se trouvent surtout en montagne tandis que les coulées de boue ne se passent que dans la zone influencée par les grandes failles où une forte énergie du relief est notée et où des sources d'eau ont été trouvées.

### **1.4.5. Erosion**

#### *1.4.5.1. Erosion subaérienne*

De la forte énergie du relief, des conditions climatiques chaudes et pluvieuses résultent une forte érosion dans le Centre septentrional. L'érosion s'étend souvent sur le sol nu ou peu végétalisé dans l'ouest de la région. Seulement dans la sylviculture de cette région, l'érosion se développe sur une superficie environ de 1,6 millions de hectares, soit 46,5% du total (Tran T. H. *et al.*, 2001). L'érosion dans les plus grands bassins versants de la région (Figure 1.2) est calculée par Tran T. H. *et al.* (2001) comme suit :

- Bassin de Ma à Thanh Hoa : 3,62 T/ha/an
- Bassin de Ca à Nghe An, Ha Tinh : 20,34 T/ha/an
- Bassin de Gianh à Quang Binh : 8,5 T/ha/an
- Bassin de Quang Tri à Quang Tri : 15,7 T/ha/an
- Bassin de Ta Trach (Rivière des parfums) à Thua Thien - Hué : 19,5 T/ha/an

L'érosion subaérienne n'est pas un risque mortel. Elle peut dégrader le sol, étendre la surface de sol nu, remblayer ou recouvrir les basses terres, tout ceci empêche le développement de la région. Ce risque peut être résolu par la reforestation.

#### *1.4.5.2. Érosion côtière*

La côte du Centre septentrional s'étend sur 634 km avec 23 embouchures. Elle est divisée en fonction de la vitesse de changement comme suit (Nguyen Van Cu & Pham Huy Tien, 2003) :

- La côte de forte accumulation avec une vitesse de 30 - 100 m/an
- La côte de moyenne accumulation avec une vitesse de 10 - 30 m/an
- La côte de faible accumulation avec une vitesse moins de 10 m/an
- La côte de forte érosion avec une vitesse de 15 - 40 m/an
- La côte de moyenne érosion avec une vitesse de 5 - 15 m/an
- La côte de faible érosion avec une vitesse de moins de 5 m/an
- La côte stable

Le nombre de segments d'érosion dans la région change d'une province à l'autre :

- Thanh Hoa : 13 segments en érosion
- Nghe An : 30 segments en érosion

- Ha Tinh : 11 segments en érosion
- Quang Binh : 25 segments en érosion
- Quang Tri : 29 segments en érosion
- Thua Thien - Hué : 33 segments en érosion

Cette différence résulte de la particularité de chaque province. Thua Thien - Hué est la province où l'érosion est la plus fréquente et la plus grave.

L'érosion et l'accumulation le long de la côte dans la région alternent saisonnièrement. L'accumulation se passe en été avec les vents provenant du sud tandis que l'érosion se déroule en hiver avec les vents provenant du nord-est. Toutefois, la forte intensité d'érosion et d'accumulation tombe dans la période de pluie et de crue d'août à novembre.

En général, sur toute la côte, il y a une tendance à l'érosion au cours des dernières années. Néanmoins, à la côte de Thanh Hoa, Nghe An et Ha Tinh, cette tendance n'est pas remarquable à cause de l'influence des grands fleuves. L'accumulation et l'érosion se passent fortement et de façon compliquée à Thua Thien - Hué et Quang Binh. Elles sont un frein au développement de la région.

## 1.5. CONCLUSION

Le Centre septentrional est un territoire limité dans une bande étroite de direction NO-SE au milieu du Vietnam. Son relief diminue fortement de l'ouest à l'est, de la montagne, vers les collines, à la plaine côtière où se trouvent des dunes sableuses, des lagunes dont la Tam Giang est une des grandes lagunes de l'Asie du Sud-est.

Le climat tropical humide de mousson est caractérisé par deux saisons nettes : hiver froid humide et été chaud. Les précipitations sont abondantes à cause de la position des versants de la montagne recevant les vents pluvieux de la mer à l'est, qui sont arrêtés et causent de fortes pluies sur la Cordillère de Truong Son à l'ouest.

Le réseau hydrographique est assez dense mais toutes les rivières sont courtes et rapides avec de petits bassins dont la plupart changent brusquement de l'amont à l'aval. La saison de crue se situe dans les mois de juillet et de décembre, elle change d'un endroit à l'autre avec un retard du nord au sud. L'écoulement en période de crue compte 60 – 80% du total annuel.

Plus de 600 km de côte subissent différents régimes de marée : régulier diurne, irrégulier diurne, régulier semidiurne et irrégulier semidiurne. Les vagues sont contrôlées par la mousson : les vents du NE en hiver et du SO en été. Les courants littoraux sont compliqués mais saisonniers. En général, ils proviennent du nord en hiver et le contraire en été. La côte est aussi la première terre qui est fréquemment touchée par des tempêtes, dépressions tropicales, fronts froids, de la convergence intertropicale. Ce sont aussi les facteurs provoquant la surcote avec une valeur maximale enregistrée de 3,6m.

La forêt occupe une grande superficie à la montagne à l'ouest. Autrefois elle avait diminué à cause de la guerre et de la surexploitation. Pour réduire les risques naturels et conserver la biodiversité, la reforestation est promue au cours des dernières dizaines années.

13% de la population du Vietnam habite au Centre septentrional et la plupart à la campagne à la plaine littorale. Généralement la région reste encore pauvre à cause du bas niveau et des impacts fréquents de catastrophes naturelles. Néanmoins, pendant les années récentes, son PIB annuel a tendance à monter.

Situé au milieu au Vietnam, une position stratégique importante, le système d'infrastructure au Centre septentrional est de plus en plus développé. Le système de communication y comprend : route, chemin de fer, voie de navigation fluviale et maritime, et aviation

L'agriculture est le secteur dominant dans l'économie de la région. L'industrie, autrefois moins développée, est beaucoup investie avec la présence d'une série de parcs industriels. À présent, l'exploitation minière et la production des matériaux de construction sont les deux industries puissantes. La région est en train de s'urbaniser avec l'apparition de centres commerciaux dont la plupart se situent le long de la côte comme les villes. Les marchandises principalement vendues sont les produits agricoles, industriels et alimentaires. Le tourisme est un point fort de la région avec des sites touristiques de niveau national et international. Tous ces centres attirent un grand nombre de touristes chaque année.

La géologie de la région est compliquée avec la présence des différentes roches qui appartiennent à 35 formations stratigraphiques et 11 complexes intrusifs, datées du Protérozoïque au Quaternaire. La région est aussi influencée par l'activité de failles.

Les caractéristiques locales rendent la région une des plus sensibles aux géorisques du Vietnam. Quelques géorisques importants peuvent être comptés comme suit: sismique, fissuration du sol, glissement de terrain, crue subite, érosion subaérienne, érosion - accumulation de rivière, érosion - accumulation de la côte.

Le risque sismique est lié aux activités néotectoniques, qui se passent le long des failles actives, reflétées par les tremblements de terre, les fissures dans le sol, les glissement de terrain, les sources thermales, les anomalies géochimiques et géothermiques. Ces failles peuvent engendrer des séismes de magnitude de 5 à 7.

La fissuration du sol est un géorisque principalement lié à l'activité endogène. Elle se concentre souvent dans les bandes traversées par les failles actives. Les fissurations ont endommagé les infrastructures et plus dangereusement, sont aussi à la base de déclenchements de glissements de terrain.

Les glissements de terrain se passent fréquemment avec une échelle changeant çà et là. Ils sont plus nombreux à la montagne dans l'ouest de la région, spécialement en raison de pluie. Ils causent de graves conséquences en endommageant des biens et des vies dans la région. Bien que les autorités essaient de le limiter, le coût traitant ces conséquences peut atteindre des dizaines de milliards de dongs vietnamiens.

Les crues subites se localisent surtout en montagne tandis que les coulées de boue ne se passent que dans la zone influencée par les grandes failles. Toutes les deux apparaissent dans la période d'activité des tempêtes, des vagues de froid du nord.

De la forte énergie du relief et des conditions climatiques chaudes et pluvieuses résultent une forte érosion subaérienne. Elle augment la surface de sol nu ou peu végétalisé dans l'ouest de la région. Ce risque peut être résolu par le reboisement.

L'érosion et l'accumulation le long de la côte se passent saisonnièrement. Généralement, il y a une tendance à l'érosion au cours des dernières années. Néanmoins, à la côte de Thanh Hoa, Nghe An et Ha Tinh, influencée par les grandes rivières, cette tendance n'est pas remarquable. L'accumulation et l'érosion se passent fortement et de façon compliquée à Thua Thien - Hué et Quang Binh.

## CHAPITRE 2. RISQUE SISMIQUE

### 2.1. CONTEXTE TECTONIQUE

#### 2.1.1. Tectonique pré-cénozoïque

La tectonique du Vietnam et des alentours a été étudiée par plusieurs auteurs dont les plus récents : Le Duy Bach *et al.*, (1982, 1990,) ; Tapponier *et al.*, (1990) ; Phan Trong Trinh *et al.* (1994, 1999, 2000, 2004) ; Lacassin *et al.* (1994); Phan Van Quynh *et al.* (1995); Phan Trong Thi (1995) ; Leloup *et al.*, (1995, 2001) ; Nguyen Trong Yem (1996) ; Findlay *et al.*, (1997) ; Roger *et al.* (2000). Tran Trong Hue (2001) ; Replumaz *et al.*, (2001) ; Bui Van Thom (2002) ; Hall (2002.) ; Lepvrier *et al.*, (2007) ; Krobicki *et al* (2008) ; etc. La plupart de ces études se concentrent sur la tectonique cénozoïque de la région et la plus ancienne est peu mentionnée. Au niveau tectonique, le Viet Nam se trouve sur deux plaques : la Chine du sud et l'Indochine (Figure 2.1). Ce sont des plaques d'origine gondwaniennes. Une collision calédonienne s'est probablement produite et ces plaques ont été suturées pendant le Silurien – Dévonien (Krobicki *et al.*, 2008). Une discordance du Dévonien inférieur sur tout le Vietnam, et puis une similitude des faciès continentaux au Dévonien, le Vietnam central, le Vietnam du Nord et la Chine du Sud étaient alors juxtaposés, ont suivi cette collision au niveau de Song Ma (Lepvrier *et al.*, 2007).

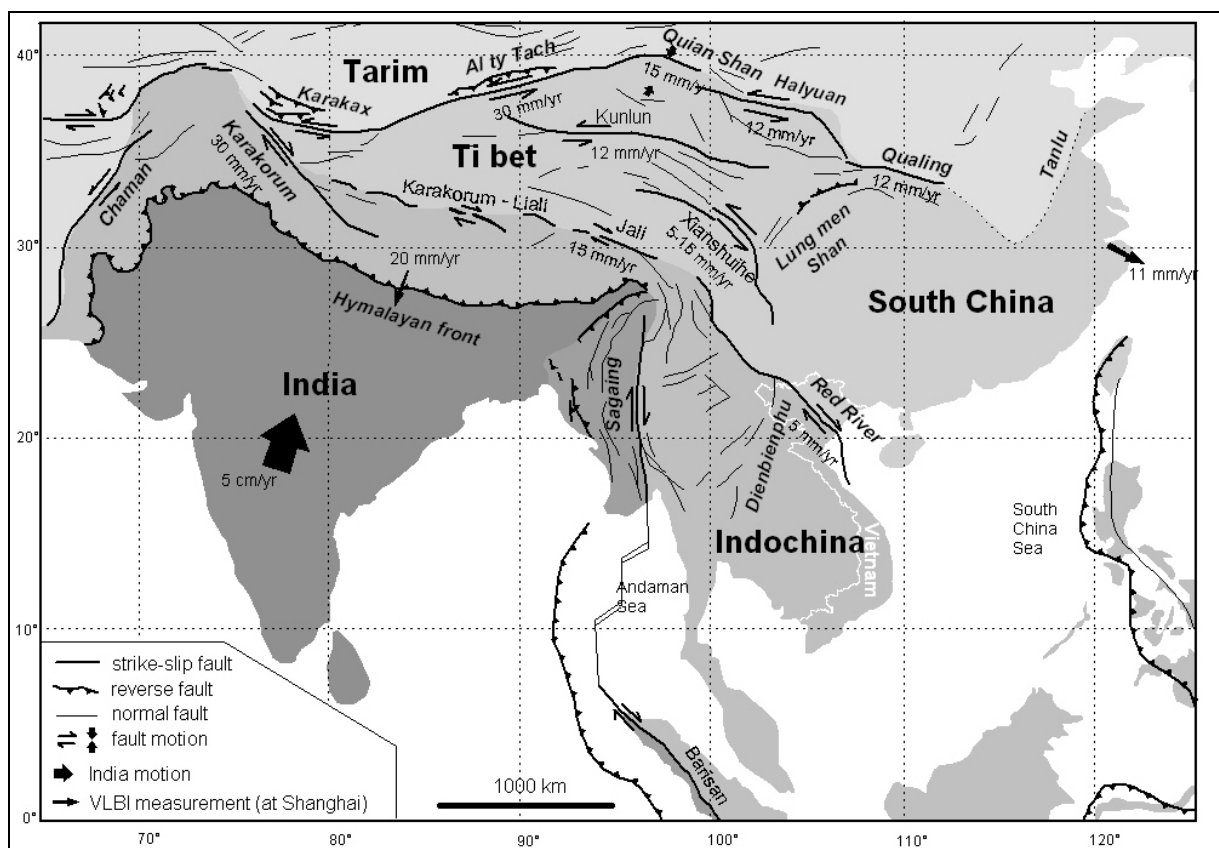


Figure 2.1. Failles majeures actives et blocs continentaux en Asie orientale

(d'après Replumaz *et al*, 2001)

Un autre événement important s'est passé au Trias inférieur (250-240 Ma) sur l'ensemble du Vietnam : C'est la collision indosinienne qui est la conséquence d'une convergence de direction NO-SE de l'Indochine, par rapport aux autres blocs continentaux adjacents. Ce

mouvement fut absorbé par une double subduction à vergences opposées : au nord, au niveau de la suture de Song Ma, sous la Chine du sud, et à l'ouest, au niveau de la suture de Po Ko, sous un bloc à l'ouest d'Indochine (Lepvrier *et al.*, 2007) (Figure 2.2).



**Figure 2.2. L'Indochine et les blocs crustaux adjacents impliqués dans l'orogénèse indosinienne,**

Trait vert/gris épais : zones de suture.

Flèches indiquent sens de décrochements ductiles indosiniens.

Trait rouge : Failles d'âge tertiaire et quaternaire

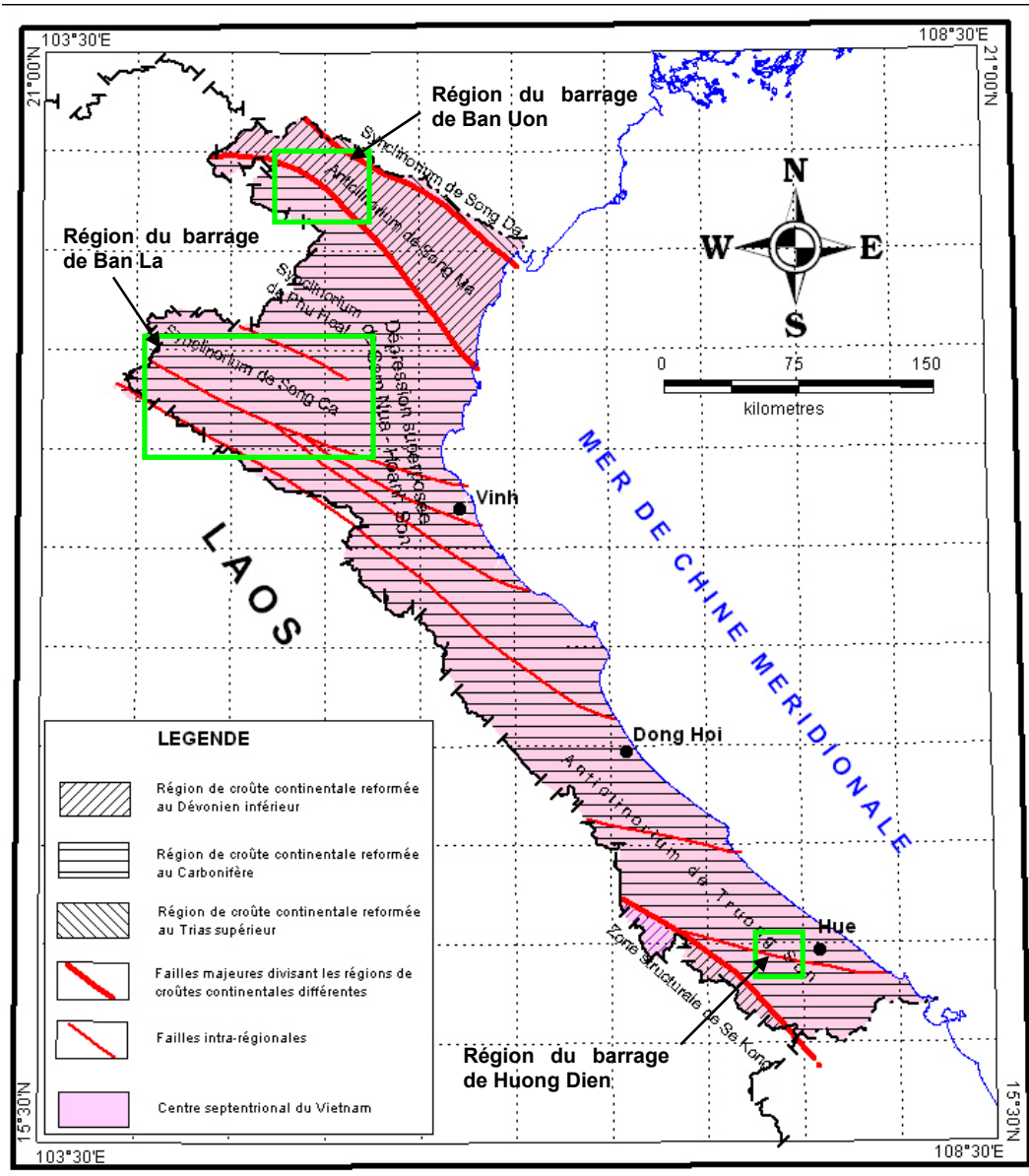
DBF : faille de Dien Bien Phu ; RF : faille de Ranong RRF : faille de la rivière Rouge ; SCF : faille de Song Ca ; TPF : faille des Trois-Pagodes ; WCF : faille de Wang Chao. B : Bangkok, CM : Chang Mai, CR : Chang Rai, DB : Dien Bien, DN : Da Nang, H : Hanoi, HCM : Ho Chi Minh City, L : Loei, LP : Luang Prabang, N : Nan, P : Phetchabun, PP : Pnomh Penh, U : Uttaradit ; V : Vientiane.

(d'après Lepvrier *et al.*, 2007)

Le Centre septentrional du Vietnam couvrant une partie de l'Indochine et une petite partie de la Chine du sud, est distingué en trois régions des croûtes continentales de différents âges par plusieurs auteurs vietnamiens (Tran Trong Hue., 2001) (Figure 2.3) :

- La région de croûte continentale reformée au Dévonien inférieur.
- La région de croûte continentale reformée au Carbonifère
- La région de croûte continentale reformée au Trias supérieur.





**Figure 2.3. Structures tectoniques principales au Centre septentrional du Vietnam et les régions de barrages étudiées**

*Les régions de croûte continentale reformée au Dévonien inférieur se trouvent dans le nord du territoire étudié et dans l'ouest du sud de ce territoire. La première appartient à l'anticlinorium de Song Ma et la dernière à la zone structurale de Se Kong. Dans ces régions, il y a eu une croûte continentale mais elle a été détruite au Précambrien et puis reformée au Dévonien.*

*La région de croûte continentale reformée au Carbonifère occupe la plupart de la superficie du Centre septentrional du Vietnam. Elle avait eu une croûte continentale mais cette croûte a été détruite au Précambrien. À la fin du Carbonifère inférieur, la croûte continentale y a été formée. Le processus tectonique suivant n'a que consolidé et épaissi cette croûte. En même temps que la collision entre plaques eurasienne et indienne à partir de la fin de Paléogène, dans cette région, des fossés ont été créés le long des failles et à la côte, ils ont été remplis par des dépôts néogènes et quaternaires. L'activité magmatique a été caractérisée par des roches acides et alcalines telle que : granites, granosyérites et syénites. Cette région peut être divisée*

en 4 structures principales : anticlinorium de Truong Son, synclinorium de Song Ca, anticlinorium de Phu Hoat, dépression superposée de Sam Nua – Hoanh Son.

*La région de croûte continentale reformée au Trias supérieur* couvre une petite superficie dans le nord du territoire. En effet, elle avait été la région de croûte continentale reformée au Dévonien inférieur mais elle a été ré-écartée et remplacée par une croûte océanique lors de l'activité du rift de Song Da, qui se trouvait plus au nord du territoire étudié. Ce processus s'est passé dans un temps court. Une nouvelle croûte continentale y a été créée dans une orogénèse au Trias supérieur. La région étudiée est une partie du sud-est du synclinorium de Song Da.

Les mouvements néotectoniques dans le Cénozoïque ont changé ces trois structures principales. Elles sont différenciées en blocs-structures néotectoniques, qui se séparent l'un de l'autre par des différences morphologiques et d'amplitude et de sens de mouvement vertical ainsi qu'horizontal.

### **2.1.2. Néotectonique**

L'évolution cénozoïque de la région, comme toute l'Asie du sud-est, selon Hall (2002), est marquée par 3 périodes importantes : 45 Ma, 25 Ma et 5 Ma. A ces moments, les frontières entre les plaques, les blocs et les mouvements se sont changés probablement à cause d'événements de collision. L'événement de 45 Ma est relié à la collision entre les plaques indienne et eurasienne. La plupart des frontières des plaques importantes ont été réorganisées vers 25 Ma. Les mouvements des plaques et leurs frontières, encore une fois, ont changé vers 5 Ma, pour des raisons incertaines, probablement comme une conséquence du changement de mouvement de la plaque pacifique, la collision d'arc-continent à Taiwan, ou d'autres changements frontaliers à la marge de Pacifique, aux Philippines par exemple (Hall, 2002).

Dans la zone de cisaillement d'Ailao Shan – Fleuve Rouge, une grande zone faillée et active de l'ordre de plus de 1000 km de longueur, d'orientation NO-SE, du Tibet au golfe du Tonkin et séparant les plaques de la Chine du sud et de l'Indochine, les affleurements de gneiss ont été formés au Cénozoïque. Les études de cinétique de déformation et les datations par U-Pb dans ces roches ont confirmé un décrochement senestre pendant l'Oligocène – Miocène, qui probablement est un résultat de la collision entre les plaques indienne et eurasienne (Tapponnier *et al.*, 1990 ; Leloup *et al.*, 1995, 2001 ; Phan Trong Trinh, 1994, Phan Trong Trinh *et al.*, 1999, 2002 ; Roger *et al.*, 2000). Le diachronisme de refroidissement observé dans Ailao Shan suggère une vitesse de décrochement senestre de 4 à 5 cm/an pendant la période de 27 Ma au environ 17 Ma (Leloup *et al.*, 2001). La mer de la Chine du Sud a été ouverte et élargie dans la même période à l'extrémité sud-est de la zone Ailao Shan – Fleuve Rouge. Vers 5 Ma, cette zone présente un décrochement dextre (Leloup *et al.*, 1995, 2001 ; Replumaz *et al.*, 2001). En analysant des cartes topographiques et des images Spot, Replumaz *et al.* (2001) a estimé la vitesse de ce déplacement de l'ordre de 5 mm/an.

Les analyses de la microtectonique cassante (Phan Trong Trinh, 1994) indiquent que deux phases tectoniques majeures ont affecté le nord-ouest du Viêt-nam depuis le Miocène. Pour chacune de ces deux phases, le champ de contrainte était décrochant dans la partie nord-ouest et extensif dans le bassin de Hanoi, avec une direction de contrainte minimale  $\sigma_3$  demeurant constante, mais avec une direction de contrainte intermédiaire  $\sigma_2$  permutant avec la direction de contrainte maximale  $\sigma_1$ . Le champ de contrainte de la première phase est compatible avec le décrochement senestre du Miocène le long de la zone de cisaillement du fleuve Rouge et l'ouverture de la Mer du Sud de la Chine, entre 35 Ma et 16 Ma. La seconde phase et les éléments tectoniques actifs qui lui sont associés au nord du Viêt-nam (décrochement le long du fleuve Rouge, compression N-S, extension E-O) ont débuté il y a 5 Ma (Phan Trong Trinh,

1994). Il existe un état de contrainte où la direction de contrainte maximale  $\sigma_1$  est approximativement N-S et la direction de contrainte minimale  $\sigma_3$  est E-O.

Les analyses microtectonique cassantes pour la région du bloc indochinois au sud de la zone de cisaillement de Ailao Shan – Fleuve Rouge, donnent aussi les résultats similaires. Il y a deux phases tectoniques principales dans le Cénozoïque (Nguyen Trong Yem, 1996 ; Bui Van Thom, 2002). La première phase au Miocène – Pliocène inférieur est caractérisée par un champ de contrainte avec une direction compressive O-E qui cause des décrochements senestres le long des grandes failles NO-SE dans la région. La deuxième phase se passe au Pliocène – Quaternaire avec une compression presque N-S qui cause des décrochements dextres le long des grandes failles

Dans le Centre septentrional du Vietnam, sous l'interaction des plaques, des structures néotectoniques se sont formées avec des différences en morphologie et en amplitude de mouvement. Les bandes topographiques, la plupart en bloc-structure, ondulent et s'allongent en direction NO – SE. Plus à l'est, la direction change pour suivre une direction *grosso modo* ouest – est et l'altitude diminue. Le mouvement de soulèvement augmente de 50 à 100m à l'est jusqu'à 1500 à 2000 m à l'ouest. La subsidence se trouve à l'est en forme de bloc triangulaire avec la base à l'est (la mer), l'amplitude augmente de l'ouest à l'est, de 50 m à 300 m.

Selon les études plus récentes (Tran Trong Hue, 2001 ; Bui Van Thom, 2002 ; Phan Trong Trinh, 2004), le Centre septentrional du Vietnam comprend 3 unités néotectoniques : le nord-ouest du Vietnam, le nord de Song Ca et le Truong Son, délimités par les failles Song Ma, Song Ca respectivement. Ces trois unités peuvent être distinguées en 20 blocs (Figure 2.4) avec des amplitudes différentes de mouvement vertical, qui sont classifiées en 5 catégories (Tableau 2.1).

**Tableau 2.1. Classification des mouvements verticaux au Centre septentrional du Vietnam**

Amplitude du mouvement vertical (m)		Catégorie
Soulèvement	1500 – 2000	Soulèvement fort
	1000 – 1500	Soulèvement moyen
	500 – 1000	Soulèvement moyen - faible
	0 – 500	Soulèvement faible
Subsidence	0 – 500	Subsidence faible

(Phan Trong Trinh, 2004)

Le nord-ouest du Vietnam est caractérisé un mouvement de soulèvement en bloc avec une tendance à l'inclinaison vers le nord-est et le sud-est. Il comprend 4 blocs, dont 1 soulevé moyen (Quan Hoa), 2 soulevés moyens – faibles (Cam Thuy et Thach Thanh) et 1 soulevé faible (Thanh Hoa).

Le nord de Song Ca est dominé par un soulèvement en bloc – dôme. Il a 7 blocs-structures dont 1 soulevé fort (Que Phong), 2 soulevés moyens (Lang Chanh, Quy Hop), 2 soulevés moyens - faibles (Quy Chau, Tuong Duong) et 2 soulevés faibles (Nhu Thanh, Tan Ky).

Le Truong Son est caractérisé par une différenciation de soulèvement avec des blocs différents en vitesse de mouvement, en morphologie et en dimension. 9 blocs-structures y sont trouvés dont 1 soulevé fort (Huong Son), 3 soulevés moyens (Vinh O, A Luoi, Nam Dong), 3 soulevés moyens - faibles (Deo Ngang, Ke Bang, Dak Rong), 1 soulevé faible (Nam Dan) et 1 affaissé faible (le littoral du Centre).

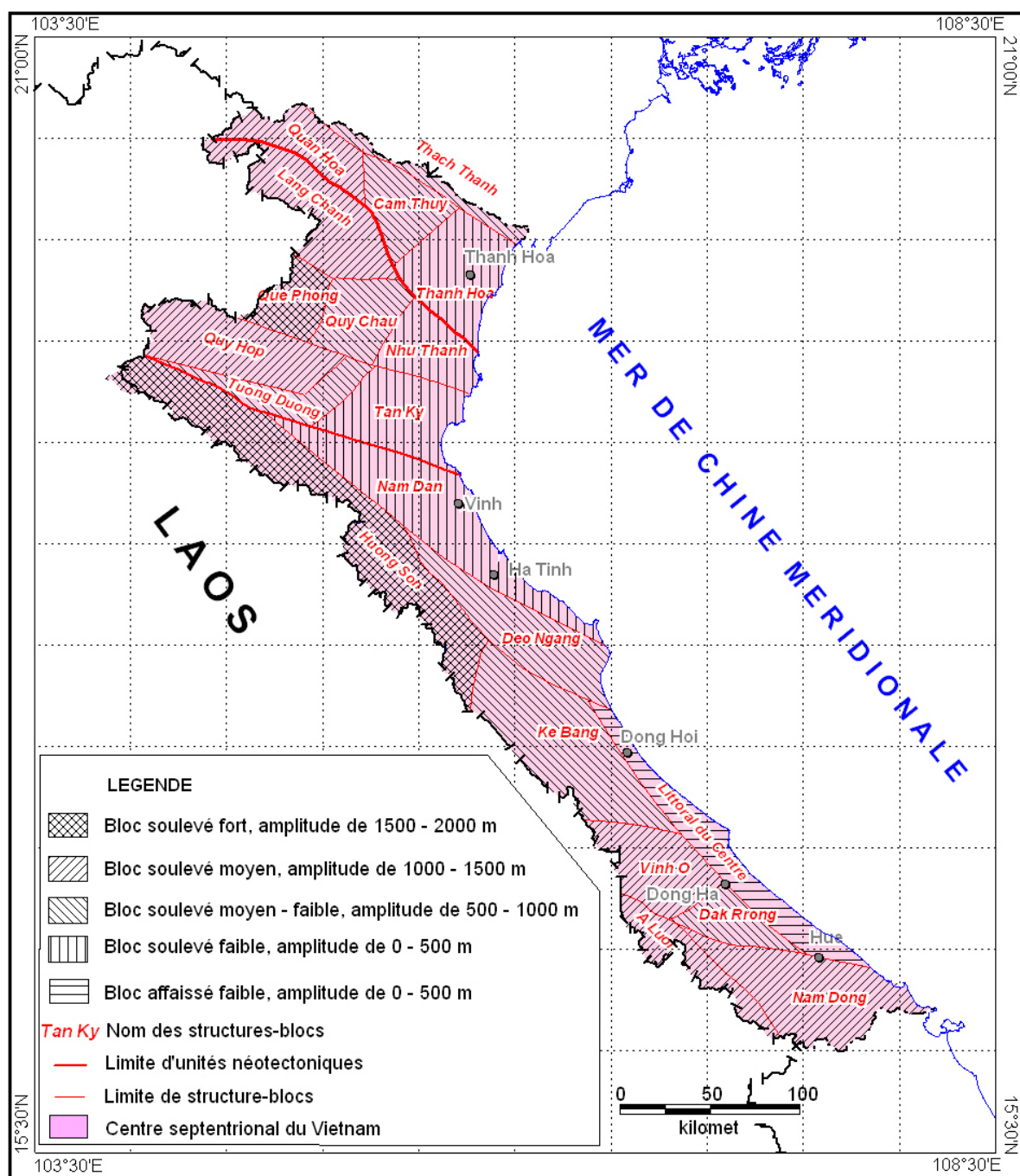
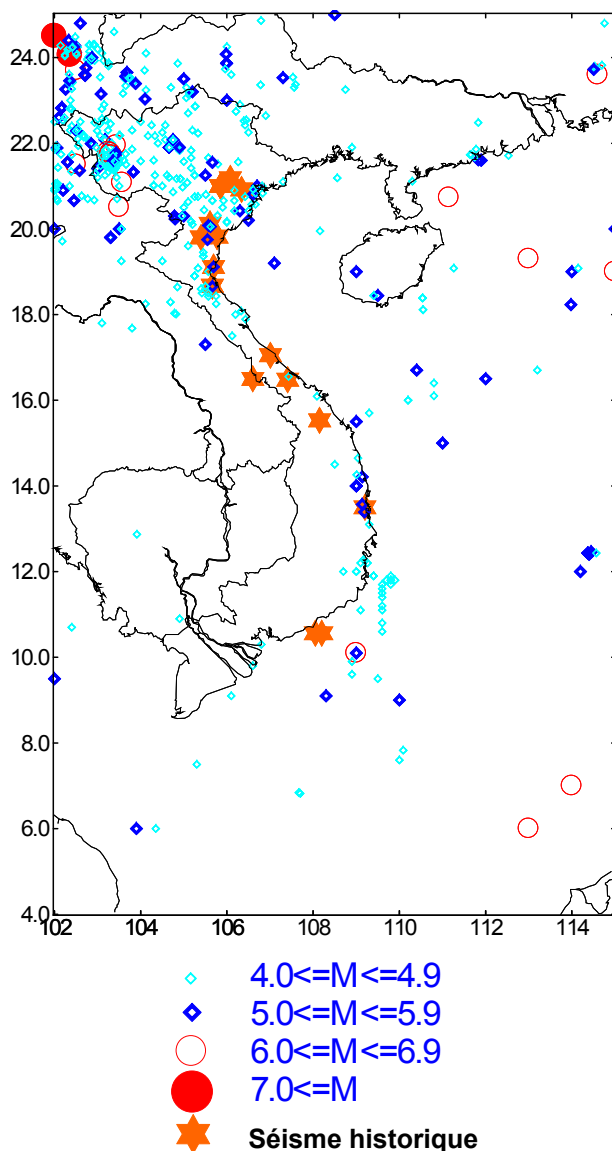


Figure 2.4. Les structures néotectoniques au Centre septentrional du Vietnam

(Phan Trong Trinh, 2004)

## 2.2. SEISMES ET GRANDES FAILLES

Les tremblements de terre au Vietnam se concentrent principalement au Nord et Centre septentrional (Figure 2.5.) dont le Nord est la région la plus violente. Au vingtième siècle, on y a observé 3 tremblements de terre de magnitude de 6,6 – 6,7. Tous les foyers se trouvent dans l'écorce terrestre à la profondeur de moins de 35 km (Phan Trong Trinh, 2004). La collision entre les plaques indienne et eurasiennne a fait une déformation et un allongement des structures au sud-ouest de la Chine et cette collision, elle-même, est la cause des activités néotectoniques au nord du Vietnam.



**Figure 2.5. Epicentres de séismes au Vietnam**  
(période 1903 – 1993 et séisme historique)

(Phan Trong Trinh, 2004)

Les tremblements de terre au Vietnam sont étroitement reliés à la zone de destruction tectonique ou aux failles actives. Nguyen Dinh Xuyen (1985) a montré que les epicentres des séismes ayant une magnitude de plus de 4,5, se concentrent dans les bandes qui coïncident aux zones faillées. Le tremblement de terre à Dien Bien en 1935 sur la faille de Song Ma avec une magnitude de  $M = 6,75$  est le plus grand au Vietnam et celui à Tuan Giao en 1983 sur la faille de Son La est le deuxième avec une magnitude de  $M = 6,7$ .

Dans le Centre septentrional du Vietnam, il y a 7 failles majeures : Son La, Song Ma, Song Ca, Rao Nay, Khe Giua – Vinh Linh, Dak Rong – Hué et Huong Hoa – A Luoi (Figure 1.7). Le rapport entre ces failles et les tremblements de terre est résumé par Nguyen Dinh Xuen et Nguyen Ngoc Thuy (1997) comme suit :

La faille de Son La passe sur 115 km dans le nord de la région en direction NO-SE. Elle a engendré des tremblements de terre à Tuan Giao (au-delà de la région) le 24 juin 1983 avec magnitude de  $M = 6,7$ , à Kim Tan avec une magnitude de  $M = 5$  et plusieurs faibles séismes à Nga Son.

La faille Song Ma, traverse la région à Thanh Hoa en direction NO-SE. Des tremblements de terre de magnitude  $M_{smax} = 7,0$  se sont passés autrefois dans la région. Le calcul de l'Institut du Globe physique - Académie des Sciences et de la Technologie du Vietnam montre que la faille Song Ma peut engendrer les séismes avec une magnitude maximale ( $M_s$ ) de l'ordre de 7,0 et un hypocentre à la profondeur de 25 à 30 km.

La faille Song Ca est un système de plusieurs failles traversant les provinces de Nghe An et Ha Tinh. Un séisme d'une magnitude maximale de 6 à partir d'un foyer à 15 - 20 km de profondeur peut être engendré dans cette faille. En effet, les tremblements de terre y enregistrés sont ceux en 1903, 1918 et 1921 avec des magnitudes de 5,1 ; 5,6 et 6,0 respectivement. La faille Song Ca donc est active à présent.

La faille Rao Nay traverse la région à SO Ha Tinh - Nord Quang Binh en direction SO-NE. Les tremblements de terre, enregistrés de 1900 à 2000, sur cette faille ont des magnitudes de 4,8 à 6. La faille Rao Nay est considérée comme une source de tremblement de terre avec une magnitude maximale de 6, un foyer à la profondeur de 15 à 20 km.

La faille Khe Giua - Vinh Linh traverse le territoire 120 km au sud de Quang Binh et au nord de Quang Tri en direction ONO-ENE. La Khe Giua - Vinh Linh est la faille qui peut engendrer un tremblement de terre avec une magnitude maximale de 4,9, mais à cause de la propagation, cette région peut subir un tremblement de terre d'une magnitude de 5,1 - 5,5. En effet, les tremblements de terre enregistrés dans cette région ont des magnitudes de 4,0 à 4,9.

La faille Dak Rong - Hué traverse le sud-ouest Quang Tri et le nord Thua Thien - Hué sur une distance de 170km. La faille Dak Rong - Hué est une faille sismogénique avec une magnitude maximale de 6 et un hypocentre à 10-15 km de profondeur (Nguyen Dinh Xuyen *et al.*, 1997). Un tremblement de terre d'intensité III s'est passé dans la région autour de la passe de Thuan An (Nguyen Dinh Xuyen *et al.*, 1997). L'autre d'intensité VII s'est passé au nord de la citadelle de Hué en novembre 1829 (Van Duc Chuong, 1996).

La faille Huong Hoa - A Luoi traverse l'ouest des provinces Quang Tri et Thua Thien Hué. Dans le zonage de tremblement de terre au Vietnam, établi par Nguyen Dinh Xuyen *et al.* (1997), cette faille tombe dans la zone sismogénique de magnitude maximale de 5,6-6 et de profondeur hypocentrale de 10-15km.

### **2.3. ANALYSE DU RISQUE SISMIQUE POUR LES BARRAGES.**

Un système hydrographique dense avec une pente raide et une précipitation abondante rend au Centre septentrional un grand potentiel d'énergie hydraulique. Une série de barrages y a été, est et sera construite pour répondre non seulement la demande d'énergie mais aussi à l'irrigation dans l'agriculture. La région est sensible au risque sismique donc il est nécessaire de le calculer dans les projets de barrages ainsi que les autres grands ouvrages.

Pour les barrages hydroélectriques ainsi que les autres structures, on estime souvent la probabilité d'occurrence pour une période de temps donnée future, d'un certain niveau de magnitude ou de mouvement maximal (accélération, vitesse ou déplacement) de tremblement de terre.

Considérons des intervalles temporels dont la durée est d'un an et les valeurs maximales, la grandeur sismique pour chacun de ces intervalles. Si on suppose que les événements sismiques sont indépendants les uns des autres, on pourra utiliser la loi de probabilité binomiale en considérant que chaque intervalle d'un an comme un essai et en définissant un succès comme un événement qui dépasse un certain niveau de la grandeur sismique pour un essai donné. La probabilité de non-dépassement en T années est la même que la probabilité de 0 succès en T essais est calculée comme suit :

$$P_T(0) = p^0 (1 - p)^T = (1 - p)^T$$

$p$  est la probabilité que durant une année, le niveau donné soit dépassé

$1/p$  est appelée la période de retour.

Pour les grands barrages, sa durée de vie  $T = 100$  ans est souvent utilisée pour l'estimation.

Le Comité International pour les Grands Barrages recommande que trois grandeurs de tremblement de terre soient utilisées lors de la conception d'un barrage : Le tremblement de terre maximum crédible (Maximum Credible Earthquake - MCE), le tremblement de terre maximum concevable (Maximum Design Earthquake - MDE) et le tremblement de terre de base opérationnel (Operation Basis Earthquake - OBE).

Le MCE est le tremblement de terre le plus grand qui pourrait se produire le long d'une certaine faille ou dans une zone tectonique donnée, basée sur la connaissance du contexte tectonique concret. Normalement, le MCE est la limite supérieure du séisme.

Le MDE est le tremblement de terre qui engendre une accélération du sol à un niveau plus haut mais le barrage est encore en sécurité. Normalement, la probabilité d'occurrence de MDE acceptée est de 10% pour le barrage ayant une durée de vie  $T = 100$  ans. Dans ce cas, la probabilité de non-occurrence  $P_T(0) = 100\% - 10\% = 90\%$  et la période de retour  $1/p = 950$  ans.

Le OBE est le tremblement de terre qui cause un mouvement du sol au barrage avec un petit dommage. Il évalue aussi la durée de vie du barrage et les séismes du passé qui sont enregistrés dans le catalogue ou bien observés sur le terrain. Il en résulte qu'il dépend de la connaissance des caractéristiques sismiques de faille en fonction du temps. Par convention, la probabilité d'occurrence de l'OBE acceptable est de 50% pour le barrage ayant une durée de vie  $T = 100$  ans. Dans ce cas, la probabilité de non-occurrence  $P_T(0) = 100\% - 50\% = 50\%$  et la période de retour  $1/p = 145$  ans.

Le tremblement de terre avec une probabilité d'occurrence de 10% avec  $T = 50$  ans est aussi souvent estimé. La période de retour dans ce cas est de 475 ans. MDE et OBE peuvent être déterminés à partir de MCE en combinaison avec la période de retour.

L'analyse de risque sismique pour les barrages comprend les étapes suivantes :

- Identifier les failles actives
- Estimer la magnitude maximale
- Estimer le mouvement maximal du sol
- Estimer le spectre de réponse
- Modéliser la déformation et le changement de contrainte.

### 2.3.1. Identification des failles actives

L'identification des failles actives est la première étape pour estimer le risque sismique. Ce travail peut être réalisé à partir de la carte topographique et de l'image satellitaire. Le travail sur le terrain est aussi nécessaire.

Les failles actives peuvent être référées sur les images satellitaires par des linéaments avec un ton plus sombre par rapport aux alentours ou des lignes qui séparent des tons différents. Les techniques de filtrage telles que : filtrages d'orientation et de gradient peuvent améliorer l'identification.

À partir de la carte topographique avec l'aide des logiciels de traitement d'image, de SIG, le MNT est créé, les profils sont levés pour visualiser le changement du relief afin de déterminer les segments actifs de la faille qui souvent se trouvent à un endroit de fort changement de relief. Les images en combinaison avec le MNT qui présentent la surface terrestre en 3 dimensions peuvent donner de bons résultats.

La télédétection, ajoutée au travail sur le terrain, peut déterminer une faille active avec ses paramètres géométriques tels que : l'azimut, le pendage, la direction de glissement, l'amplitude du mouvement, etc., et la distance entre la faille et le barrage. Ce sont des paramètres importants pour estimer le risque sismique pour le barrage.

### 2.3.2. Estimation de la magnitude

La magnitude d'un tremblement de terre mesure l'énergie libérée lors d'un séisme. À partir des paramètres de faille active : la dimension de la surface rompue, les caractères normal, inverse ou décrochante et le moment sismique, on peut estimer la magnitude par des méthodes différentes, proposées par Kanamori (1977), Wyss (1979), Slemmons (1982), Woodward – Clyde (1983), Well – Coppersmith (1994). En général, ces méthodes peuvent être divisées en trois groupes en se basant sur les paramètres utilisés :

- Le moment sismique
- La surface de faille
- La longueur et le déplacement de faille (méthode du moment sismique)

#### 2.3.2.1. Méthodes calculant la magnitude par le moment sismique

Le moment sismique ( $M_0$ ) est une mesure de l'énergie d'un séisme. Il est calculé par la formule :

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot D$$

- où :
- $\mu$  : le module de cisaillement du milieu, souvent accepté  $3 \cdot 10^{11}$  dyne/cm<sup>2</sup> pour l'écorce terrestre,
  - A : la surface rompue durant le séisme.
  - D : le déplacement moyen ayant lieu sur la faille

La vitesse de moment sismique  $M_0^T$  ou la vitesse de libération énergétique le long d'une faille est estimée à partir de la vitesse de déplacement le long de la faille par la formule :

$$M_0^T = \mu \cdot A \cdot S$$

- où :
- S : la vitesse moyenne de déplacement le long de la faille,
  - A : la surface rompue de faille,
  - $\mu$  : le module de cisaillement du milieu.

Le moment sismique peut être converti en magnitude de tremblement de terre. Kanamori (1977) et Hanks et Kanamori (1979) ont proposé le calcul de la magnitude de moment  $M_w$  à partir du moment sismique  $M_0$  :

$$M_w = 2/3 \cdot \log M_0 - 10,7$$

La magnitude de moment diffère des autres magnitudes parce qu'elle a une relation directe avec la vitesse de déplacement et la surface rompue de la faille lors que les autres reflètent l'amplitude des caractères spécifiques d'onde sismique.

#### 2.3.2.2. Méthode calculant la magnitude par la surface rompue de faille

En se basant sur les données globales de destructions de surface qui sont reliés aux séismes, Well et Coppersmith (1994) a déduit le rapport entre magnitude de moment  $M_w$  et la surface de rupture RA (km<sup>2</sup>) en correspondant à sa cinétique destructrice. Ce rapport peut être représenté par la formule suivante :

- Pour la faille décrochante :  $M_w = 3,98 + 1,02 \log (RA)$
- Pour la faille inverse :  $M_w = 4,33 + 0,90 \log (RA)$
- Pour la faille normale :  $M_w = 3,93 + 1,02 \log (RA)$
- Pour tous les cas :  $M_w = 4,07 + 0,98 \log (RA)$



Ces formules sont les résultats d'analyse de 148 tremblements de terre du monde ayant des magnitudes de 4,8 à 7,9.

Pour la région de fort séisme avec une magnitude de moment de plus de 9,5, Wyss (1979) a proposé la formule calculant la magnitude maximale à partir de la surface de rupture :

$$M = 4,15 + \text{Log } A$$

où : M : la magnitude maximale,  
A : la surface de rupture (en km<sup>2</sup>)

Woodward-Clyde (1983) ont proposé une autre formule pour la région ayant la magnitude moins de 6

$$\text{Ln}A = 2,146 M - 8,384$$

où : M : la magnitude maximale,  
A : la surface de rupture (en km<sup>2</sup>)

### 2.3.2.3. Méthodes calculant la magnitude par la longueur et le déplacement de faille

Slemmons (1977, 1982) a calculé la magnitude Ms à partir de la longueur L (en km) et du déplacement D (en cm) des failles décrochante, normale et inverse par les formules suivantes:

À partir de la longueur :

- Faille décrochante :  $M_s = 1,404 + 1,169 \log L$
- Faille inverse :  $M_s = 2,021 + 1,142 \log L$
- Faille normale :  $M_s = 0,809 + 1,341 \log L$

À partir du déplacement de la surface de faille :

- Faille décrochante :  $M_s = 6,974 + 0,084 \log D$
- Faille inverse :  $M_s = 6,793 + 1,306 \log D$
- Faille normale :  $M_s = 7,668 + 0,750 \log D$

Cette méthode est, pour la première fois, appliquée au Vietnam par Winter *et al.* (1994) en estimant le risque sismique pour le barrage de Hoa Binh au nord-ouest du Vietnam.

Well et Coppersmith (1994) en analysant 244 tremblements de terre sélectionnés parmi 421 du monde, ont proposé d'autres formules pour calculer la magnitude maximale M à partir de la longueur et du déplacement de faille :

- Par la longueur de faille SRL (en km) :  $M = 5,08 + 1,16 \text{Log} (\text{SRL})$
- Par le déplacement moyen AD (en m) :  $M = 6,93 + 0,82 \text{Log} (\text{AD})$
- Par le déplacement maximal MD (en m) :  $M = 6,69 + 0,74 \text{Log} (\text{MD})$

Ces formules sont utilisées en général, mais dans chaque cas de faille (décrochante, inverse et normale), des formules spécifiques sont aussi proposées. Notons que les tremblements de terre analysés ont des magnitudes du moment de 4,8 à 8,1.

### 2.3.2.4. Estimation de magnitude

Les méthodes différentes rendent des résultats différents qui ont besoin d'une pondération. Les méthodes du moment sismique prennent un coefficient plus grand à cause de sa signification physique plus importante. Le calcul est un processus répétitif. Premièrement, on estime l'amplitude du déplacement maximal en se basant sur le résultat d'évaluation du séisme maximal par des méthodes différentes pour déterminer le moment sismique, puis on calcule la moyenne pondérée et l'écart type pour déduire l'amplitude de déplacement par la formule de Well – Coppersmith. La deuxième étape détermine le séisme par les méthodes de

moment sismique et il continue à se répéter jusqu'au moment où un résultat stable est obtenu. Ces procédures sont appliquées par Phan Trong Trinh & Hoang Quang Vinh (2004), Phan Trong Trinh *et al.* (2007) pour estimer la magnitude de tremblement pour les barrages hydrauliques au Vietnam

Le Tableau 2.2 est un exemple pour estimer la magnitude lors d'un séisme maximal le long de la faille de Nam Chu par la moyenne des résultats pondérés de différentes méthodes. Les propriétés de faille utilisées pour le calcul sont :

- la longueur de faille (50 km), déterminée par télédétection
- la profondeur du foyer (12 km), déterminée par les données géophysiques et géosismiques
- le pendage (90°), déterminés par le travail sur le terrain.
- l'état de contrainte (décrochant dextre), déterminé par télédétection et confirmé par l'observation sur le terrain.
- le déplacement maximal le long de la faille, tout d'abord, assigné à une approximation en se basant sur la longueur de faille.

**Tableau 2.2. Magnitude maximum de séisme engendré par la faille de Nam Chu**

Longueur (km)	Profondeur (km)	Pendage (°)	Déplacement (m)	Etat de contrainte
<b>50</b>	<b>12</b>	<b>90</b>	<b>0,973</b>	<b>Décrochement</b>
Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :				6,897
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :				7,063
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :				6,814
Magnitude estimée par Wyss (1979) utilisant la surface de faille :				6,928
Magnitude estimée par Woodward-Clyde (1983) utilisant la surface de faille :				6,888
Magnitude estimée par Hanks-Kanamori (1979) utilisant le moment sismique :				6,796
Déplacement (m) estimé par Slemmons (1982) :				0,802
Vitesse (mm) estimée par Woodward-Clyde (1983) :				0,543
Déplacement maximal (m) estimé par Well-Coppersmith (1994) :				0,973
Déplacement moyen (m) estimé par Well-Coppersmith, (1994) :				0,649
<b>Pondération :</b>				
Coefficient de méthode de moment sismique : 8				
Coefficient de méthode de surface de faille : 2				
Coefficient de méthode de longueur de faille : 1				
<b>Magnitude moyenne</b>	<b>Variance</b>	<b>Magnitude maximale</b>		
<b>6,849</b>	<b>0,075</b>	<b>6,92</b>		

L'approximation de déplacement le long de la faille est estimée par la formule :

$$\text{Déplacement maximal (en m)} = 0,025 \times \text{longueur de faille (en km)}$$

Cette valeur est remplacée par le déplacement maximal estimé par Well-Coppersmith (1994) pour le calcul suivant. Cette procédure est itérativement réalisée jusqu'à une valeur stable obtenue.

Les magnitudes estimées par différentes méthodes sont pondérées en fonction de son importance. Dans ce cas (Tableau 2.2), les coefficients 8, 2 et 1 sont respectivement assignés pour les méthodes de moment sismique, de surface et de longueur.

Enfin, la magnitude moyenne (6,849) est la moyenne de ces magnitudes pondérées. En tenant compte de la variance, la magnitude maximale obtenue est de 6,92.

### 2.3.3. Evaluation d'accélération maximale du sol

L'accélération maximale du sol, PGA (Peak Ground Acceleration en anglais), est un paramètre important pour l'évaluation des effets des séismes à un endroit donné. Elle est mesurée en g (l'accélération à cause de la gravité) ou en  $m^2/s$  ( $1g = 980 \text{ cm/s}^2$ ). L'amplitude de GPA permet de se faire une idée de la résultante de force  $F$  appliquée à la construction de masse  $m$  :  $F = ma$  si la construction est indéformable et bouge comme le sol.

La PGA est calculée en utilisant les modèles de Cornell (1968), Estena et Rosenblueth (1974), McGuire (1976), Campbell (1981, 1988 et 1997), Idriss (1982), Xiang et Gao (1994), Woodward et Clyde (1983) et Ambraseys (1995).

Campbell (1981) a proposé 3 modèles pour calculer la PGA

- $PGA = 0.0159 e^{0.868M} (R+0.0606 e^{0.7M})^{-1.09}$
- $PGA = 0.0185 e^{1.28M} (R+0.147 e^{0.732M})^{-1.75}$
- $\ln PGA = -3.99+1.28M-1.75 \ln(R+0.147 e^{0.732M})$   
où,  $R$  - distance de barrage au foyer en km ;  $M$  - magnitude, et PGA en g

En 1988, il a présenté le quatrième modèle (Campbell, 1988) :

$$\ln PGA = -2.817 + 0.702M - 1.2 \ln(R + 0.0921 e^{0.584M})$$

Ce modèle qui est basé sur les données des 3 modèles précédentes. Il est utilisé, pour la première fois, dans le calcul de PGA pour le barrage de Ban La. Les autres sont valables de référence.

Plus récemment, le cinquième modèle est proposé (Campbell, 1997) :

$$\ln(Ah) = -3.512 + 0.904M - 1.328 \ln(\sqrt{R_s^2 + (0.149 \exp(0.647M))}) + (1.125 - 0.112 \ln(R_s) - 0.0957M)F + (0.440 - 0.171 \ln(R_s))S_{sr} + (0.405 - 0.222 \ln(R_s))S_{hr} + \varepsilon$$

$Ah$  est GPA en g ;  $\varepsilon$  est l'erreur aléatoire ;  $M$  est la magnitude,

$R_s$  est la distance plus courte entre le barrage et la surface de faille à la profondeur de l'épaisseur seismogénétique.

$F$  est le facteur du type de faille :  $F = 0$  pour faille décrochante ;  $F = 1$  pour faille inverse ; et  $F = 0,5$  pour faille normale.

$S_{hr}$  et  $S_{sr}$  sont les facteurs dépendants de caractères physico-mécaniques de la fondation :  $S_{hr} = S_{sr} = 0$  pour alluvions et sol ;  $S_{hr} = 0$  et  $S_{sr} = 1$  pour roches molles ;  $S_{hr} = 1$  et  $S_{sr} = 0$  pour roches dures.

Cette formule est plus générale par rapport ses autres. Nous l'avons utilisé pour les derniers calculs, les cas de Huong Dien et de Ban Uon. Les résultats des modèles de 1 à 4, dans ces cas, sont les références.

À côté des formules de Campbell, les autres suivantes sont aussi utilisées pour calculer la GPA :

- Modèle de Xiang et Gao (1994) :  $PGA = 0.2529 e^{0.5155M} (R+10)^{-1.1516}$
- Modèle de Idriss (1982) :  
 $\ln PGA = \ln(-18160.8 + 13144.5M - 3272.01M^2 + 345.034M^3 - 13.2363M^4) - (0.42371M + 4.5975) \ln(R + 20)$
- Modèle de Woodward - Clyde (1983)  
 $\ln PGA = -2.611 + 1.1M - 1.75M \ln(R + 0.3157 e^{0.6286M})$  si  $M > 6.5$   
 $\ln PGA = -2.611 + 1.1M - 1.75M \ln(R + 0.8217 e^{0.4814M})$  si  $M \leq 6.5$
- Modèle de Cornell (1968) :  $PGA = 0.863 e^{0.86M} (R+25)^{-1.8}$
- Modèle de McGuire (1976) :  $PGA = 0.0306 e^{0.89M} R^{-1.17 \exp(-0.2)}$
- Modèle de Estena & Rosenblueth (1974) :  $PGA = 5600 e^{0.8M} (R + 40)^{-2} / 980$

- Modèle de Ambraseys (1995) :  $\log(\text{PGA}) = -1.06 + 0.245M - 0.00045R - 1.016 \log(R)$

Dans tous ces modèles :  $R$  - distance de barrage au foyer en km ;  $M$  - magnitude, et  $\text{PGA}$  en  $g$

Les modèles sont pondérés par un principe suivant :

- Les formules basées sur les données issues de sources établies depuis 0 à 400 km, proposées par Ambrasey (1995), Idriss (1982), Woodward – Clyde (1983) peuvent être utilisées avec un coefficient 1.
- La formule de Xiang et Gao (1994), mise au point à partir de données de tremblements de terre en Yunnan, à proximité des conditions géologiques et structurales du Vietnam, peut être utilisée avec un coefficient 1,5,
- Le modèle de Campbell est basé sur des données globales de vibration près de la source. Donc, il a une grande fiabilité dans le cas de la prévention d'un séisme pour un rayon de 50km ou moins autour du barrage. Le modèle ci-dessus peut utiliser un coefficient plus grand par rapport les autres.
- Les formules de Cornell (1968), Mc. Guire (1980), Estena et Rosenblueth (1974) sont basées principalement sur les données de séisme lointain de plus de 100 km donc elles sont utilisées comme référence.

Le Tableau 2.3 est un exemple pour estimer l'accélération du sol à un barrage qui se trouve à 0,8 km de la faille de Nam Chu. Cette faille peut engendrer un tremblement de terre de magnitude 6,924 comme calculé dans le Tableau 2.2. avec un foyer à 12 km de profondeur. Les paramètres : la magnitude, la distance de la faille, la profondeur hypocentrale et le pendage sont utilisés pour l'estimation. Dans ce cas, le modèle de Campbell 4 (1988) est pondéré à 4 ; celui de Xiang & Gao (1994) à 1,5 ; et celles de Idris (1982), de Woodward – Clyde (1983) et de Ambraseys (1995) à 1. Le résultat montre que l'accélération maximale du sol au barrage peut atteindre de 0,2966  $g$  (soit 291  $\text{cm/s}^2$ ) lors d'un séisme maximal engendré le long de la faille de Nam Chu.

**Tableau 2.3. PGA de séisme engendré par la faille de Nam Chu, à la profondeur de 12 km pour le site à 0,8 km de la faille**

<b>Paramètres:</b>			
Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
6,924	0,800 km	12 km	90°
<b>Accélération au sol</b>			
PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,2509	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,2545	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,2545	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,2526	Coefficient : 4,0	
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,3020	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,2550	Coefficient : 1,5	
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,2747	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,3416	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence) :	0,4997	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence) :	0,6477	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,5372	Coefficient : 0,0	
<b>PGA moyen</b>	<b>Ecart type</b>	<b>PGA maximum</b>	
<b>0,2719</b>	<b>0,0246</b>	<b>0,2966</b>	

### 2.3.4. Modélisation de la déformation et du changement de contrainte de Coulomb lors d'un séisme maximum.

La déformation de contrainte de Coulomb est un paramètre important pour estimer la probabilité d'un séisme. Commençons à étudier la redistribution des contraintes à l'intérieur de la croûte terrestre après les séismes importants. Les contraintes s'accumulent sur des fractures de l'écorce terrestre, les failles où elles provoquent par moments le coulisement en sens inverse de deux pans de roches adjacents. Une contrainte a deux composantes le long d'une faille : la composante de cisaillement, parallèle à la faille, résulte du frottement des deux pans de la faille qui coulissent en sens contraire ; la composante de compression s'exerce perpendiculairement à la faille. La modification d'une seule de ces composantes peut autoriser le glissement de la roche, soit quand la force de cisaillement est supérieure à la résistance exercée par les forces de frottement, soit lorsque la compression relâche. Les deux composantes des contraintes, dont la superposition est nommée contrainte de Coulomb, diminue le long de la portion de faille qui glisse.

En analysant les changements de contraintes de Coulomb, on constate que n'importe quelle accumulation de contraintes, aussi minime soit-elle, correspond toujours aux sites où surviennent les secousses ultérieures. Autrement dit, les régions où les contraintes augmentent sont le théâtre de la majorité des répliques, intense ou non. Inversement, toute réduction des contraintes diminue le risque de répliques, localisées dans ce que l'on nomme les zones d'ombre du séisme primaire (Stein, 2003).

Le modèle proposé par Okada (1992) pour la déformation et le changement de contrainte de Coulomb est largement utilisé pour évaluer le risque de tremblement de terre (King *et al.*, 2001 ; Diaz *et al.*, 2001 ; Çakir *et al.*, 2003 ; Wan *et al.* 2004 ; Phan Trong Trinh *et al.*, 2004, 2007 ; Gana *et al.*, 2006 ; etc. ). Ce modèle a été bien supporté par le résultat qui est obtenu par une interférométrie des images Radar avant et après un séisme. Le changement de contrainte de Coulomb peut être exprimé comme suits (King *et al.*, 2001) :

$$\Delta\sigma_f = \Delta\tau - \mu' \Delta\sigma_n$$

où  $\Delta\tau$  et  $\Delta\sigma_n$  sont respectivement des changement de contraintes de cisaillement et normal  
 $\mu'$  est le coefficient de friction

Il s'agit de choisir les paramètres pour le modèle. Pour la sécurité des ouvrages, les paramètres d'extremum sont utilisés.

Les paramètres de faille requis dans le modèle de Okada sont : les positions de deux extrémités, le pendage, le déplacement le long de faille, l'angle du vecteur glissement par rapport à la trace horizontale (rake angle en anglais), l'extension.

Le coefficient de friction de Coulomb est inconnu mais dans le cas de décrochement, il varie de 0,4 à 0,7. Le rapport de Poisson choisi est de 0,25, une valeur commune pour l'écorce terrestre. Le module de cisaillement choisi est de  $3,2 \times 10^{10} \text{ Nm}^{-2}$ .

Le modèle de Okada est réalisé dans le système de coordonnées en 3 dimensions. Il est géoréférencé dans le système de coordonnées géographiques par les logiciels de SIG en se basant sur la carte topographique à l'échelle de 1 :50.000.

## 2.4. RISQUE SISMIQUE POUR LE BARRAGE DE BAN LA

### 2.4.1. Faille active

Le barrage hydro-électrique de Ban La (ou Ban Ve) est construit sur la rivière de Ca sur la commune de Yen Na, district de Tuong Duong (province de Nghe An). Il a une capacité de production de 320 MW. C'est un barrage de 137 m de haut. Il se trouve non loin de la faille de Nam Chu qui appartient à la zone faillée de Song Ca (Figure 2.3). Cette faille est bien reflétée dans l'image Landsat (Figure 2.6). Le filtrage de gradient peut nous permettre d'identifier des segments de faille (Figure 2.7). L'analyse plus en détail sur l'image de Spot, complétée par le travail sur le terrain montre que Nam Chu est une faille active avec un décrochement dextre de l'ordre de centaines mètres à 2 km. Cette faille peut être divisée en deux segments. Pour le segment de l'ouest, un escarpement de 50 km long est bien observé. À une distance de 2 km du barrage, c'est le segment de l'est qui a une longueur plus courte. Ce segment n'est pas bien présenté dans la photo aérienne mais il est identifié sur l'image Spot comme une continuation du segment de l'ouest vers l'est. Il se trouve à distance d'environ de 5,2 km du barrage. Une série de filtrages d'orientation et de gradient élucide la présence de la faille Nam Chu (Figure 2.8, Figure 2.9, Figure 2.10 et Figure 2.11). Il est aussi clairement présenté dans les MNT 2 (Figure 2.12) et 3 dimensions (Figure 2.13).

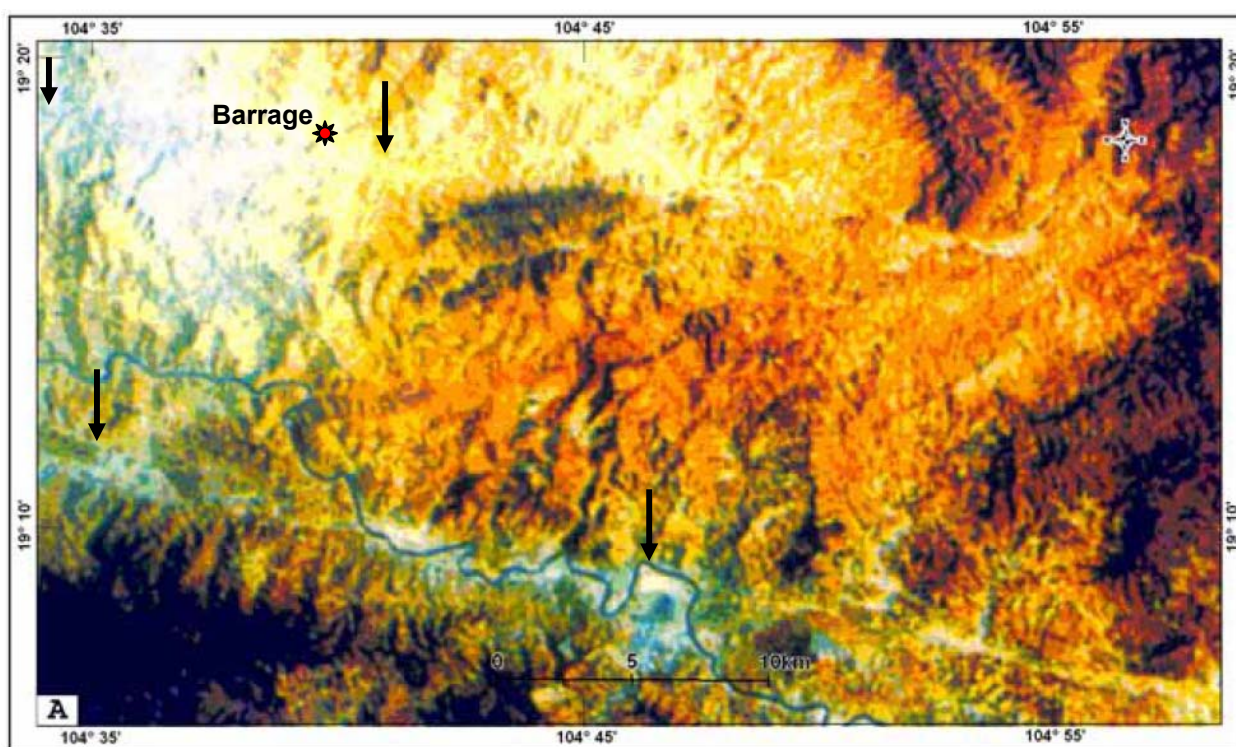


Figure 2.6. Les failles Nam Chu et Song Ca vues sur l'image Landsat

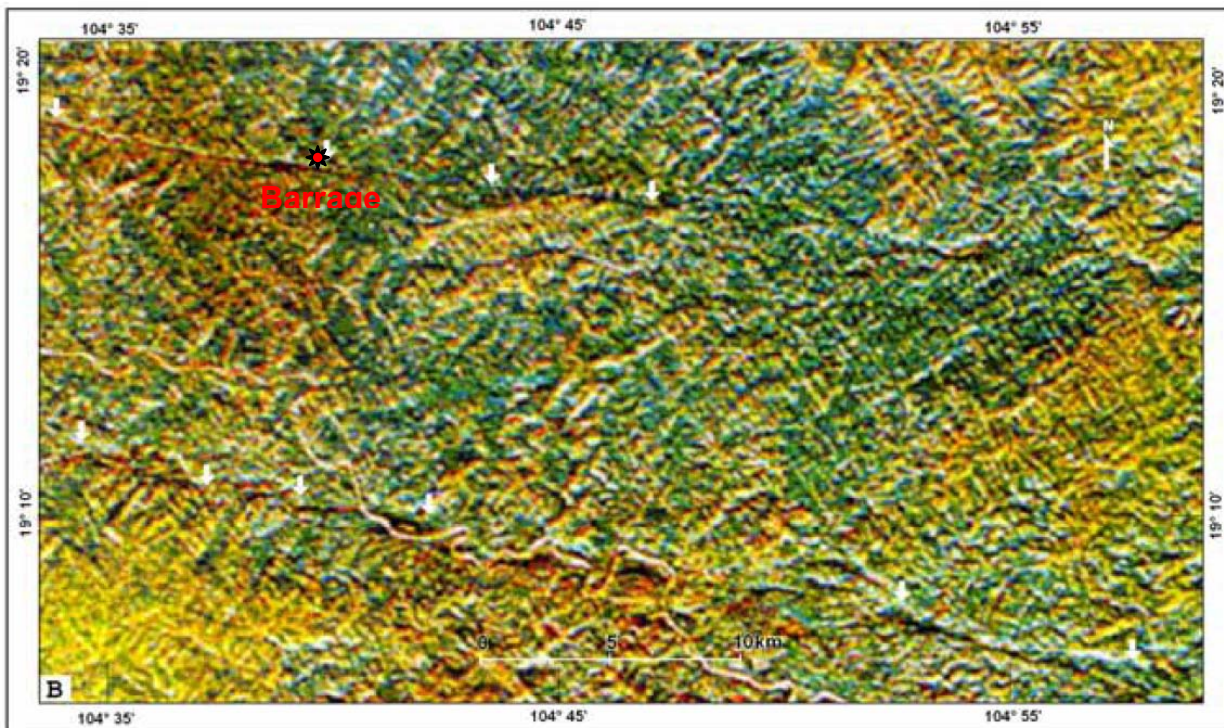


Figure 2.7. Les failles Nam Chu et Song Ca dans l'image Landsat de filtrage gradient

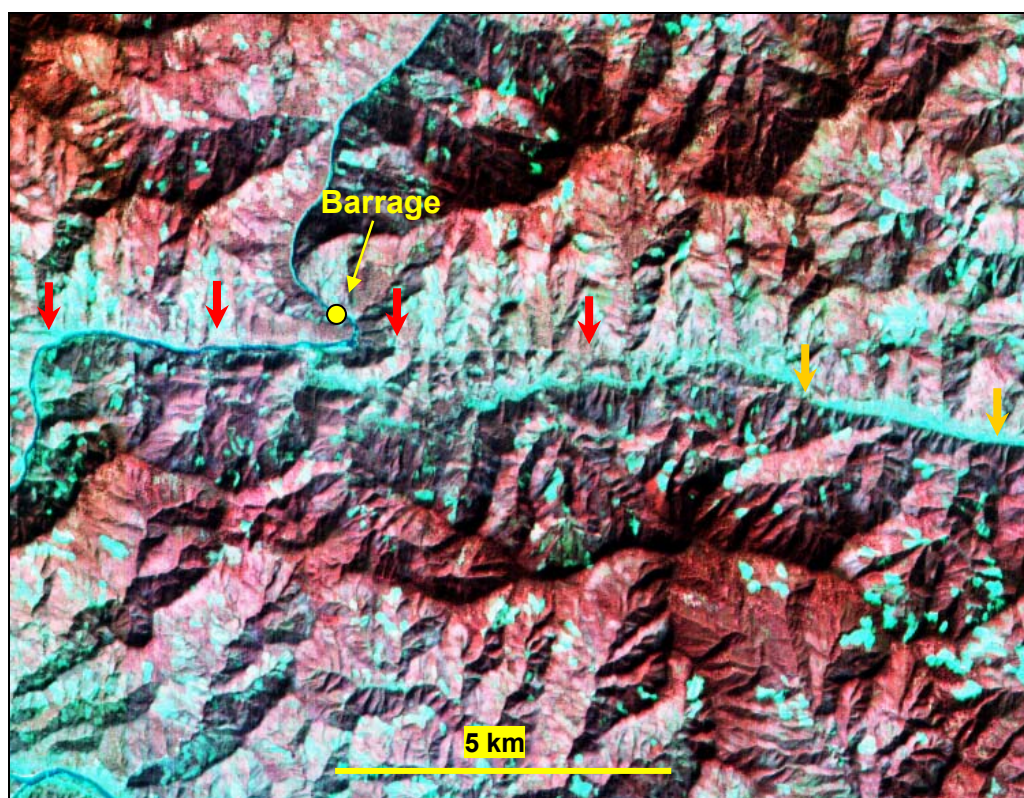


Figure 2.8. Faille de Nam Chu sur l'Image de Spot

Note: le segment de l'ouest montré par des flèches rouges et celui de l'est par des flèches jaunes

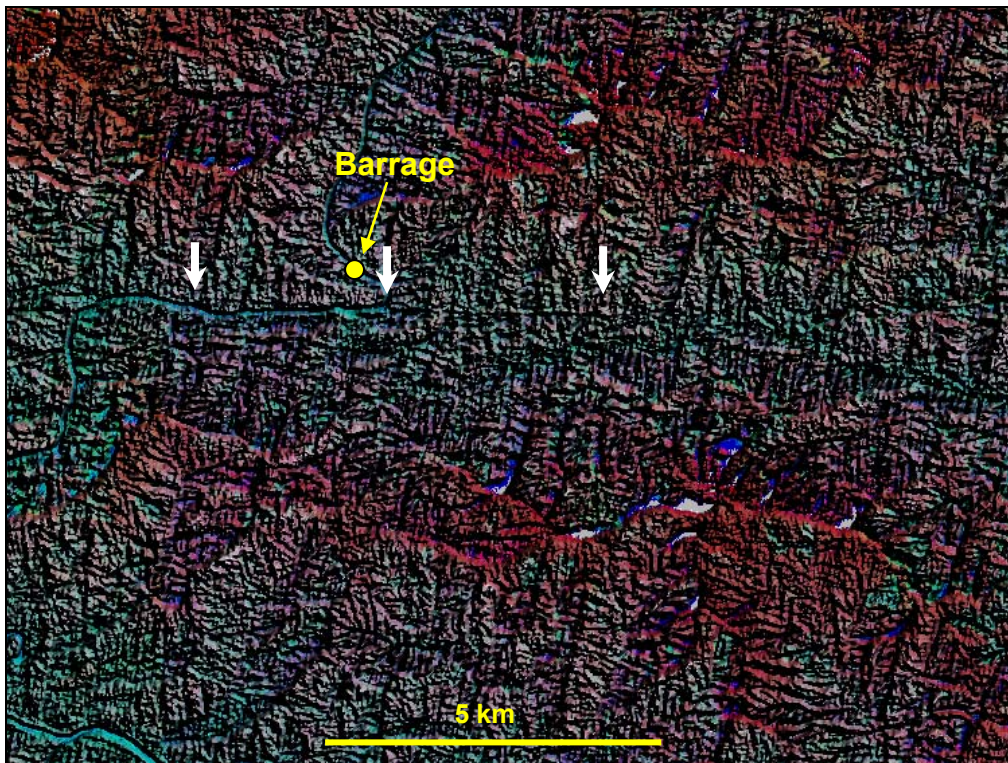


Figure 2.9. Utilisation de technique d'éclairage pour distinguer la faille Nam Chu

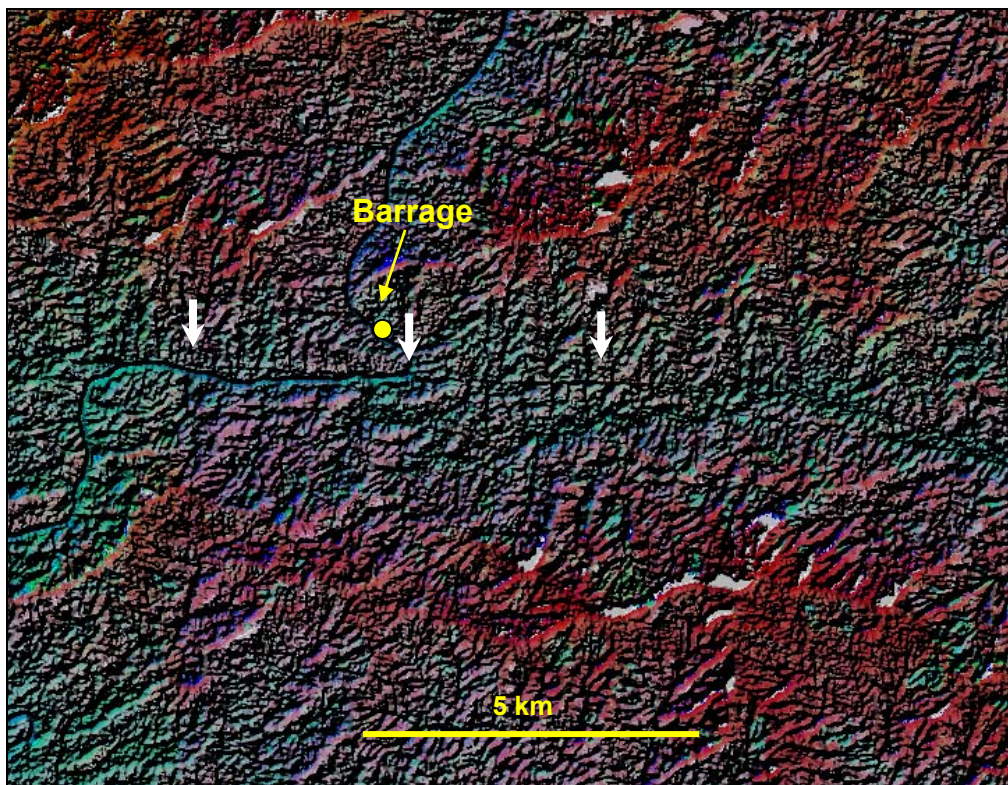


Figure 2.10. Utilisation de technique de filtrage en direction NO - SE pour distinguer la faille Nam Chu



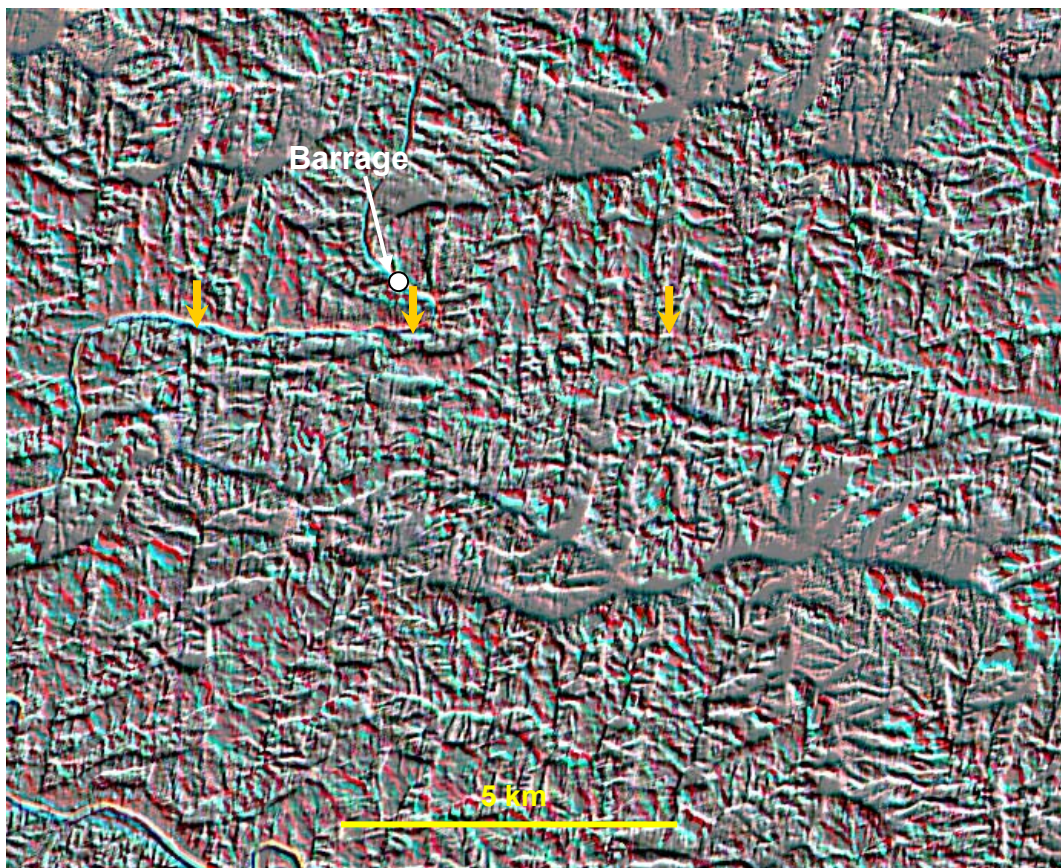


Figure 2.11. Utilisation de technique de filtrage en direction NE - SO pour distinguer la faille Nam Chu

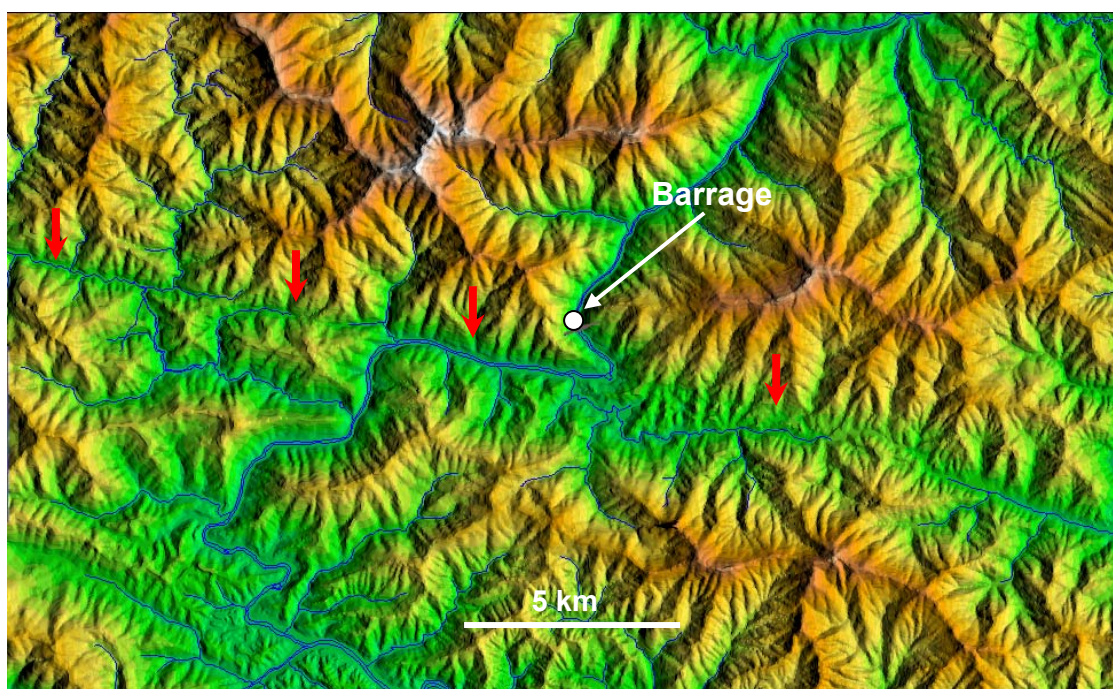
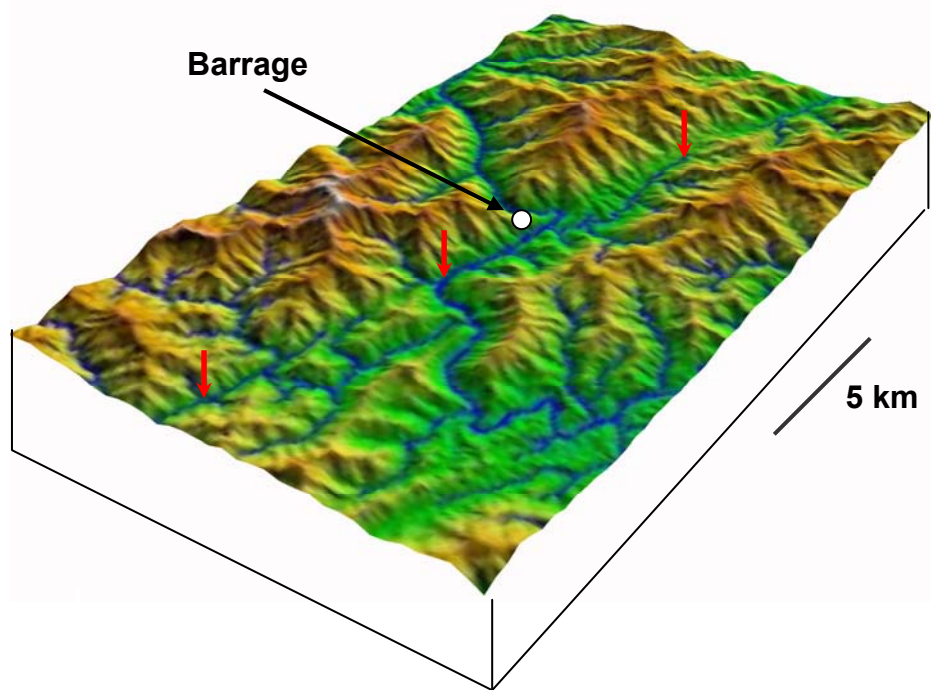


Figure 2.12. La faille Nam Chu de l'ouest dans le MNT en 2 dimensions



**Figure 2.13. La faille Nam Chu de l'ouest dans le MNT en 3 dimensions**

La faille de Nam Chu est la faille active et décrochante dextre la plus proche au barrage. Son extrémité orientale est à une distance de 5,2 km du barrage. La distance plus courte entre le barrage et la faille est de 0,8 km.

La Nam Chu se trouve sur la zone faillée de Song Ca, une grande faille qui peut engendrer le séisme avec une magnitude maximale de 5,6 à 6, à une profondeur de 15 à 20 km et une intensité de 8 (MSK 64) ((Nguyen Dinh Xuyen et Nguyen Ngoc Thuy, 1997). En effet, parmi les tremblements de terre inventoriés autour de la faille de Song Ca, le maximum a une magnitude de 5,2 et une profondeur du foyer de 7 km, un tiers de séismes ont une profondeur hypocentrale de moins de 10 km. Pour la faille de Nam Chu, cette profondeur est supposée de 10 – 12 km.

#### 2.4.2. Magnitude maximale

La magnitude, qui est produite lors d'un tremblement de terre le long de la faille de Nam Chu, est estimée par les méthodes : Wyss (1979), Slemmons (1982), Woodward – Clyde (1983), Well – Coppersmith (1994), Hanks et Kanamori (1979). Une pondération est utilisée avec les coefficients suivants :

- 1 : pour les méthodes basées sur la longueur de faille
- 2 : pour les méthodes basées sur la surface de faille
- 8 : pour les méthodes basées sur la surface et le déplacement de faille (méthode de moment sismique)

La magnitude est calculée pour le foyer de tremblement de terre aux profondeurs de 12 km, 11 km et 10 km dans les cas de séisme maximum crédible (MCE), de séisme maximum concevable (MDE) avec une période de retour de 950 ans et de séisme de base opérationnel (OBE) avec une période de retour de 145 ans. Ces calculs sont basés sur les paramètres, qui déterminés par télédétection et le travail sur le terrain :

- La longueur de la faille est de 50 km,
- La faille est décrochante dextre,
- Le pendage de la faille est supposé de 90°.

Les résultats sont présentés en détail dans l'Annexe 1. Ils montrent que la magnitude maximale est environ de 6,9 si un tremblement de terre se produisait le long de la faille de Nam Chu (Tableau 2.4).

**Tableau 2.4. Magnitude estimée pour la faille de Nam Chu**

Profondeur du foyer (km)	Magnitude		
	Séisme maximum	Période de retour de 145 ans	Période de retour de 950 ans
12	6,924	6,1412	6,7127
11	6,897	6,1173	6,6865
10	6,868	6,0916	6,6584

### 2.4.3. Accélération du sol

L'accélération maximale du sol (PGA) est estimée par les méthodes : Ambrasey (1995), Idriss (1982), Woodward – Clyde (1983), Xiang et Gao (1994), Campbell (1997). La valeur générale est calculée par une pondération de chaque méthode avec les coefficients suivants :

- 1 : pour les méthodes : Ambrasey (1995), Idriss (1982), Woodward – Clyde (1983),
- 1,5 : pour la méthode de Xiang et Gao (1994),
- 4 : pour la méthode de Campbell (1997),

Les PGA au barrage de Ban La sont calculées pour les cas de séisme maximum crédible, des séismes de base opérationnels avec des périodes de retour de 145 ans, et 950 ans et avec des foyers différents: 12 km, 11 km et 10 km. Les calculs de détail sont présentés en annexe. Ces séismes peuvent se produire le long de faille de Nam Chu, la plus proche du barrage.

L'accélération maximale au barrage est de 0,2966 g, 0,3146 g, 0,3363 g engendrée par un tremblement de terre au foyer à la profondeur de 12 km, 11 km, 10 km respectivement. Un séisme à l'extrémité orientale de Nam Chu, ayant une probabilité plus élevée due au principe de concentration de contrainte, peut causer une accélération maximale de 0,2770 g au barrage, qui se trouve à 5,2 km.

**Tableau 2.5. PGA lors d'un séisme le long de la faille de Nam Chu**

Profondeur du foyer (km)	Distance de la faille (km)	PGA maximum (g)		
		Séisme maximum	Période de retour de 145 ans	Période de retour de 950 ans
12	0,8	0,2966	0,2091	0,2718
	5,2	0,2770	0,1942	0,2534
11	0,8	0,3146	0,2229	0,2885
10	0,8	0,3363	0,2391	0,3077

#### **2.4.4. Modélisation de la déformation et du changement de contrainte de Coulomb lors d'un séisme maximum**

Le modèle proposé par Okada pour la déformation et le changement de contrainte  $y$  est utilisé. Lors d'un séisme, un déplacement dextre se produira le long de faille de Nam Chu avec une amplitude de 803 mm si le foyer à la profondeur de 10 km, estimée par Well-Coppersmith (1994). C'est le paramètre qui est utilisé pour modéliser la déformation et le changement de contrainte de Coulomb. Le coefficient de friction de Coulomb  $y$  est choisi de 0,7. Le coefficient de Poisson choisi est de 0,25, une valeur commune pour l'écorce terrestre, le module de cisaillement choisi est de  $3,2 \times 10^{10} \text{ Nm}^{-2}$ . Les valeurs du résultat sont normalisées afin de présenter le changement de contrainte de Coulomb en facteur.

Le calcul est réalisé dans le système de coordonnées en trois dimensions et puis géoréférencé dans le système de coordonnées géographiques par la carte topographique à l'échelle de 1 :50.000. Ce modèle présente le changement de contrainte de Coulomb et les vecteurs de déplacement à la surface (Figure 2.14 et Figure 2.15) et à la profondeur de 10 km (Figure 2.16), les axes de déformation à la surface (Figure 2.17) et à la profondeur de 10 km (Figure 2.18) si le séisme maximal se produisait le long de la faille de Nam Chu avec un foyer à la profondeur de 10 km.

Les modèles présentent nettement le domaine de contrainte de Coulomb croissante, ou plus précisément dire, le domaine de contrainte en dilatation à différents niveaux ; et le domaine de contrainte de Coulomb décroissante ou de contrainte en compression. Le domaine de contrainte croissante plus élevée est le plus dangereux parce qu'il est sensible au séisme et que la résistance décroît spécialement pour le barrage en béton.

Le résultat montre que le barrage se situe dans le domaine de contrainte légèrement décroissante ou de contrainte en légère compression et donc que le risque sismique pour le barrage n'est pas inquiétant. En outre, les orientations et les grandeurs des axes de tension et de dépression peuvent influencer la sécurité du barrage. Elles indiquent les forces agissant sur le barrage lors d'un tremblement de terre. Dans ce cas, au barrage, l'axe de tension est presque perpendiculaire au barrage (azimut de 150-160°), lorsque l'axe de compression est parallèle à ce barrage (azimut de 20 - 30°). C'est aussi une bonne condition de sécurité géodynamique pour le barrage.

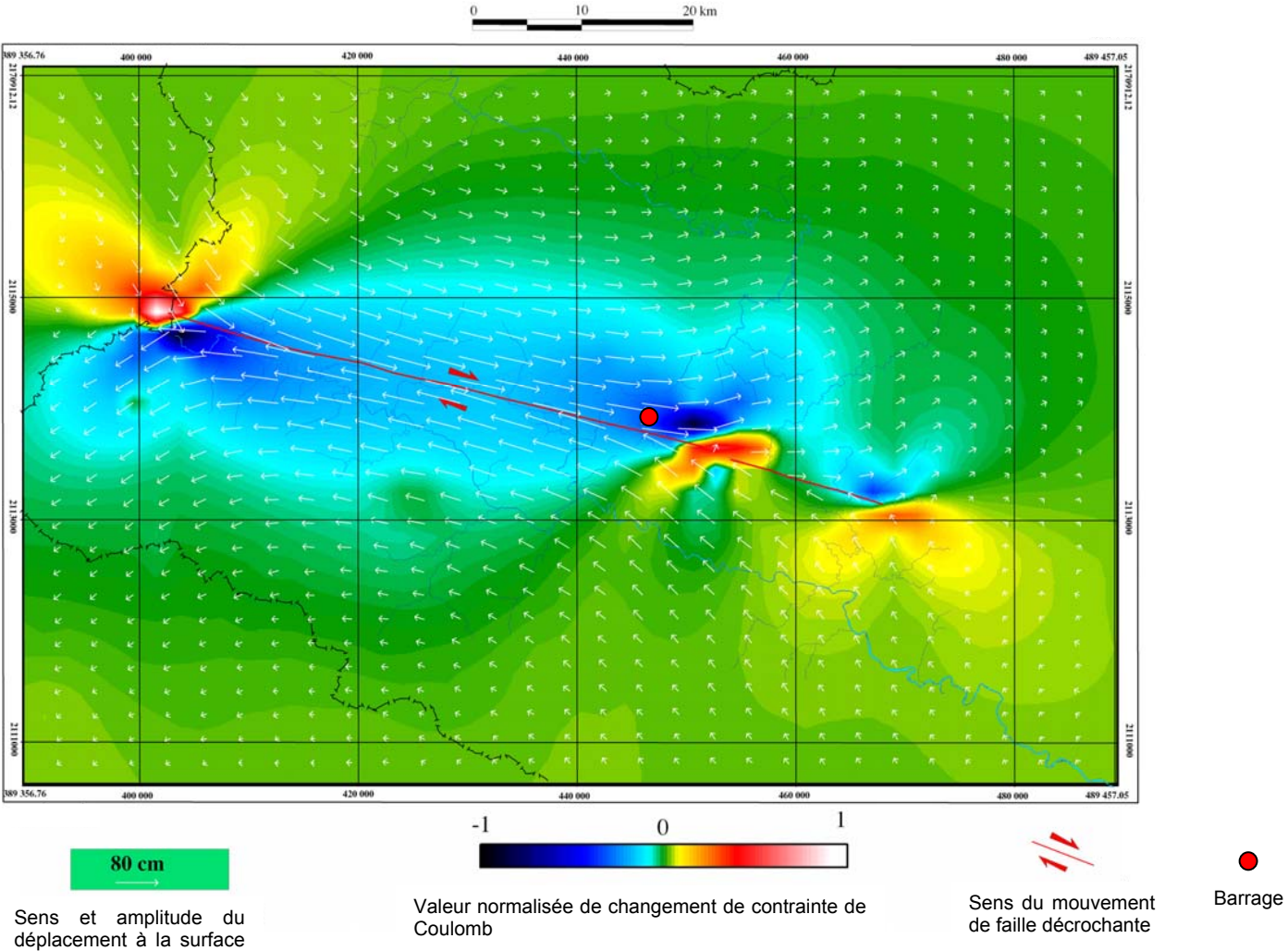


Figure 2.14. Changement de contrainte de Coulomb à la surface autour de la faille de Nam Chu

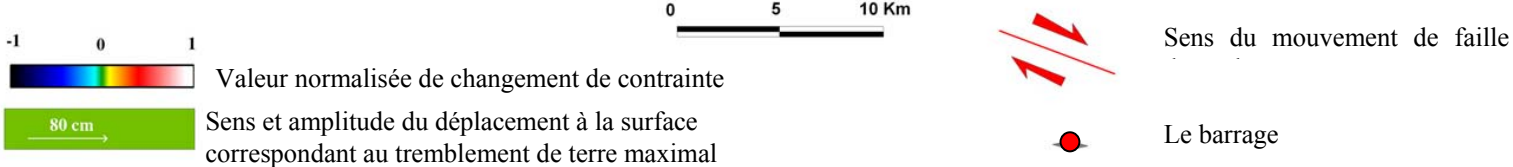
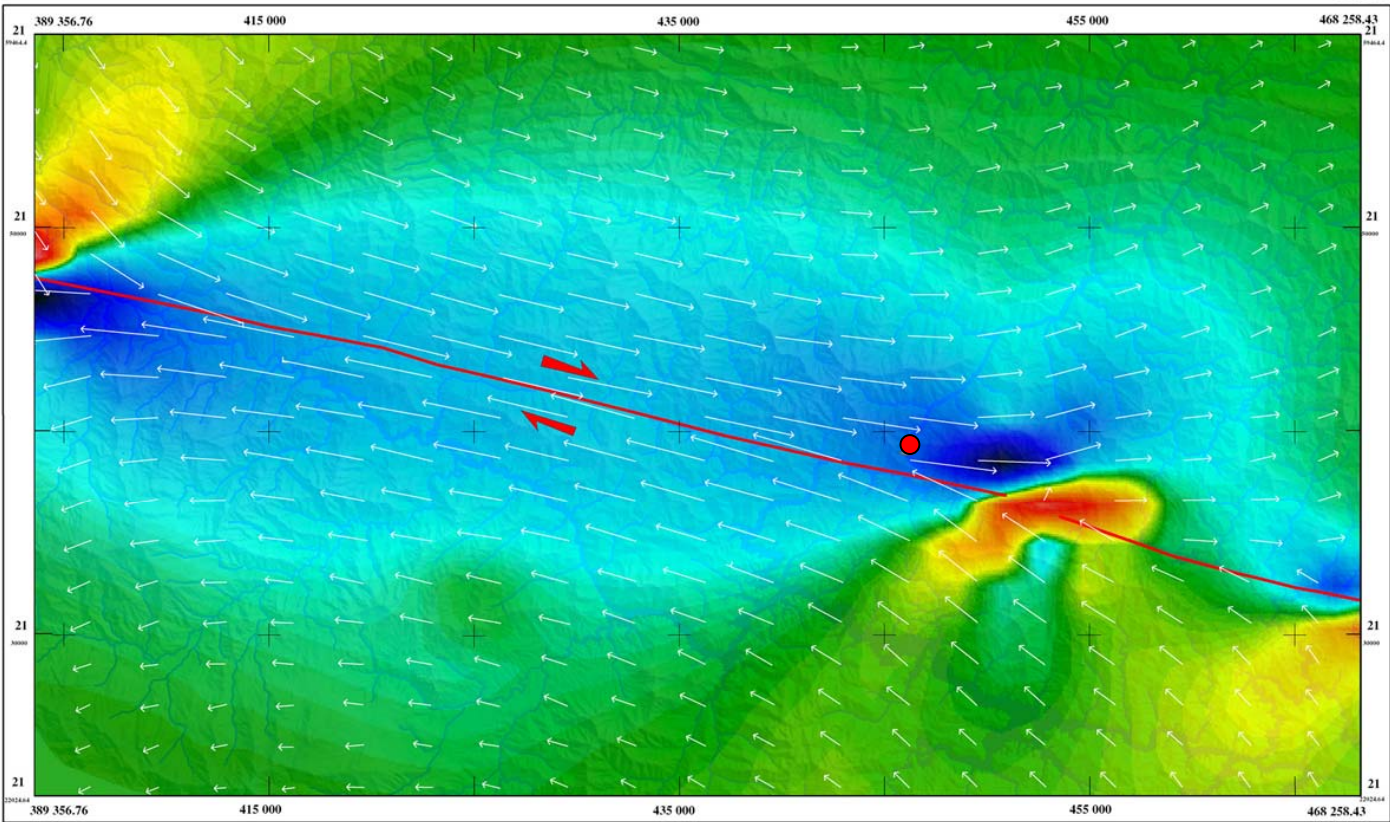
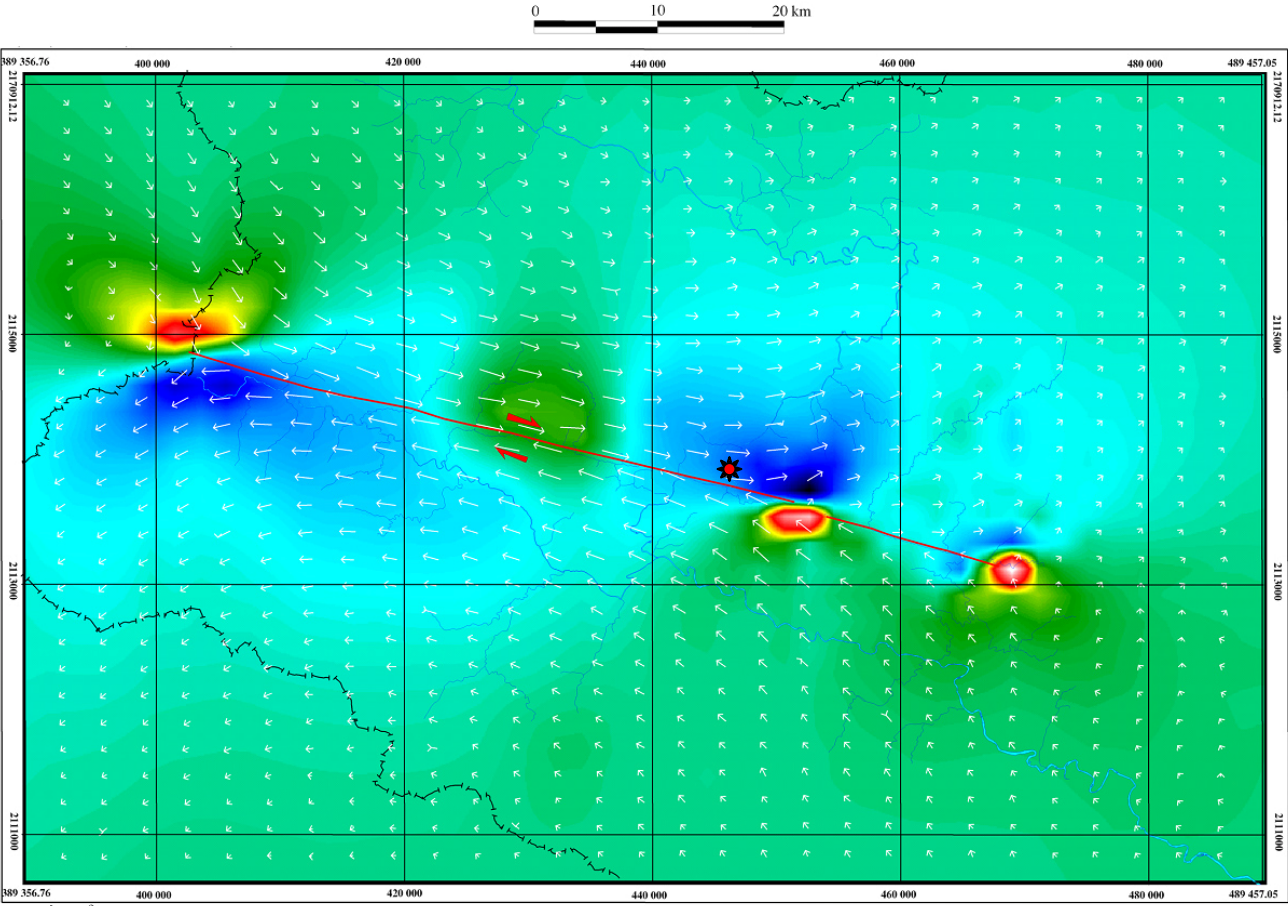


Figure 2.15. Changement de contrainte de Coulomb à la surface autour de la faille de Nam Chu superposé sur le MNT



CHỦ GIẢI

80 cm →

Sens et amplitude du déplacement à la profondeur de 10km correspondant au tremblement de terre maximal

Valeur normalisée de changement de contrainte de Coulomb

Sens du mouvement de faille

★ Barrage

Figure 2.16. Changement de contrainte de Coulomb à la profondeur de 10 km autour de la faille de Nam Chu

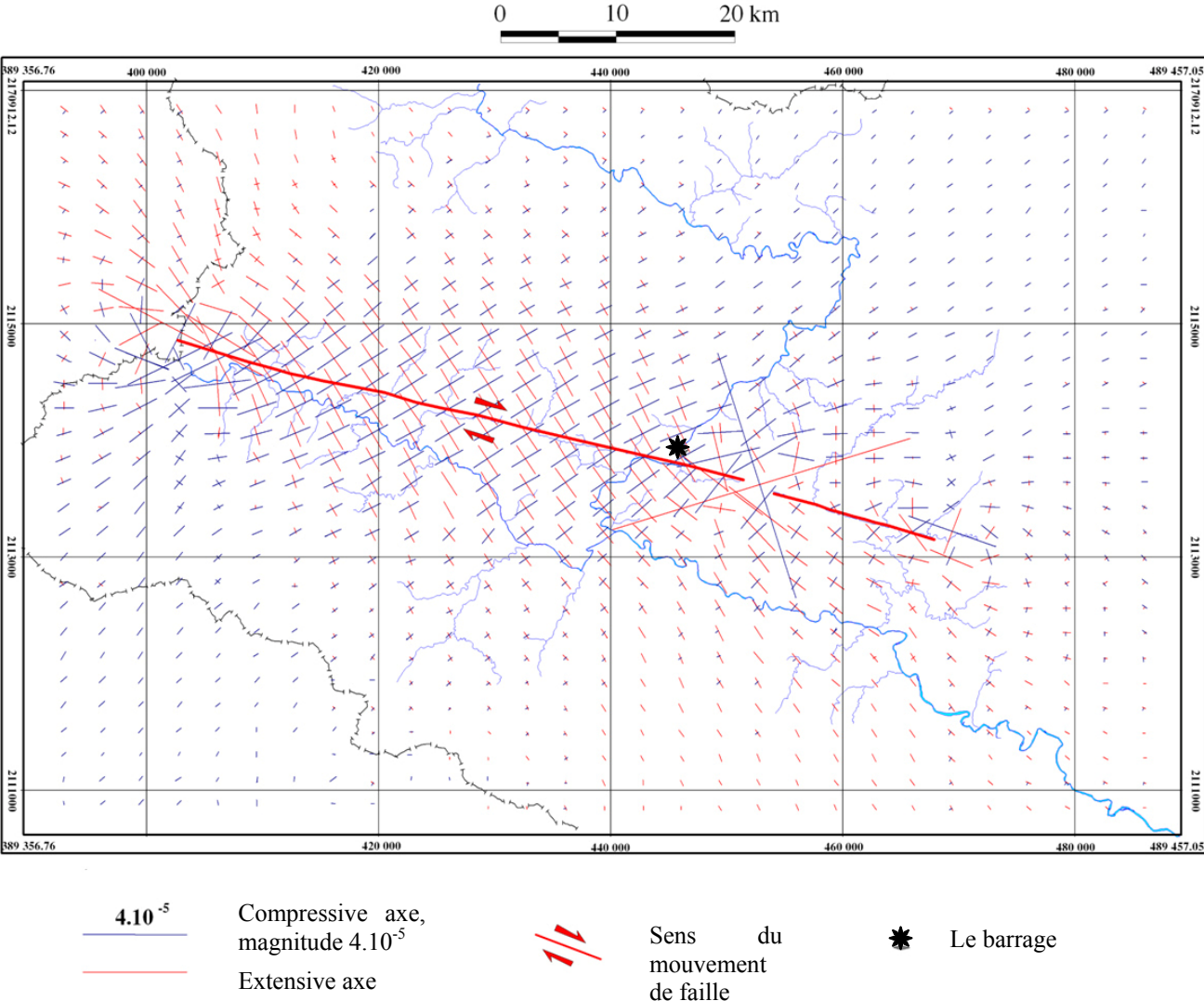


Figure 2.17. Axes de déformation à la surface autour de la faille de Nam Chu



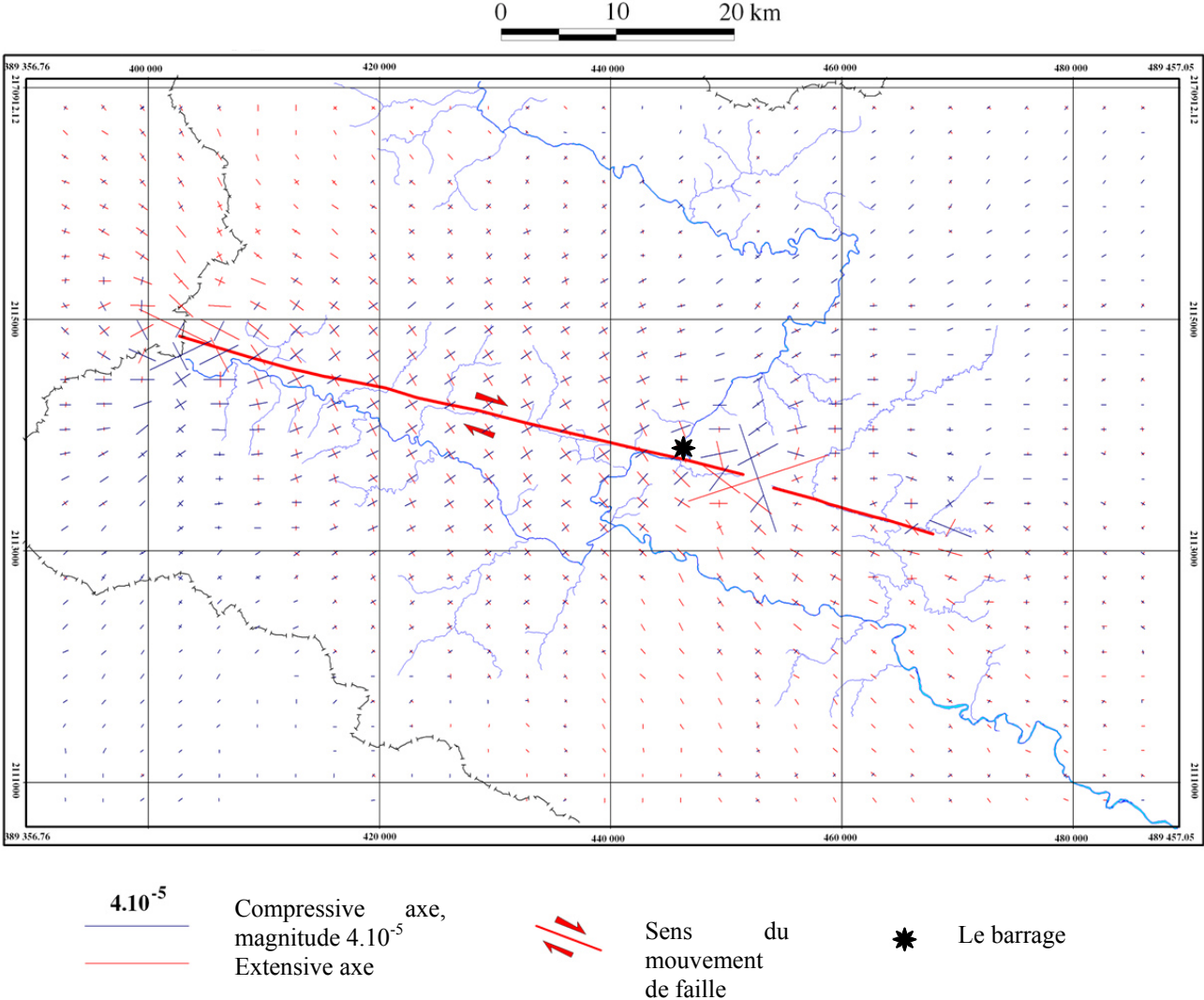


Figure 2.18. Axes de déformation à la profondeur de 10 km, autour de la faille de Nam Chu

## 2.5. RISQUE SISMIQUE POUR LE BARRAGE DE HUONG DIEN

### 2.5.1. Résumé relatif au barrage de Huong Dien

Le barrage hydroélectrique de Huong Dien est construit au milieu de la rivière Bo, un affluent de la rivière des Parfums (rivière de Huong). Il se trouve sur la commune de Huong Van - district de Huong Tra – province de Thua Thien – Hué, environ 20 km à l'ouest de la ville de Hué (Figure 2.19). Cet ouvrage a débuté en mai 2005 avec une superficie de construction principale de 100 ha. Le volume de réservoir est estimé de 800 millions de mètres cubes et le plan d'eau au niveau normal est de 30 km<sup>2</sup>. Cet ouvrage conçu pour la production électrique, une puissance de 54 MW, ajoutant au réseau électrique national un rendement moyen de 201,6 GWh/an et aussi améliorant le paysage, l'environnement pour le développement de la région.

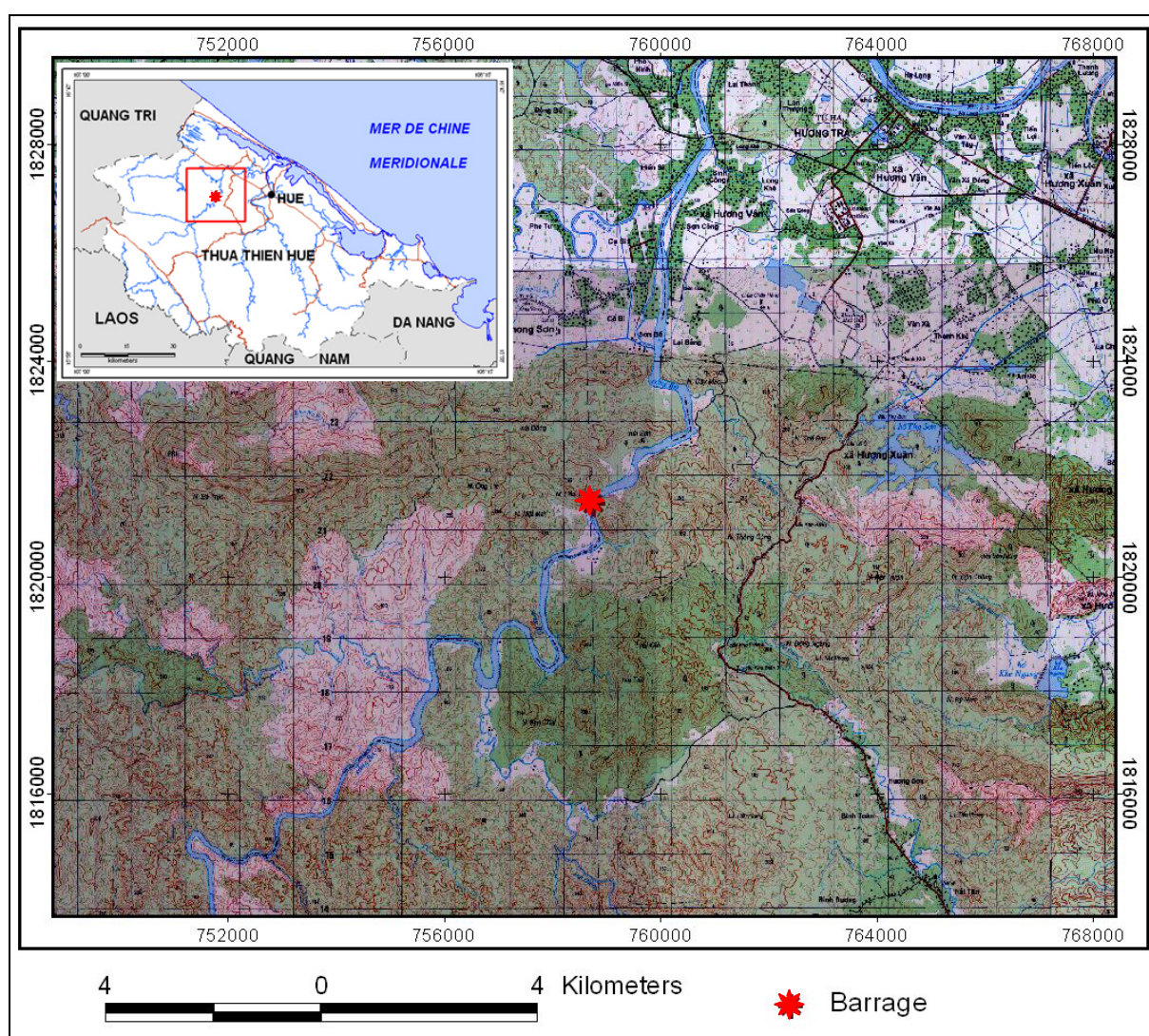


Figure 2.19. Position du barrage de Huong Dien

Le barrage principal est de 180 m de long, reliant deux collines d'environ 150 m d'altitude. Ses alentours sont caractérisés par un relief de collines avec des élévations dont la plupart entre 100 m et 200 m et plus haute à l'ouest du barrage, culminant à 660 m au mont de Ba Truc (Figure 2.20 et Figure 2.21). Le long de la vallée de Bo, ce sont des collines de 100 à

150m avec une pente de 10 à 30°, dominée par les processus d'érosion. A une distance de 4 km en aval du barrage, le relief des collines change brusquement à la plaine de plus ou moins de 10 m de haut par une pente de 30 - 40°. C'est aussi la zone la plus peuplée de la région.



Figure 2.20. Paysage du site de barrage vers l'amont (gauche) et l'aval (droit)

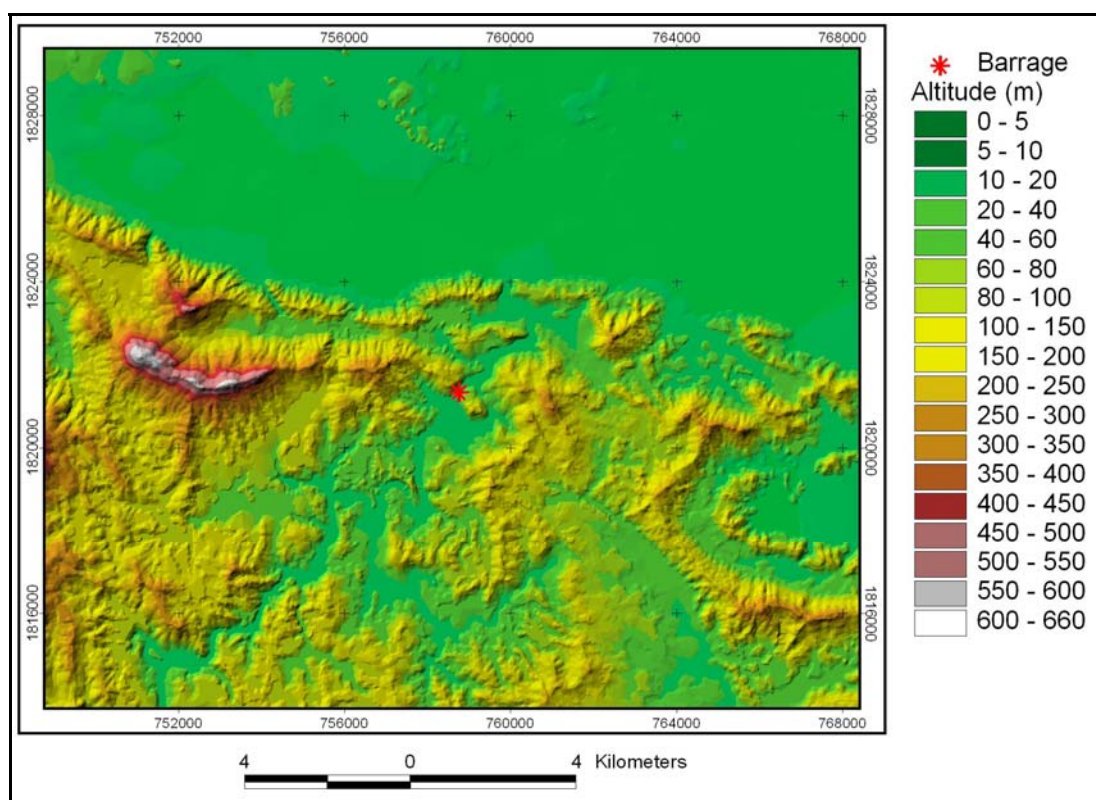


Figure 2.21. MNT du site de barrage

Au niveau de la géologie, 10 formations et complexes dans la région étudiée (Figure 2.22) peuvent être divisées en trois groupes : les dépôts meubles du Quaternaire, les roches sédimentaires et les roches intrusives.

Les dépôts du Quaternaire appartiennent à 4 formations : Quang Dien du Pléistocène moyen – supérieur, Phu Xuan du Pléistocène supérieur, Phu Bai de l'Holocène inférieur – moyen et Phu Vang de l'Holocène moyen – supérieur. Ce sont des graviers, sables, silts et argiles au nord de la région.

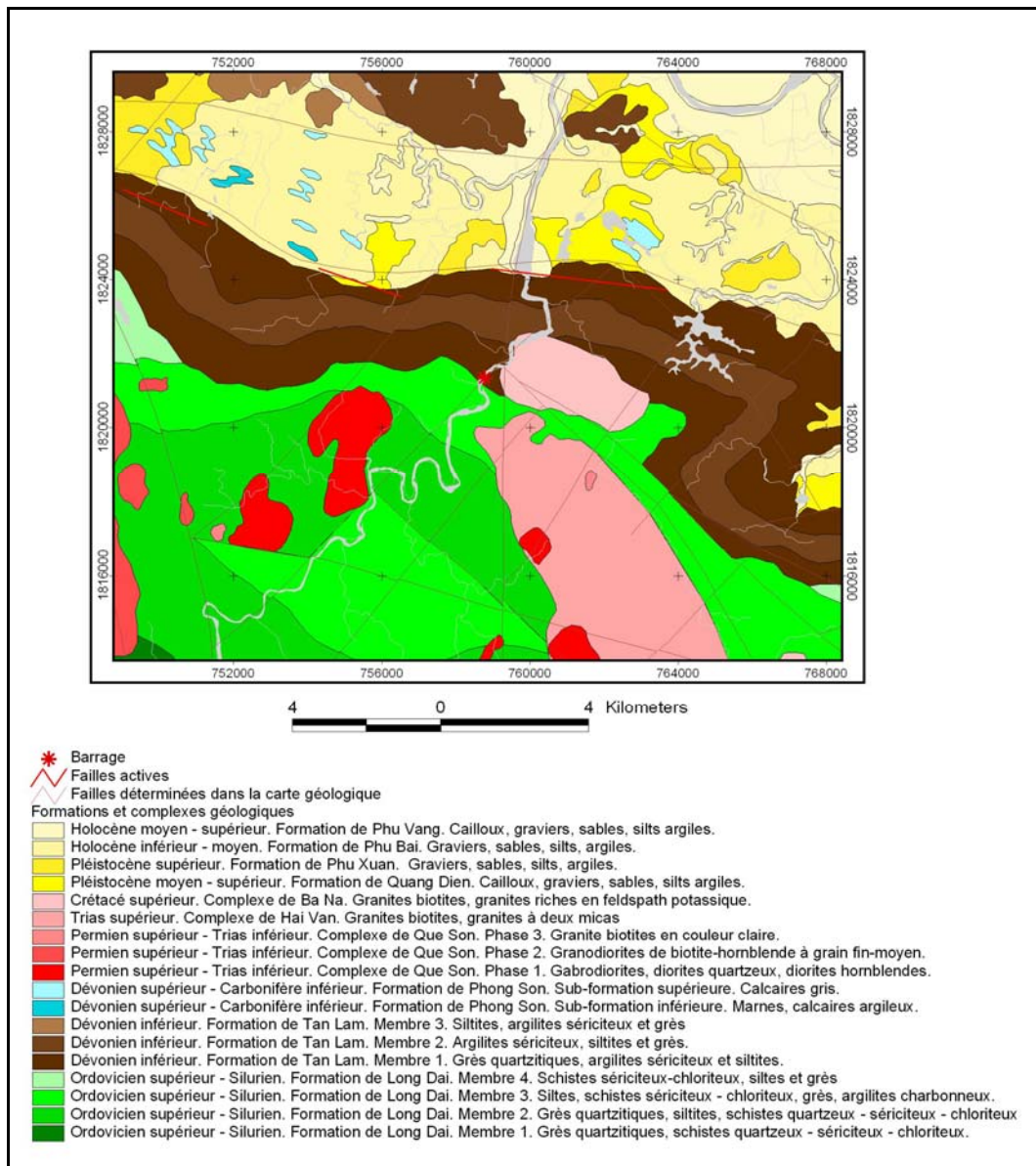
Les roches sédimentaires appartiennent aux 3 formations : Phong Son du Dévonien supérieur – Carbonifère inférieur, Tan Lam du Dévonien moyen et Long Dai de l’Ordovicien – Silurien.

La formation de Phong Son comprend des calcaires, marnes, trouvés éparsement au nord de la région étudiée, en dessous de dépôts quaternaires. À présent, ces calcaires sont exploités pour la production de ciment.

Les roches de la formation de Tan Lam se répartissent au NO et au centre de la région et se groupent en trois membres de bas en haut comme suit :

- Le membre 1 est caractérisé par des grès quartzitiques, argilites sériciteux et siltites
- Le membre 2 est constitué d’argilites sériciteux, siltites et grès.
- Le membre 3 comprend de siltites, argilites sériciteux et grès.

Le barrage est construit sur les roches de la sub-formation inférieure, y compris grès, argilites sériciteux et siltites dont la plupart est de grès. Ces roches sont très dures, stratigraphées avec un pendage de 40° – 50° vers le NE. Néanmoins ces roches sont cassées par des fentes orientées de NO – SE à cause de l’activité des failles (Figure 2.23 et Figure 2.24).





**Figure 2.23. Fente dans les grès sur le site de construction du barrage, rive gauche de la rivière Bo**

*(Photo : Mai Thanh Tan., 2007)*



**Figure 2.24. Fente dans les grès sur le site de construction du barrage, rive droite de la rivière Bo**

*(Photo : Mai Thanh Tan., 2007)*

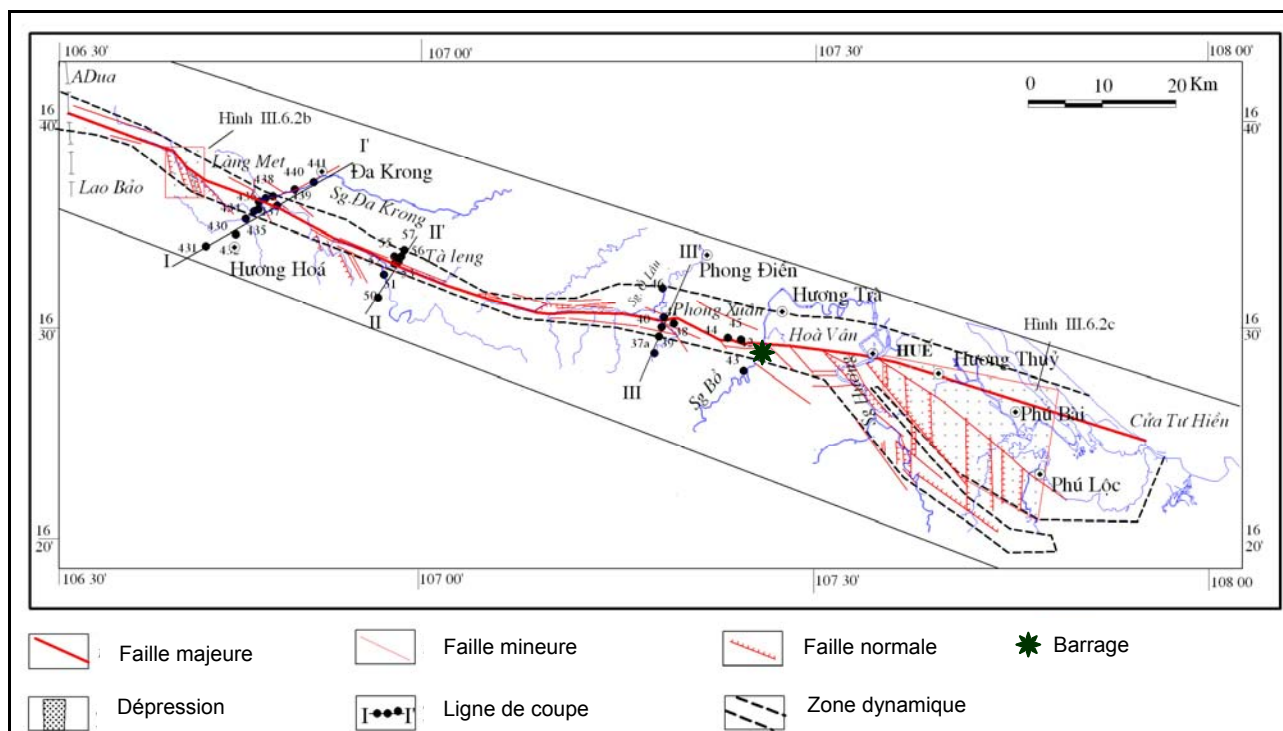
Les roches de la formation de Long Dai couvrent une grande partie du sud de la région. Elles sont divisées en quatre membres de bas en haut :

- Membre 1 : grès quartzitiques, schistes quartzeux – sériciteux – chloriteux ;
- Membre 2 : grès quartzitiques, siltites, schistes quartzeux – sériciteux – chloriteux ;
- Membre 3 : silts, schistes sériciteux – chloriteux, grès, argilites charbonneux
- Membre 4 : schistes sériciteux – chloriteux, silts et grès.

Les roches intrusives appartiennent à 3 complexes : Que Son du Permien supérieur – Trias inférieur, Hai Van du Trias supérieur et Ba Na du Crétacé supérieur. Elles sont principalement de granites, granodiorites, trouvées en forme de massifs au sud et au sud-ouest du barrage.

### 2.5.2. Failles actives.

Le barrage de Huong Dien est construit dans la zone tectonique de Truong Son, près d'une faille majeure, la Dak Rong – Hué qui est la limite des structures intra-zonales. Cette faille traverse le sud-ouest de Quang Tri et le nord de Thua Thien - Hué sur une distance de 170km. Son activité néotectonique est reflétée par les signes suivants (Bui Van Thom, 2002) (Figure 2.25) :



**Figure 2.25. Structure de la faille Dak Rong – Hué**

(Bui Van Thom, 2002)

- Les anomalies géochimiques en Rn (330- 544 impulsions/minute), CO<sub>2</sub> (0,3- 35%); CH<sub>4</sub> (2,2- 6%) et Hg (1.000- 10.000 ng/m<sup>3</sup>).
- Les signes sismiques avec des tremblements de terre de magnitude M = 3 à Thuan An et d'intensité de VII (MSK 64) en novembre 1892 au nord de la citadelle de Hué. Selon l'Institut de Géophysique du Vietnam, la faille Dak Rong – Hué peut engendrer des tremblements de terre avec une magnitude maximale de 5,6- 6,0, un foyer à la profondeur de 10- 15km.
- Un mouvement vertical actuel de la zone de Huong Tra – Hué, mesuré par GPS en avril 1995 et février 1998 par l'Institut de Géologie du Vietnam, est estimé de 4 mm/an avec une subsidence du compartiment au nord-est de la faille et un soulèvement du compartiment au sud-ouest de ce faille.
- Une source thermale trouvée à Khe Nu (Dak Rong) sur une faille mineure de la faille Dak Rong – A Luoi.
- La fracturation (passée et présente) sur une grande superficie à Huong Ho, Thien Mu, Citadelle de Hué, où la faille passe.

- Un champ de contrainte : un décrochement dextre à la partie du nord-ouest de la faille et un décrochement dextre – extension à la partie du sud-est.
- Des signes géomorphologiques donnent un déplacement dextre - normal le long de la faille Dak Rong – Hué en amont de la rivière O Lau, NO de Thua Thien – Hué avec une amplitude horizontale de 350 – 1.470 m et verticale de 300 m.

Alors la faille Dak Rong – Hué passant près de la construction du barrage de Huong Dien est encore active. Pour déterminer l'influence de cette faille sur le barrage, il faut déterminer des segments actifs autour de ce barrage. Ce travail est réalisé par l'analyse de télédétection et du SIG, basée sur les données suivantes :

- Carte topographique de 1 : 50.000
- Image Landsat 7 datée du 2 juin 2001
- Image Spot 2 datée du 18 décembre 2004

À partir de la carte topographique, un MNT est créé (Figure 2.26 et Figure 2.27), des profils traversant la zone étudiée et le barrage sont levés (Figure 2.28 et Figure 2.29) pour visualiser le changement du relief afin de déterminer les segments actifs de la faille qui souvent se trouvent aux endroits de forts changements de relief. Les segments actifs sont aussi déterminés en se basant sur les linéaments référés sur les images satellitaires (Spot et Landsat). Ces images en combinaison avec le MNT qui présente la surface terrestre en 3 dimensions peuvent améliorer l'identification des segments de faille (Figure 2.30 et Figure 2.31).

En analysant ces données, cela nous permet de déterminer 3 segments actifs de faille qui influencent le barrage de Huong Dien. Ils sont baptisés F1, F2, et F3 (Figure 2.32). Ces failles sont bien déterminées sur les images par des linéaments séparant le ton clair (la plaine) et le foncé (la montagne). Dans les profils, elles sont reflétées par une pente raide à cause de forts changements d'altitude.

La faille F1, la plus proche, se trouve à 2,9 km au NNE du barrage. Elle s'étend sur 4763 m au pied des collines en direction quasi-latitudinale et traverse la rivière Bo.

La faille F2 se trouve à une distance de 3,1 km au NO du barrage. Elle a 2.351 m de long et de direction ONO – ESE.

La faille F3 est plus loin au NO que F2. Elle a 2.468 m de long et est à 8,5 km du barrage. Elle longe le pied des collines en direction NO – SE.

En résumé, les trois failles de la région sont de direction de NO – SE ou quasi-latitudinale. Leurs activités se reflètent bien sur le relief ainsi que sur les images satellitaires par des linéaments qui séparent nettement 2 compartiments : le sud avec des collines de 150 – 200m de haut et le nord avec une plaine à l'altitude de plus ou moins 10 m. Ce sont des failles normales et de décrochement dextre. Elles appartiennent au système de faille de Dak Rong – Hué avec un pendage de 65 – 70° vers le nord-est.

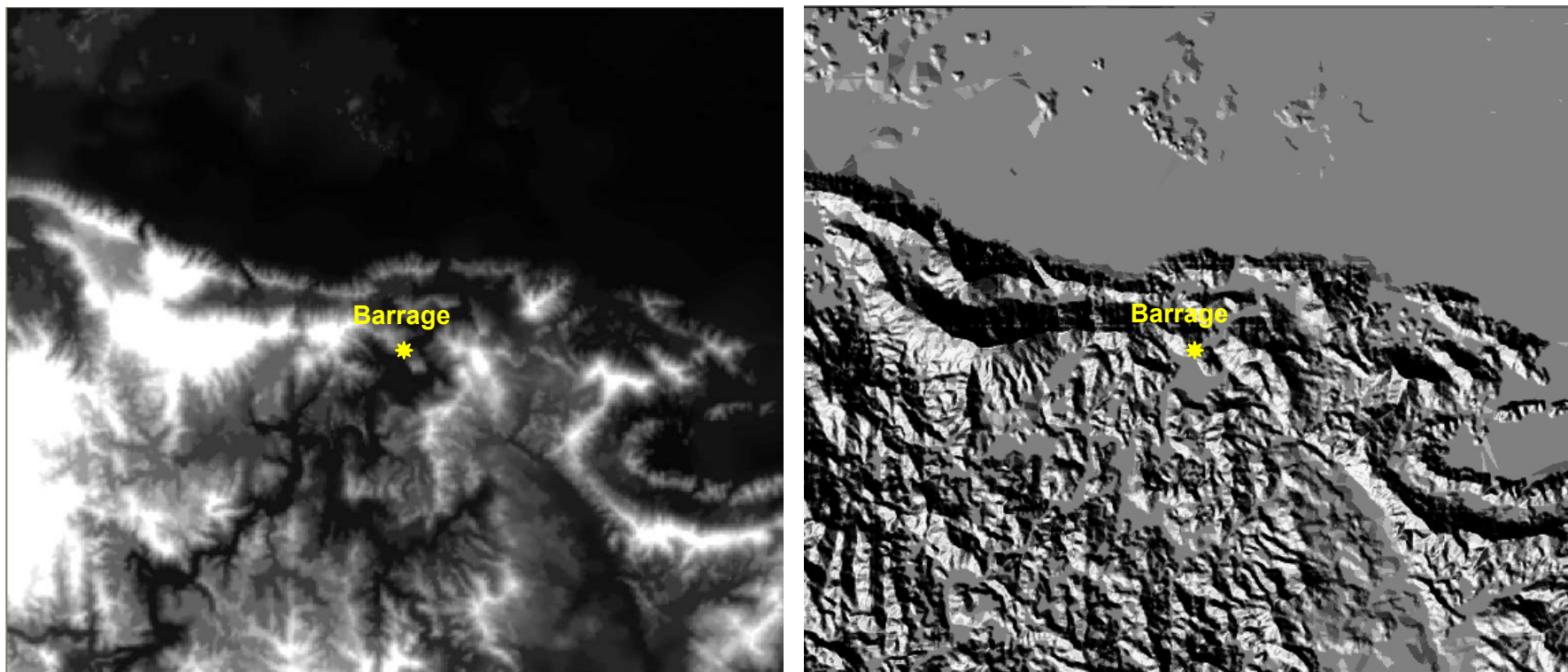


Figure 2.26. MNT de la région autour du barrage de Huong Dien



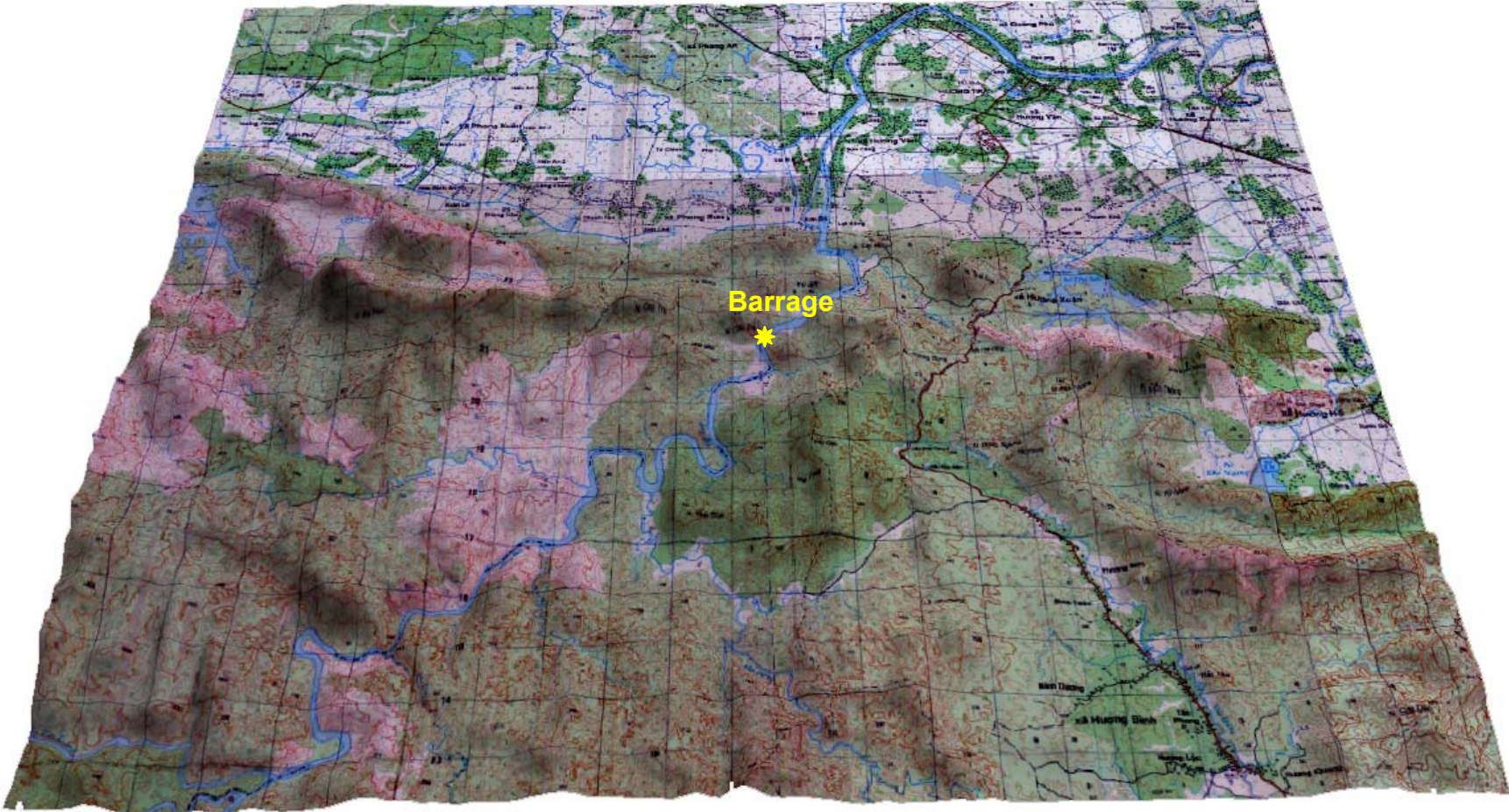


Figure 2.27. Carte topographique en combinaison avec MNT

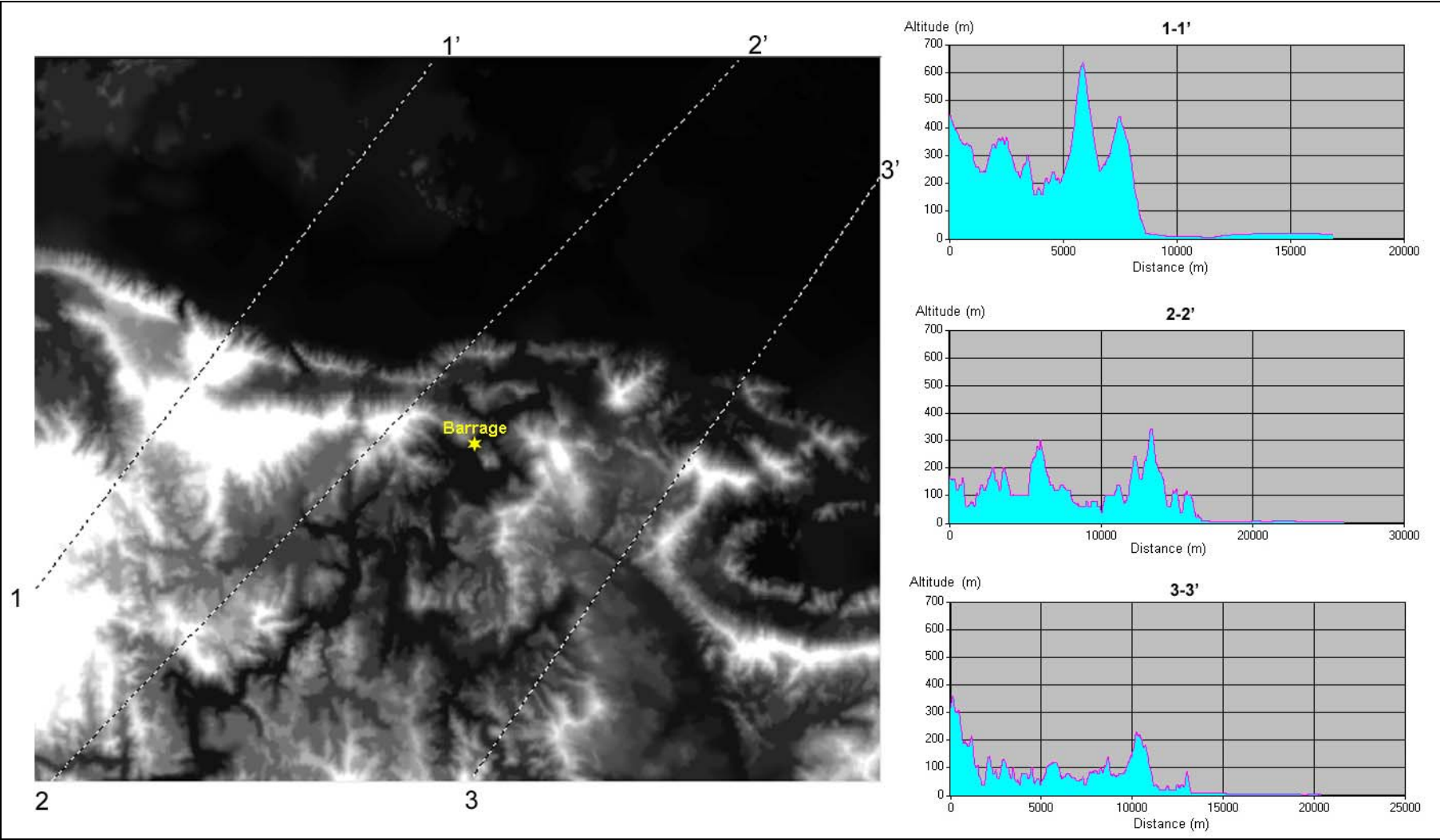


Figure 2.28. Profils SO-NE traversant la région autour du barrage de Huong Dien

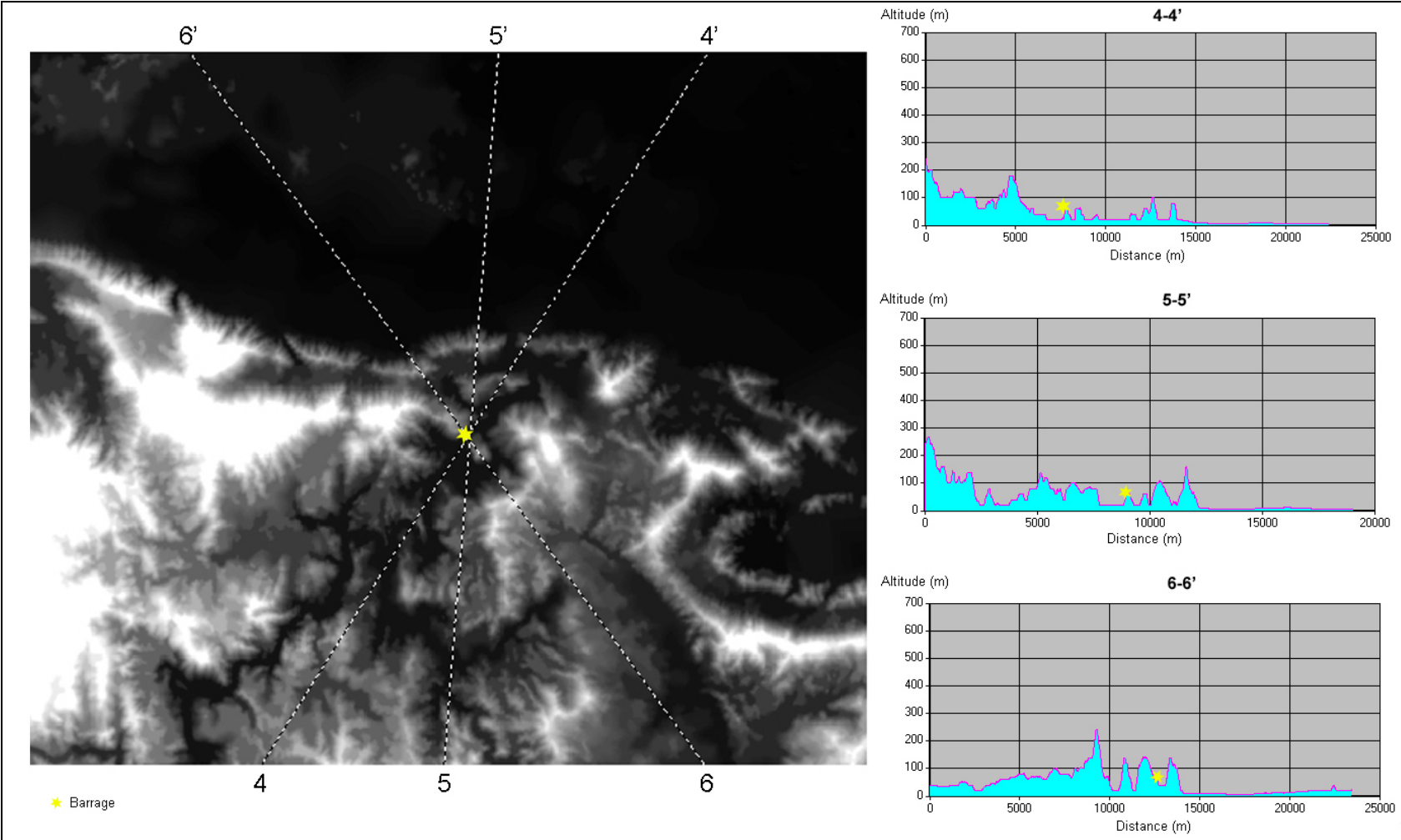


Figure 2.29. Profils traversant le barrage de Huong Dien

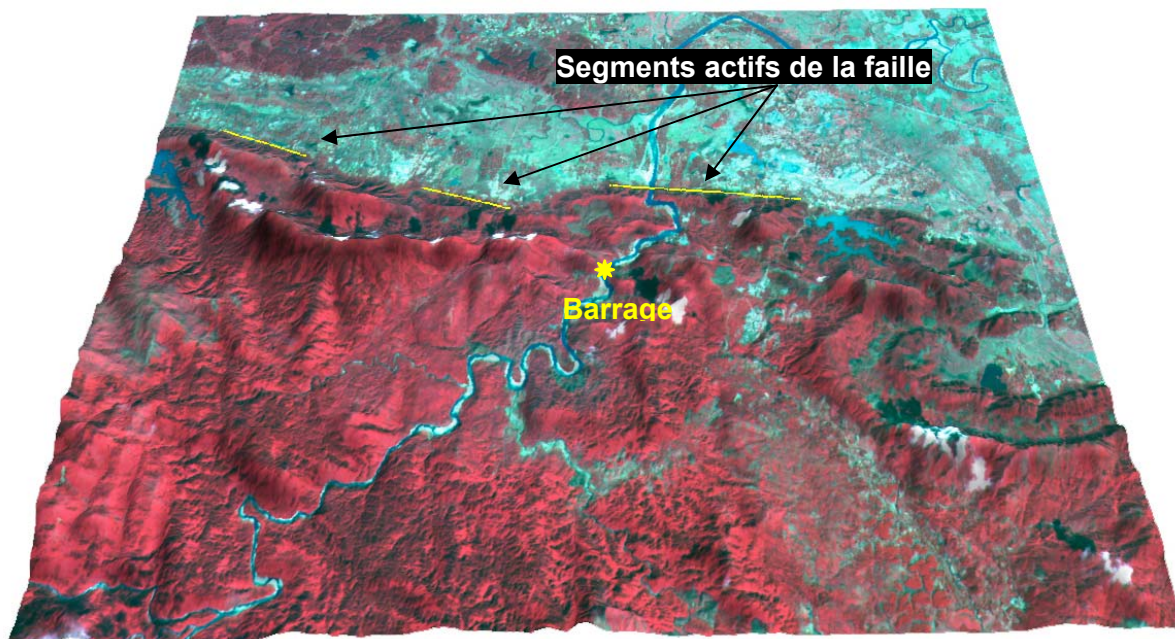


Figure 2.30. Déterminer les segments actifs sur l'image Spot2 en combinaison avec le MNT

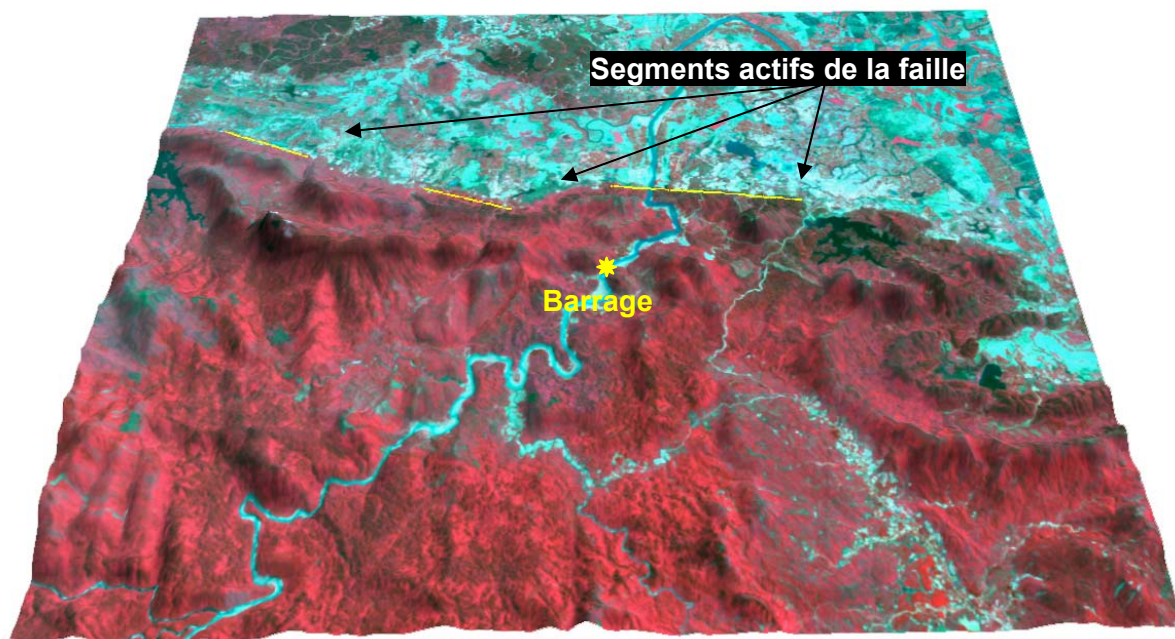


Figure 2.31. Déterminer les segments actifs sur l'image Landsat 7 en combinaison avec le MNT

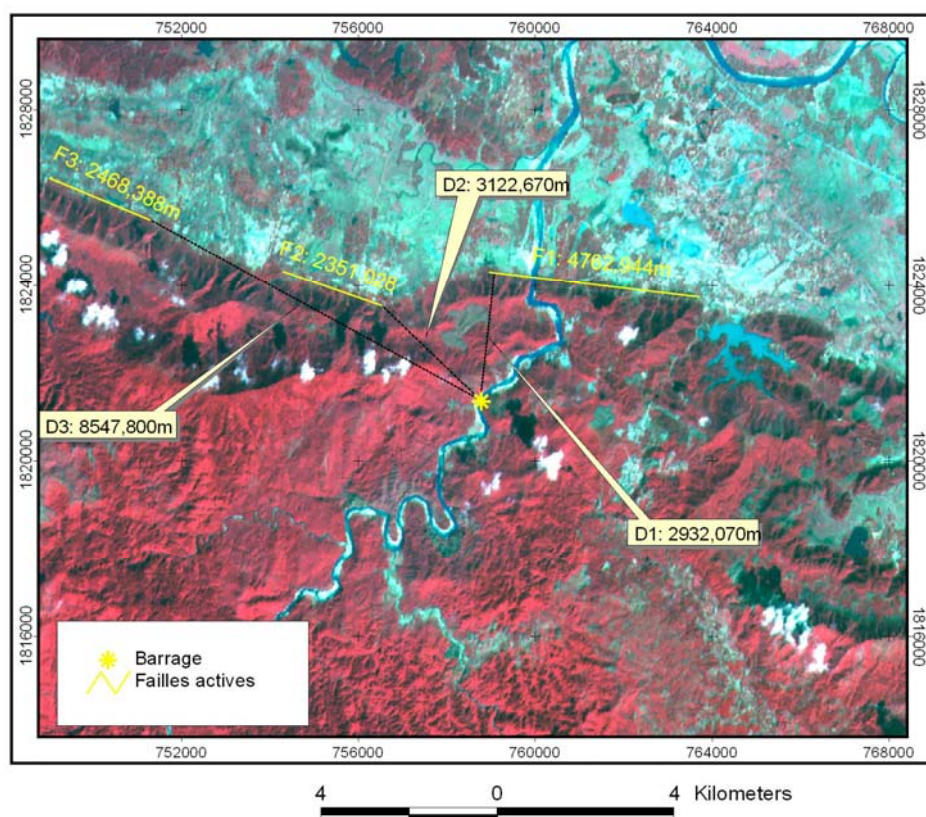


Figure 2.32. Les segments actifs influençant le barrage de Huong Dien

### 2.5.3. Magnitude maximale des failles actives autour du barrage de Huong Dien

Le calcul de la magnitude maximale pour le barrage de Huong Dien est basé sur les failles actives F1, F2, F3 dans la région (Figure 2.32). Leurs paramètres sont déterminés par les images satellitaires et les autres documents (Tableau 2.6).

Tableau 2.6. Les paramètres des failles actives utilisées pour évaluer le tremblement de terre

Faille	Longueur (m)	Distance au barrage (m)	Caractère	Pendage (°)
F1	4762,944	2932,070	Décrochante	70
F2	2351,028	3122,670	Décrochante	70
F3	2468,388	8547,800	Décrochante	70

La magnitude est calculée par des méthodes différentes, qui sont mentionnées ci-dessus. Les valeurs moyennes et maximales sont obtenues par une pondération avec les coefficients qui sont assignés comme suit :

- 1 : pour les méthodes basées sur la longueur de faille
- 2 : pour les méthodes basées sur la surface de faille
- 3 : pour les méthodes basées sur la surface et le déplacement de faille (méthode du moment sismique)

Les résultats sont présentés en détail dans l'Annexe 2. Le barrage pourrait subir un tremblement maximal avec une magnitude de 5,74, engendré par la faille F1 à une distance d'environ 2,9 km du barrage. Les deux failles restantes F2 et F3 pourraient produire un séisme avec une magnitude de 5,4 - 5,5 (Tableau 2.7). Les déplacements maximaux le long des failles sont estimés de 22 à 42 mm.

**Tableau 2.7. Magnitude et déplacement des failles sismogéniques autour du barrage de Huong Dien**

Faille	Magnitude moyenne	Magnitude maximale	Déplacement maximal (m)
F1	5,449	5,736	0,042
F2	5,106	5,418	0,022
F3	5,158	5,474	0,025

#### 2.5.4. Accélération du sol au barrage de Huong Dien

La PGA est estimée par les méthodes différentes avec une pondération suivante :

- Les formules proposées par Ambrasey (1995), Idriss (1982), Woodward - Clyde (1983) : 1.
- La formule de Xiang et Gao (1994) : 1,5 et
- Le modèle 5 de Campbell : 3.

Les résultats sont présentés en détail dans l'Annexe 2. Ils montrent que la faille F1, distante de 2,9 km du barrage, est la plus influençante pour le barrage. Elle peut produire : une accélération horizontale maximale de 0,263 g, soit 258 cm/s<sup>2</sup> ; l'accélération de 0,26 g, soit 255 cm/s<sup>2</sup> pour la période de retour de 10.000 ans ; l'accélération de 0,212 g, soit 208 cm/s<sup>2</sup> pour le tremblement de terre maximum concevable correspondant à une période de retour de 950 ans ; l'accélération de 0,17 g, soit 166 cm/s<sup>2</sup> pour le tremblement de terre de base opérationnelle correspondant à la période de retour de 475 ans ; et l'accélération de 0,141 g, soit 138 cm/s<sup>2</sup> pour le tremblement de terre de base opérationnelle correspondant à une période de retour de 145 ans (Tableau 2.8)

**Tableau 2.8. PGA au barrage causé par les failles**

Faille	PGA maximum		PGA (10000)		PGA (950)		PGA (475)		PGA (145)	
	g	cm/s <sup>2</sup>	g	cm/s <sup>2</sup>	g	cm/s <sup>2</sup>	g	cm/s <sup>2</sup>	g	cm/s <sup>2</sup>
F1	0.2633	258	0.2598	255	0.2122	208	0.1695	166	0.1410	138
F2	0.2138	210	0.2111	207	0.1709	167	0.1365	134	0.1147	112
F3	0.1497	147	0.1481	145	0.1186	116	0.0941	92	0.0792	78

#### 2.5.5. Modélisation de la déformation et du changement de contrainte de Coulomb lors d'un séisme maximum.

Le modèle de déformation et de changement de contrainte proposé par Okada est utilisé. Lors d'un séisme, un déplacement se produira le long de la faille. Les amplitudes de décrochement dextre le long des failles F1, F2, F3 sont estimées par Well-Coppersmith (1994) de valeurs maximales 42 mm, 22 mm et 25 mm respectivement. Ce sont les paramètres dont le modèle a besoin. Le coefficient de friction de Coulomb, dans ce cas de décrochement, est de 0,4.

Ce modèle calcule pour la faille plus influençant F1 ainsi que les 3 failles F1, F2 et F3 en surface, aux profondeurs de 3 km et 6 km. Le calcul est réalisé dans le système de coordonnées de Descartes et puis géoréférencé dans le système de coordonnées géographiques par la carte topographique à l'échelle de 1 :50.000. Les résultats sont présentés par les Figure 2.33, Figure 2.34, Figure 2.35, Figure 2.36, Figure 2.37 et Figure 2.38.

Les modèles présentent nettement le domaine de contrainte de Coulomb croissante, ou plus précisément, le domaine de contrainte en dilatation à différents niveaux ; et le domaine de contrainte de Coulomb décroissante ou de contrainte en compression. Le domaine de contrainte croissante plus élevé est le plus dangereux parce qu'il est sensible au séisme et que la résistance décroît spécialement pour un barrage en béton. Le résultat montre que le barrage se situe dans un domaine de contrainte légèrement décroissante ou de contrainte en légère compression donc que le risque sismique pour le barrage n'est pas inquiétant.

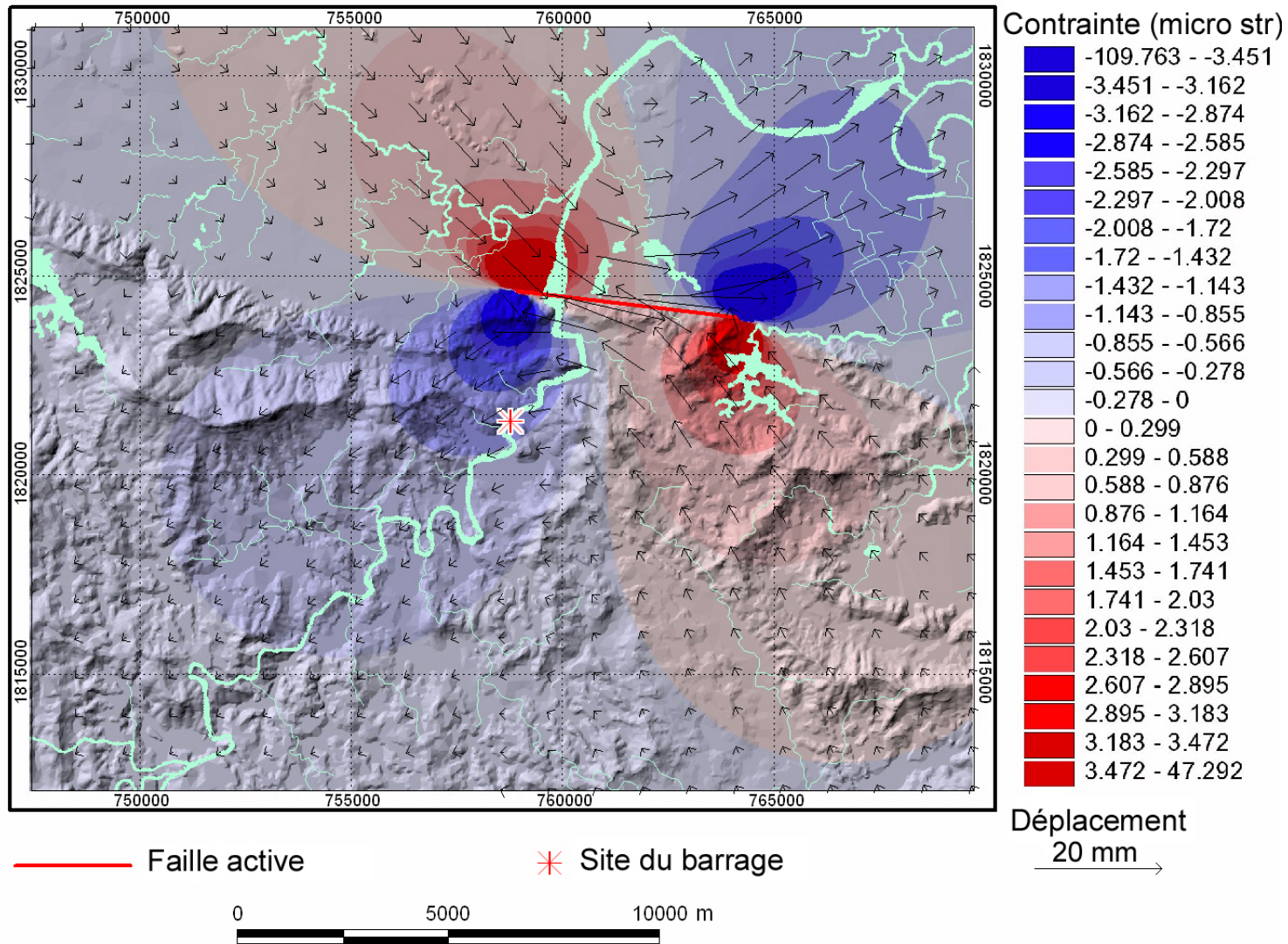


Figure 2.33. Changement de contrainte superficielle et déplacement à la surface engendré par la faille F1

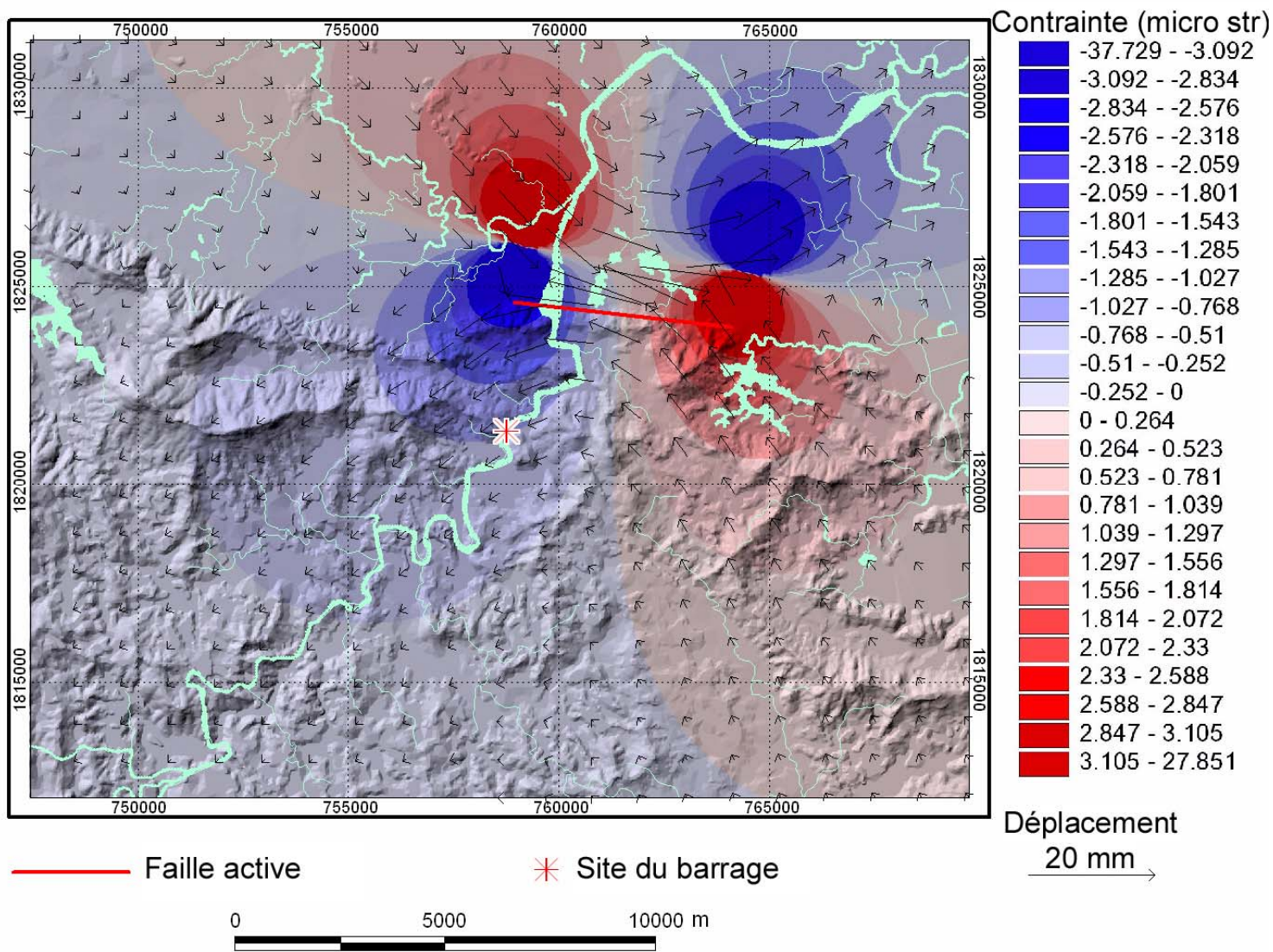


Figure 2.34. Changement de contrainte superficielle et déplacement à la profondeur de 3 km engendré par la faille F1



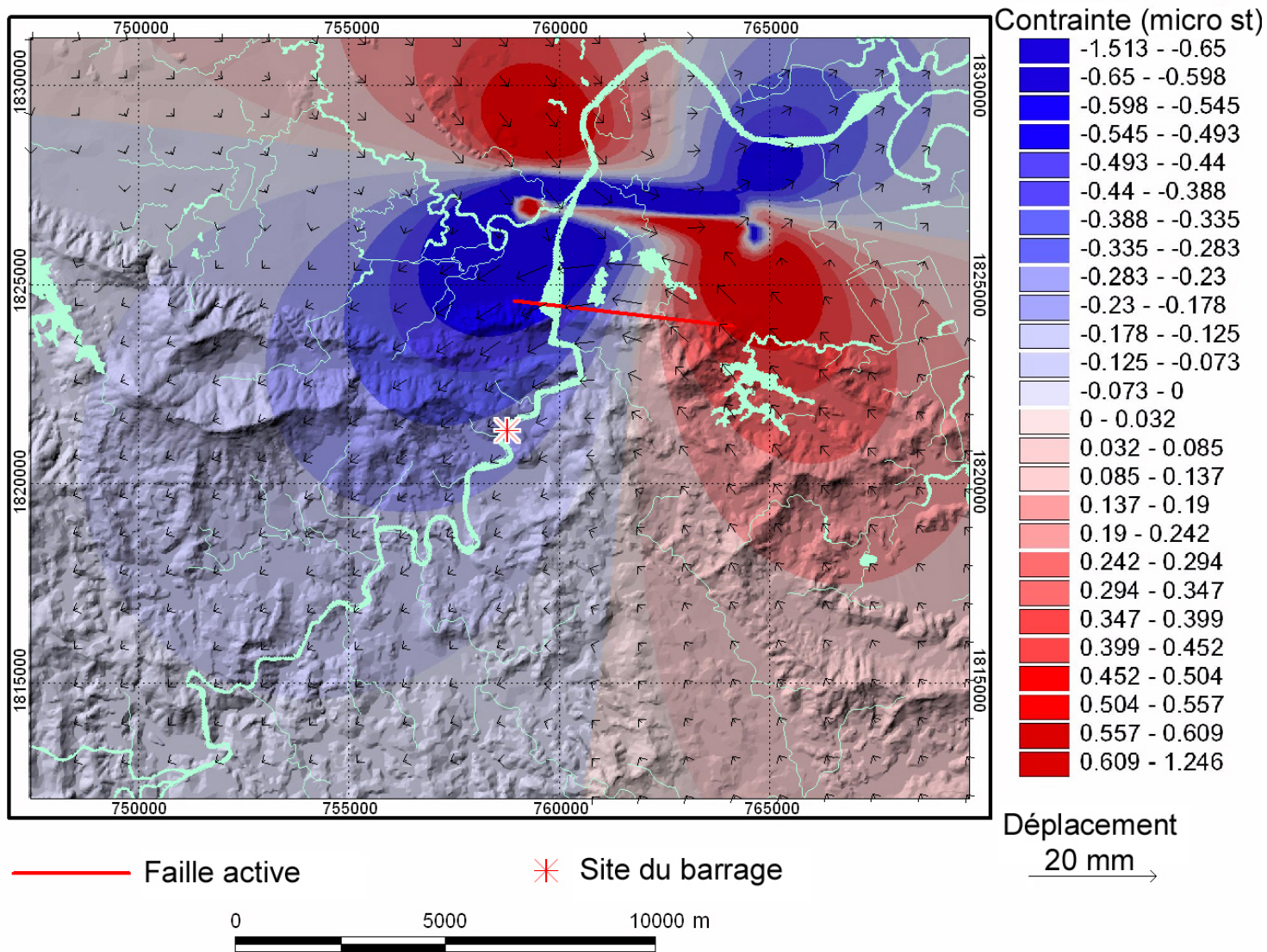


Figure 2.35. Changement de contrainte superficielle et déplacement à la profondeur de 6 km engendré par la faille F1

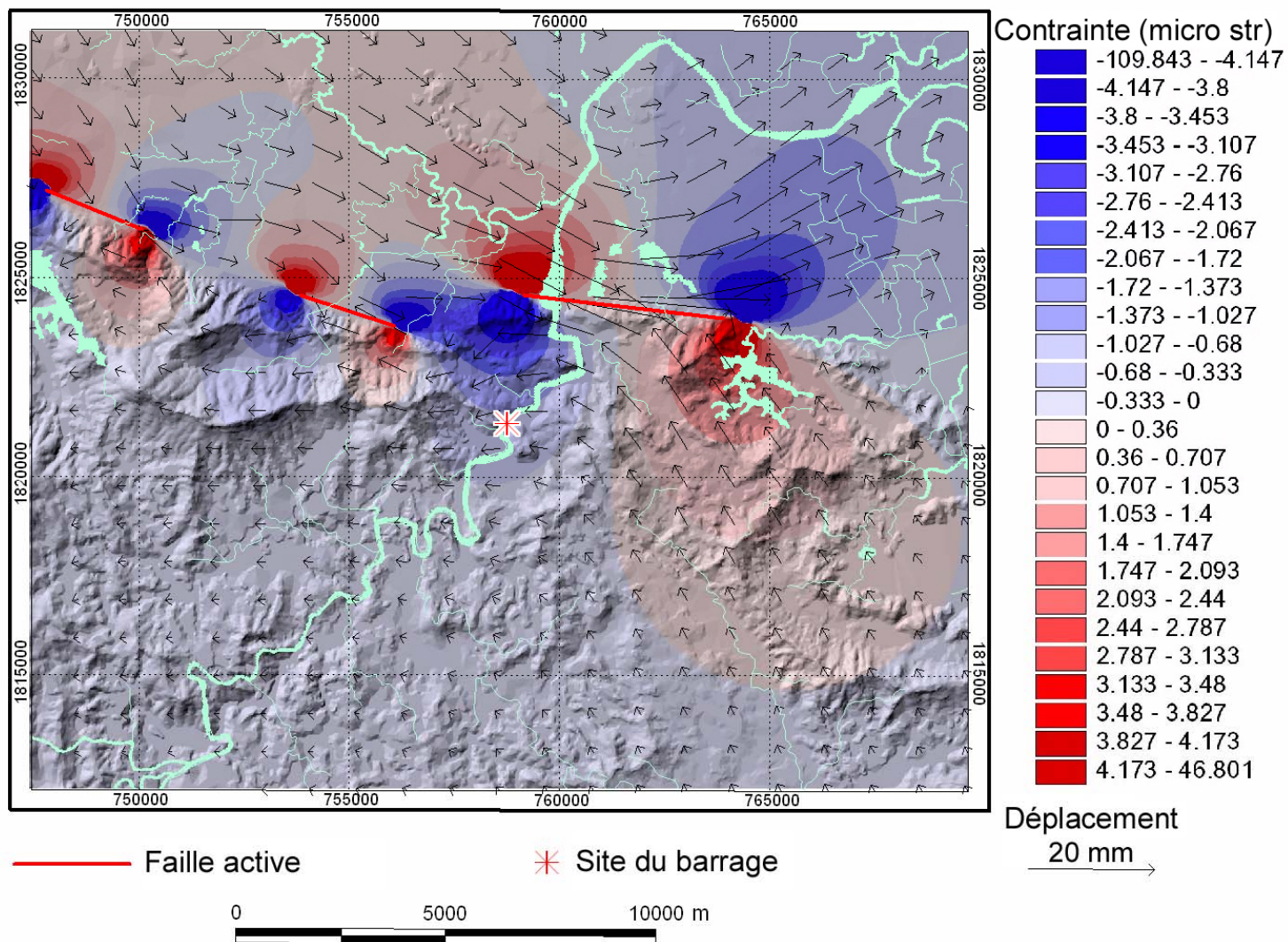


Figure 2.36. Changement de contrainte superficielle et déplacement à la surface engendré par 3 failles actives F1, F2 et F3

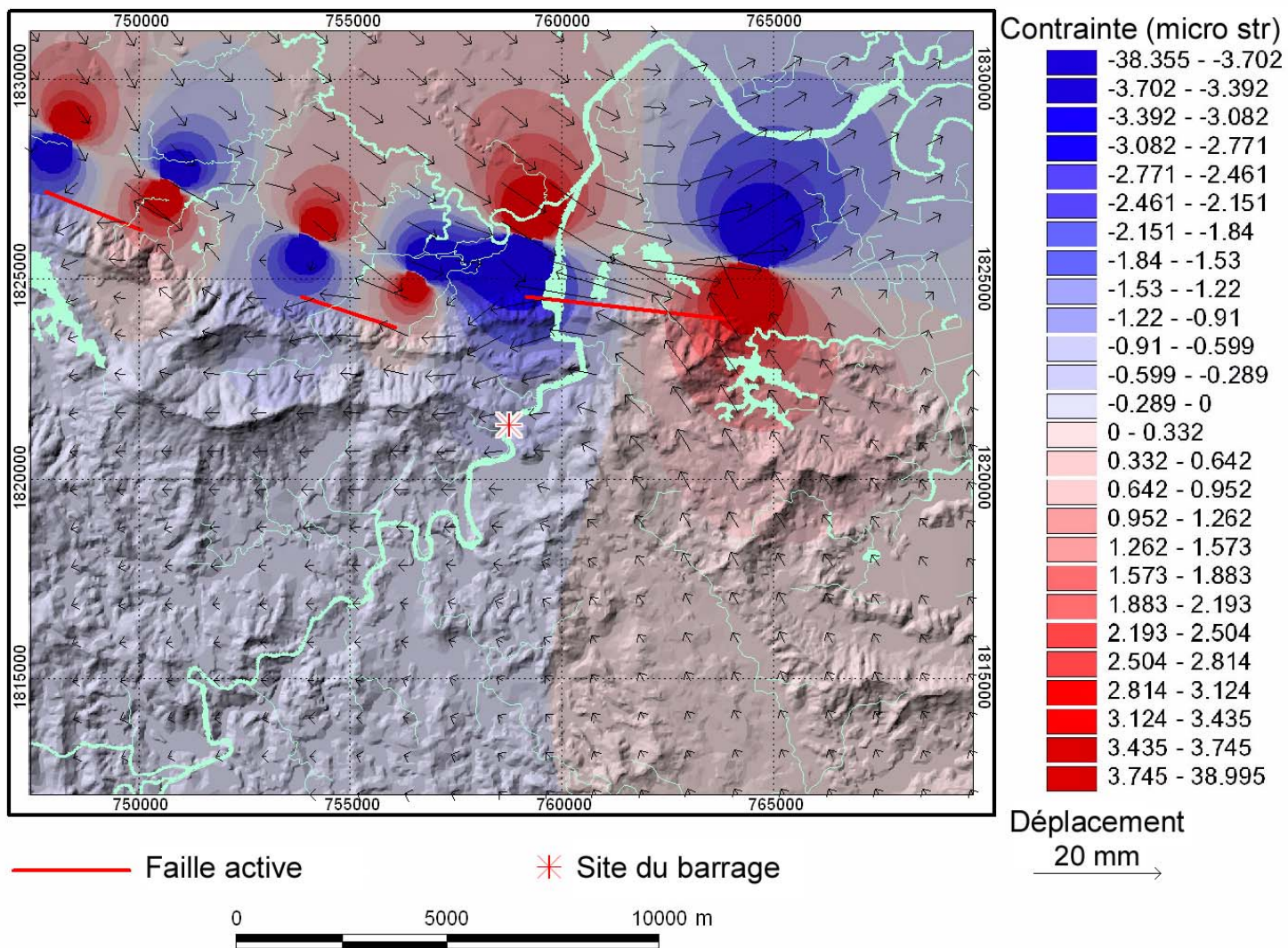


Figure 2.37. Changement de contrainte superficielle et déplacement à la profondeur de 3 km engendré par 3 failles actives F1, F2 et F3

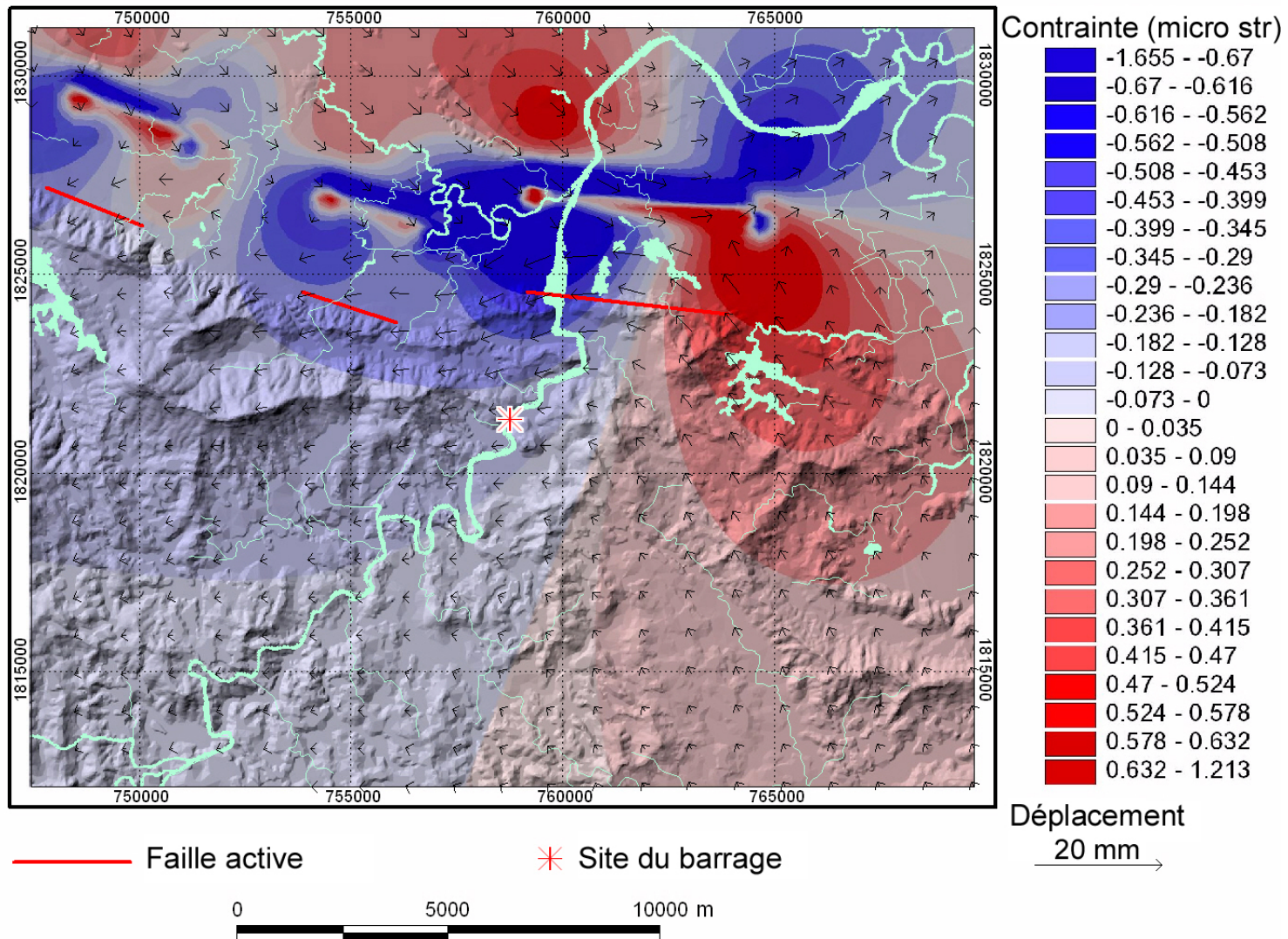


Figure 2.38. Changement de contrainte superficielle et déplacement à la profondeur de 6 km engendré par 3 failles actives F1, F2 et F3

## 2.6. RISQUE SISMIQUE POUR LE BARRAGE DE BAN UON

### 2.6.1. Détermination des failles actives

Le barrage de Ban Uon (ou Trung Son) est construit sur la rivière Ma, commune de Trung Son, District de Quan Hoa, province de Thanh Hoa, et dans la région entre deux grandes failles Son La et Song Ma au point de vue tectonique (Figure 2.3). Ce barrage est à une distance de 15 km de la faille de Son La et de 50 km de la faille de Song Ma, donc la faille de Son La est la plus influençante sur le barrage. En effet, c'est une zone faillée qui comprend nombre de failles.

L'identification des failles actives dans la région est basée sur les données suivantes:

- Le MNT obtenu à partir de la carte topographique à l'échelle du 1:50.000.
- L'image Landsat et
- Le travail sur le terrain.

Le MNT est vu en 3 dimensions, de différentes illuminations et de différents angles de vue (Figure 2.39, Figure 2.40). L'image de Landsat est analysée en combinaison avec le MNT sous différentes vues (Figure 2.41 et Figure 2.42).

En analysant les données de télédétection en combinaison avec le travail sur le terrain, nous trouvons que le barrage est influencé par 7 failles actives qui sont baptisées Ban Uon 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 respectivement (Tableau 2.9, Figure 2.43)

**Tableau 2.9. Les failles actives influençant le barrage de Ban Uon**

Faille	Longueur (km)	Distance au barrage (km)
Ban Uon 1	15,81	11,84
Ban Uon 2	13,11	13,56
Ban Uon 3	10,96	7,22
Ban Uon 4	9,49	8,59
Ban Uon 5	11,98	10,88
Ban Uon 6	10,58	18,77
Ban Uon 7	11,08	18,82

La faille Ban Uon 1 de direction NO – SE, se repère par des segments discontinus avec un ton sombre sur l'image. Le long de cette faille, on trouve des escarpements calcaires avec une zone de brèche de 15 – 20 m de large à leur pied. L'activité néotectonique et tectonique récente exprime une faille normale, un déplacement horizontal non clair mais le vertical visible avec le compartiment SO élevé par rapport au NE. Cette faille en combinaison avec une autre faille de même direction, au nord-est, a créé un graben qui est remblayé de dépôts quaternaires avec une épaisseur de 8 – 10 m.

La faille Ban Uon 2 présente la même direction que Ban Uon 1. Elle est reflétée sur l'image par des segments discontinus avec un ton sombre dont certains coïncident avec les cours d'eau. Le long cette faille, les roches sont fortement cassées, des fissures se développent en différentes directions mais la NO-SE est dominante. L'analyse des diaclases dans les grès, argilites et les signes géomorphologiques montrent que cette faille est inclinée avec un angle de 60° - 70° vers le nord-est. Le mouvement néotectonique exprime une faille décrochante – normale avec un déplacement dextre de l'ordre de 20 – 30m.

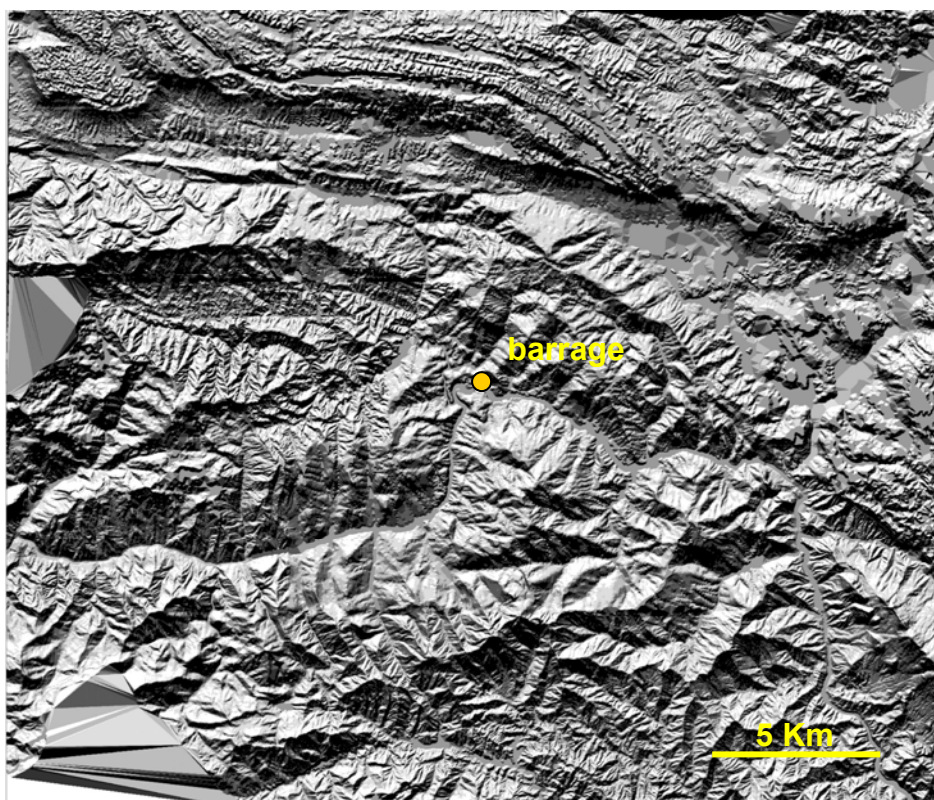


Figure 2.39. Le MNT avec une lumière vient de 345° et un angle incident de 45°

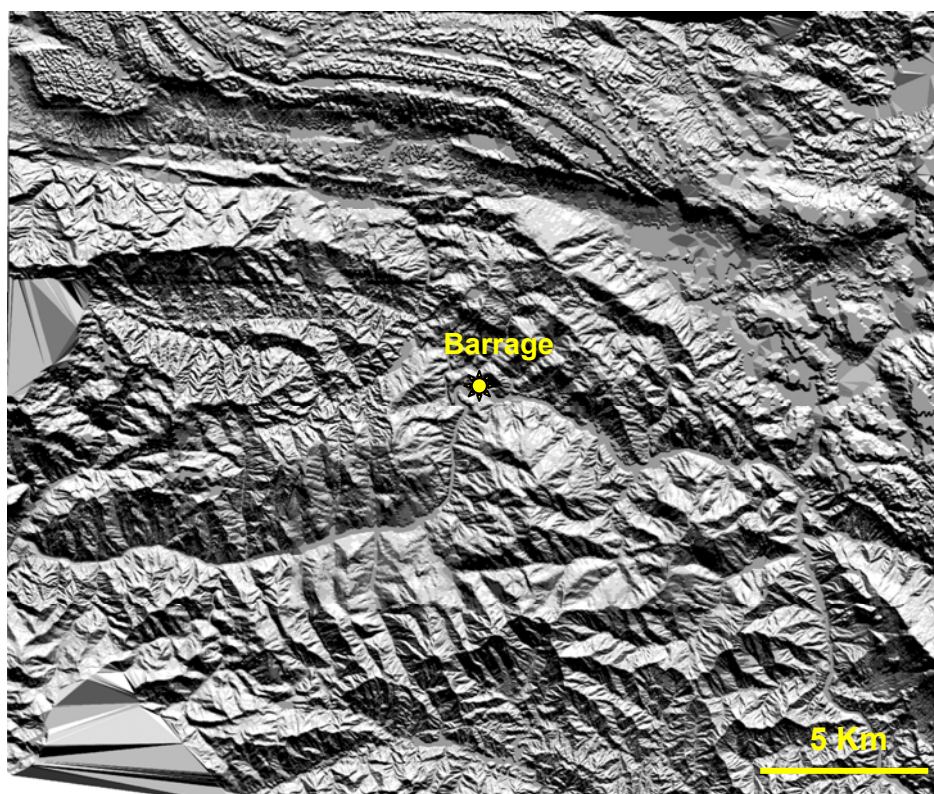


Figure 2.40. Le MNT avec une lumière vient de 10° et un angle incident de 45°

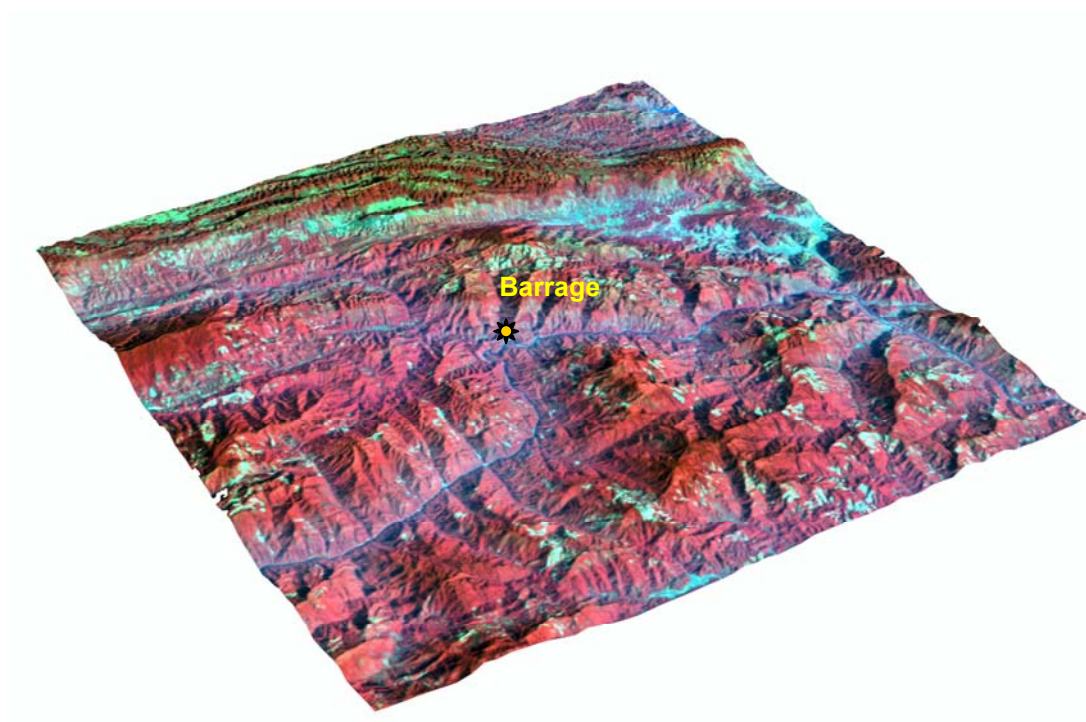


Figure 2.41. Image Landsat combinée avec un MNT vu du sud au nord

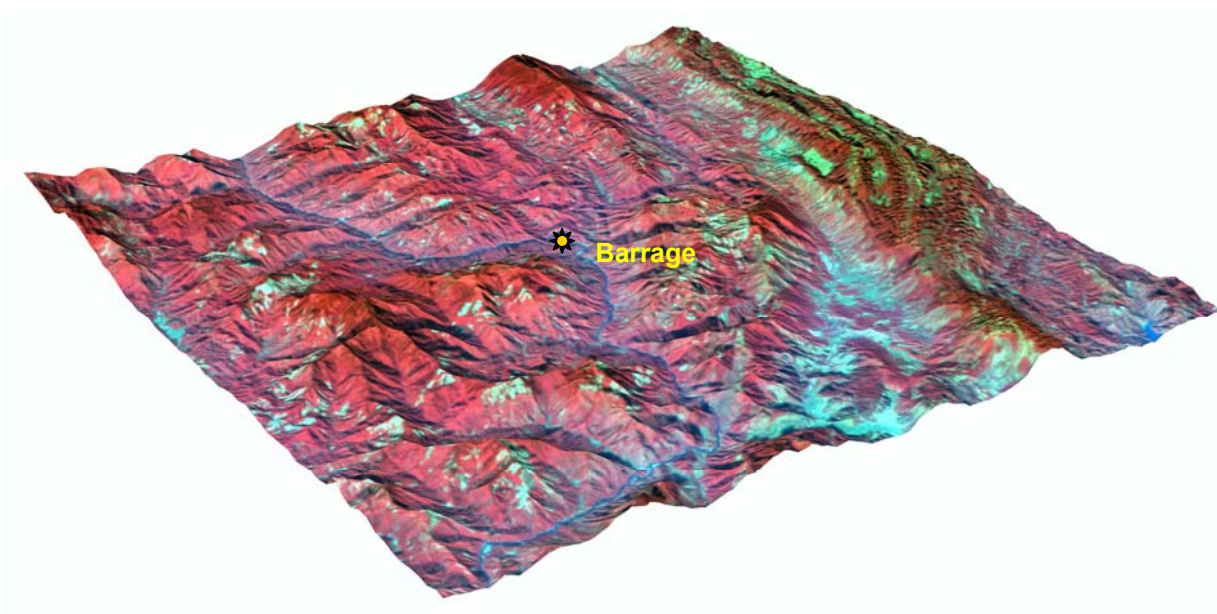


Figure 2.42. Image Landsat combinée avec un MNT vu de l'est à l'ouest

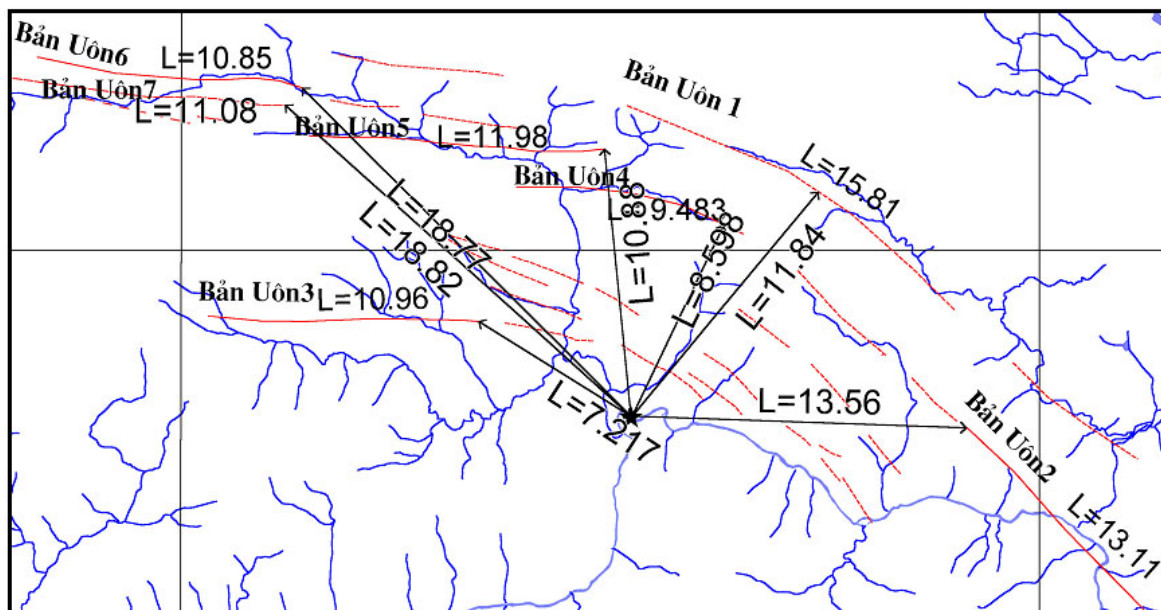


Figure 2.43. Les failles actives autour du barrage de Ban Uon

La faille Ban Uon 3 est la plus proche au barrage. Elle présente une direction latitudinale et est exprimée sur l'image satellitaire par une ligne nette. Elle se développe le long des segments droits des cours d'eau. La vallée y est en forme de "V" avec deux versants raides de  $40^\circ - 45^\circ$  et l'absence de dépôts quaternaires. L'observation sur le terrain montre que cette faille est inclinée vers nord et que c'est une faille décrochante avec une petite amplitude. Ban Uon 3 est la faille la plus inquiétante parce qu'elle peut produire une vibration plus forte au barrage.

La faille Ban Uon 4 est en forme d'arc, bien visible sur l'image satellitaire. Elle coïncide avec un cours d'eau dont la vallée est en forme de "V" avec deux versants raides de  $40^\circ - 45^\circ$  et les dépôts quaternaires y sont presque absents. L'activité tectonique de cette faille est similaire à Ban Uon 3 mais l'amplitude de décrochement dextre est plus grande.

La faille Ban Uon 5 a une direction quasi-latitudinale. Elle est exprimée sur l'image par une ligne droite qui coïncide avec un ruisseau dont la vallée est en forme d'un tiroir avec deux flancs calcaires raides de  $70^\circ - 75^\circ$  et le fond couvert par une mince couche de dépôts quaternaires. Les signes géomorphologiques expriment que Ban Uon 5 est une faille normale et décrochante dextre.

Les failles Ban Uon 6 et 7 sont parallèles de direction quasi-latitudinale et distantes de 0,5 – 0,8 km. Ces deux failles sont reflétées sur l'image par des lignes droites. La Ban Uon 6 se développe le long de l'amont d'un ruisseau dont la vallée est en forme d'un tiroir avec deux flancs calcaires raides de  $70^\circ - 75^\circ$  et le fond couvert par une couche mince de dépôts quaternaires. La Ban Uon 7 coïncide avec des ravines sans dépôts quaternaires. Dans la zone entre ces deux failles, les fissures se développent fortement. Ces failles sont caractérisées par un décrochement dextre néotectonique.

### 2.6.2. Magnitude maximale des failles autour du barrage de Ban Uon

La magnitude pour le barrage de Ban Uon est estimée par les méthodes : Wyss (1979), Slemmons (1982), Woodward – Clyde (1983), Well – Coppersmith (1994), Hanks et Kanamori (1979), 5 failles actives Ban Uon 1, 2, 3, 4 et 5 sont utilisées pour cette estimation.



La valeur de la magnitude pour chaque faille est calculée par une pondération de chaque méthode avec les coefficients suivants :

- 1 : pour les méthodes basées sur la longueur de faille
- 2 : pour les méthodes basées sur la surface de faille
- 8 : pour les méthodes basées sur la surface et le déplacement de faille (méthode de moment sismique)

Le calcul détaillé est présenté dans l'Annexe 3. Il montre que la magnitude d'un tremblement de terre engendré par les failles actives est de 6 à 6,3 et que la magnitude liée à la faille Ban Uon 1 est que la plus grande (Tableau 2.10). Le déplacement maximum le long des failles est estimé à 0,15 – 0,25 m.

**Tableau 2.10. Magnitude et déplacement maximum engendrés par les failles actives autour du barrage de Ban Uon**

Faille	Longueur (km)	Pendage (°)	Caractère de faille	Déplacement maximum (m)	Magnitude maximum
Ban Uon 1	15,81	80	Décrochante	0,250	6,323
Ban Uon 2	13,11	85	Décrochante	0,200	6,235
Ban Uon 3	10,96	90	Décrochante	0,170	6,153
Ban Uon 4	9,49	85	Décrochante	0,180	6,195
Ban Uon 5	11,98	75	Décrochante	0,150	6,086

### 2.6.3. Accélération du sol au barrage de Ban Uon

La PGA est estimée par des différentes méthodes et la valeur d'accélération générale est calculée par une pondération avec les coefficients suivants :

- 1 : pour les méthodes : Ambrasey (1995), Idriss (1982), Woodward – Clyde (1983),
- 1,5 : pour la méthode de Xiang et Gao (1994),
- 3 : pour la méthode de Campbell (1997),

L'accélération est estimée pour le cas d'un tremblement de terre maximum pour chaque faille : Ban Uon 1, 2, 3, 4, 5 et la faille de Song Ma, une grande faille régionale à 20,4 km du barrage. La PGA est aussi calculée pour les périodes de retour de 145 ans, 475 ans, 950 ans et 10.000 ans.

Les résultats de détail sont présentés dans l'annexe. Ils montrent que l'accélération maximale du sol au barrage produite par la faille Ban Uon 3, la plus proche, est la plus élevée (Tableau 2.11). La valeur maximum causée par cette faille est de 0,246g, soit 241 cm/s<sup>2</sup>. Ces accélérations pour les périodes de retour de 10.000 ans, 950 ans, 475 ans et 145 ans est de 0,246g (241 cm/s<sup>2</sup>), 0,1997g (196 cm/s<sup>2</sup>), 0,1577g (155 cm/s<sup>2</sup>) et 0,1289g (126 cm/s<sup>2</sup>) respectivement.

La grande faille de Song Ma qui peut engendrer un tremblement de terre avec une magnitude maximum de 7,2 ne produit qu'une GPA de 0,225 g (220 cm/s<sup>2</sup>) au barrage à cause de la distance plus lointaine.

**Tableau 2.11. Accélération au sol au barrage de Ban Uon engendrées par les failles actives**

Unité : g

Faille	Maximum	Période de 10.000 ans	Période 950 ans	Période de 475 ans	Période 145 ans
Ban Uon 1	0,2081	0,2080	0,1690	0,1336	0,1092
Ban Uon 2	0,1777	0,1776	0,1436	0,1128	0,0920
Ban Uon 3	0,2463	0,2463	0,1997	0,1577	0,1289
Ban Uon 4	0,2093	0,2093	0,1698	0,1342	0,1098
Ban Uon 5	0,1278	0,1277	0,1026	0,0806	0,0665
Song Ma	0,2250	0,2197	0,1722	0,1331	0,1079

#### 2.6.4. Modélisation de la déformation et du changement de contrainte de Coulomb lors de séisme maximum,

Le modèle proposé par Okada pour la déformation et le changement de contrainte  $y$  est utilisé. Lors d'un séisme le long de la faille Ban Uon 3, un déplacement se produira avec une amplitude de décrochement dextre de 170 mm, estimée par Well-Coppersmith (1994) (Tableau 2.10). C'est le paramètre utilisé pour modéliser la déformation et le changement de contrainte de Coulomb. Le coefficient frictionnel de Coulomb est inconnu mais dans le cas de décrochement, il varie de 0,4 à 0,7. Le coefficient de Poisson choisi est de 0,25, une valeur commune pour l'écorce terrestre. Le module de cisaillement choisi est de  $3,2 \times 10^{10} \text{ Nm}^{-2}$ .

Le calcul est réalisé dans le système de coordonnées de 3 dimensions et puis géoréférencé dans le système de coordonnées géographiques par la carte topographique à l'échelle du 1 :50.000. Ce modèle présente les vecteurs de déplacement (Figure 2.44), les axes de déformation (Figure 2.45) et le changement de contrainte de Coulomb à la surface (Figure 2.46), lors du séisme maximal le long de la faille de Ban Uon 3.

Les modèles présentent nettement le domaine de contrainte de Coulomb croissante, ou plus précisément, le domaine de contrainte en dilatation à différents niveaux ; et le domaine de contrainte de Coulomb décroissante ou de contrainte en compression. Le domaine de contrainte croissante plus élevée est le plus dangereux parce qu'il est sensible au séisme et que la résistance décroît spécialement pour un barrage en béton.

Bien que le barrage se situe dans le domaine de contrainte légèrement croissante ou de contrainte en dilatation légère, le risque sismique n'est pas inquiétant car le barrage est en terre. Le barrage est perpendiculaire à l'axe de dilatation (azimut de 125 - 135°) et parallèle à l'axe de compression (azimut de 30 - 40°). C'est aussi une condition de sécurité géodynamique lors d'un tremblement de terre.

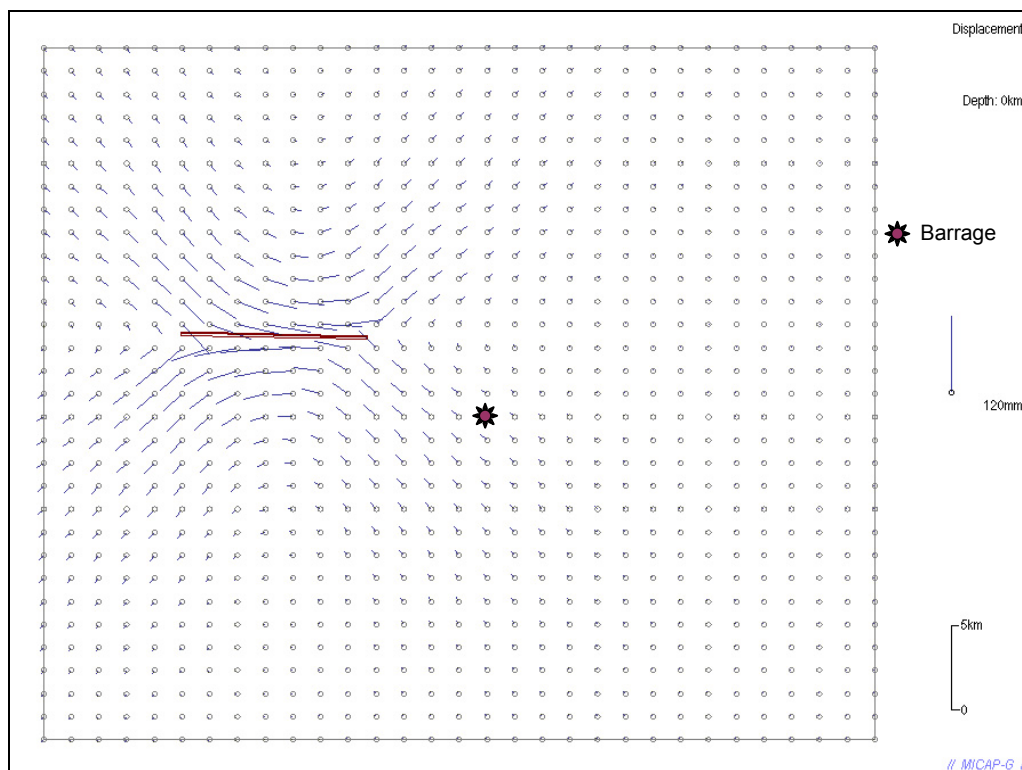


Figure 2.44. Déplacement à la surface lors de séisme maximal le long de la faille de Ban Uon 3

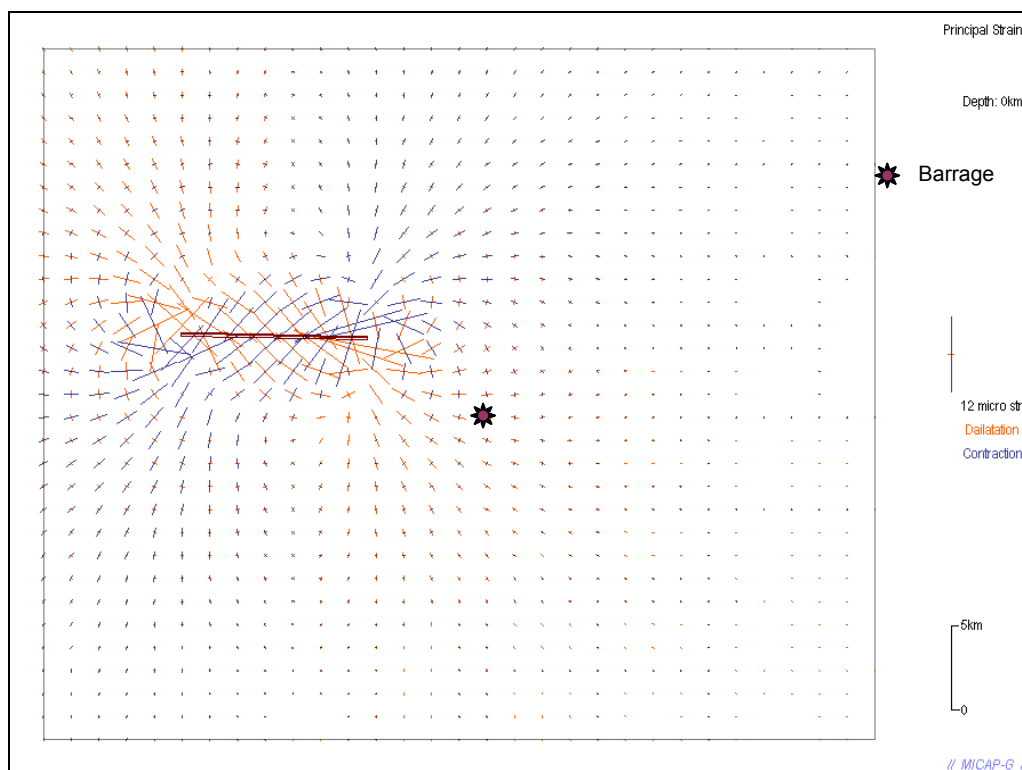


Figure 2.45. Axes de déformation à la surface lors de séisme maximal le long de la faille Ban Uon 3  
(Rouge – axe dilatation ; Bleu – axe de compression)

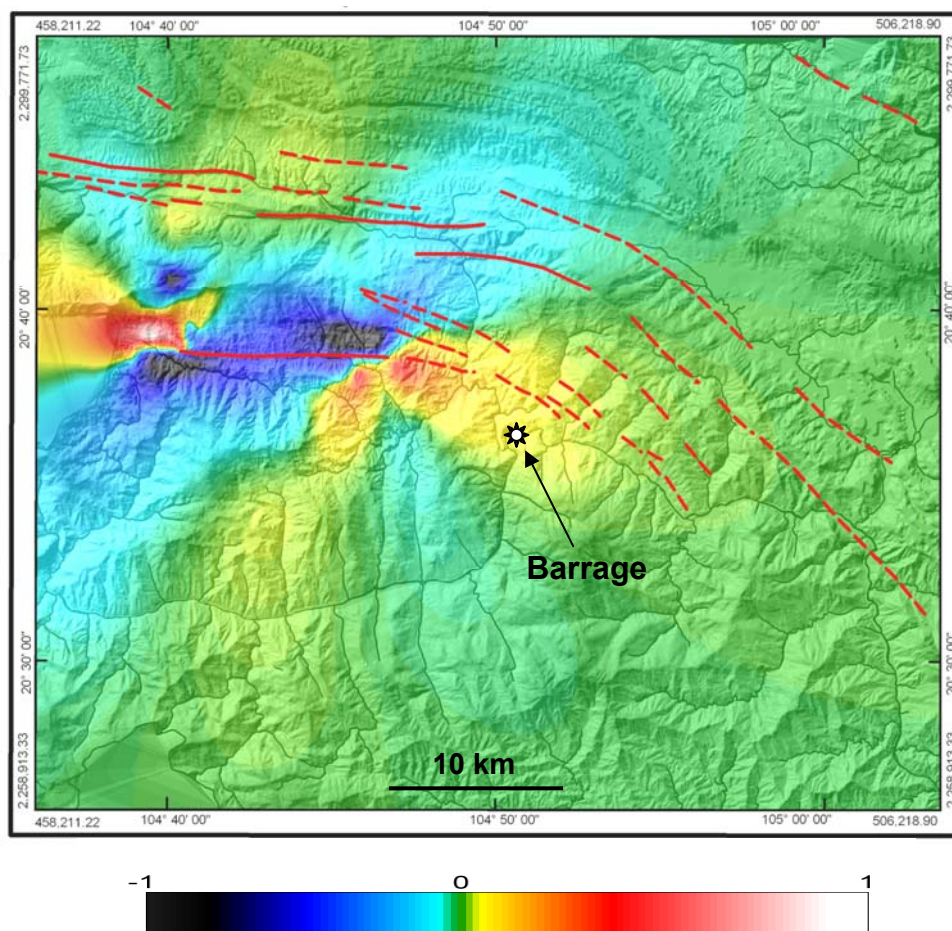


Figure 2.46. Changement de contrainte de Coulomb à la surface lors de séisme maximal le long de la faille de Ban Uon 3

## 2.7. CONCLUSION

La région a connu une évolution tectonique depuis longtemps. Au Dévonien inférieur la première croûte continentale a été reformée. Dans la période néotectonique, elle a été influencée par l'interaction entre les plaques indienne, australienne, eurasienne et pacifique. Il en résulte une formation de 3 unités néotectoniques avec 20 blocs-structures qui se séparent par des failles. Sept failles majeures sont marquées : Son La, Song Ma, Song Ca, Rao Nay, Khe Giua - Vinh Linh, Dak Rong – Hué, Huong Hoa - A Luoi. Ces failles peuvent engendrer des séismes de magnitude maximale de 7. Les tremblements de terre maximaux enregistrés sont de magnitude 6,75 sur la faille de Song Ma en 1935 et de 6,7 sur la faille de Son La en 1983.

Une analyse du risque sismique pour les barrages, réalisée pour 3 cas dans la région, comprend les étapes suivantes

- Identifier les failles actives par des images, cartes topo, MNT et campagne sur le terrain
- Estimer la magnitude maximale et l'accélération maximale du sol par le résultat moyen avec une pondération de différentes méthodes qui sont basées sur les paramètres : moment sismique, surface de faille, longueur et le déplacement de faille. Cette estimation est réalisée pour les différentes périodes de retour : maximal, de 950 ans, 475 ans et 145 ans.

- Modéliser la déformation et le changement de contrainte lors du séisme maximum proposé par Okada.

Le barrage de Huong Dien est influencé par 3 failles de direction NO – SE ou quasi-latitudinale. Leurs activités sont bien mises en évidence par la morphologie ainsi que sur les images satellitaires par des linéaments. La faille la plus influençante pourrait causer un tremblement de terre de magnitude maximale de 5,7 et un déplacement dextre de 42 mm. Cette faille peut produire : une accélération maximale de 0,263 g, soit 258 cm/s<sup>2</sup> ; une accélération de 0,212 g, soit 208 cm/s<sup>2</sup> pour le tremblement de terre maximum concevable correspondant à la période de retour de 950 ans. Le modèle de déformation et de changement de contrainte lors du séisme maximum montre que le barrage se situe dans un domaine de contrainte légèrement décroissante ou de contrainte en légère compression donc que le risque sismique pour le barrage n'est pas inquiétant.

Le barrage de Ban La (ou Ban Ve) est influencé par la faille de Nam Chu qui est bien mise en évidence sur les images satellitaires. Cette faille peut engendrer un séisme de magnitude maximale de 6,8 – 6,9. L'accélération maximale au barrage est de 0,2966 g, 0,3146 g, 0,3363 g si le foyer est à la profondeur de 12 km, 11 km et 10 km respectivement. Le modèle de déformation et de changement de contrainte montre que le barrage se situe dans un domaine de contrainte légèrement décroissante ou de contrainte en légère compression donc qu'il n'est pas dangereux.

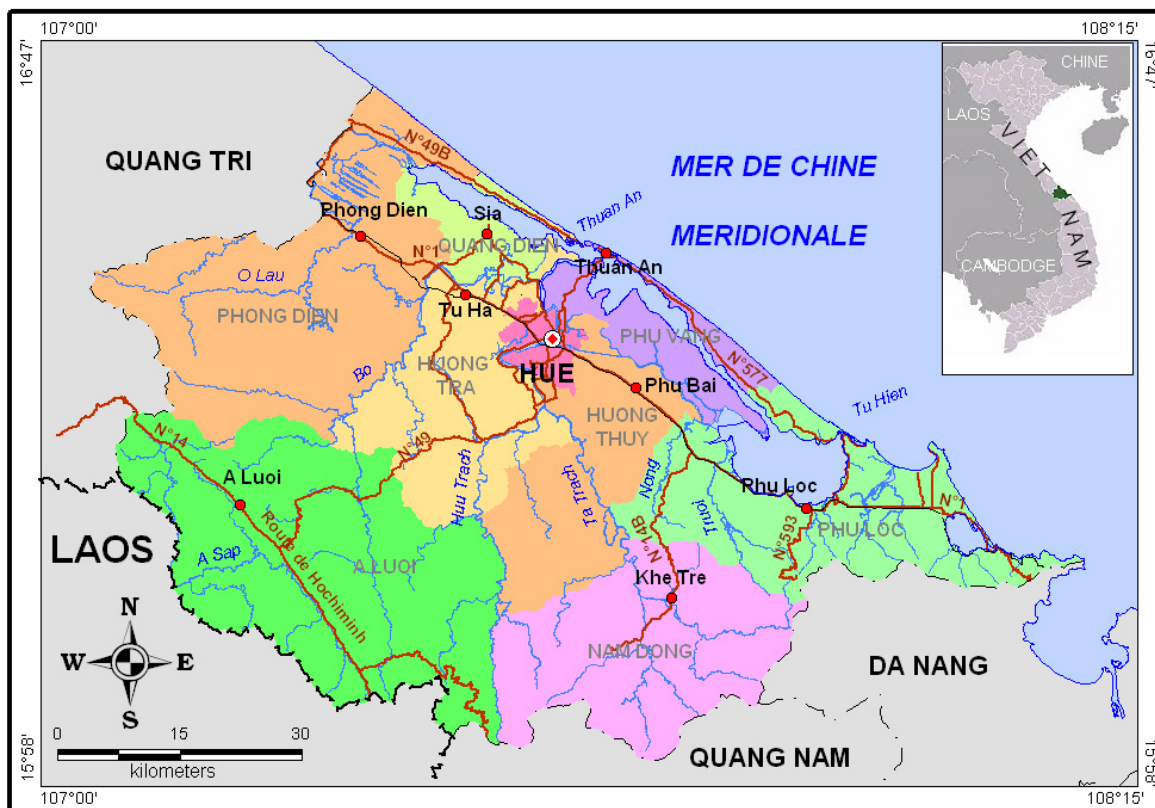
En analysant les données de télédétection en combinaison avec le travail sur le terrain, nous trouvons que le barrage de Ban Uon (ou Trung Son) est influencé par plusieurs failles actives. La magnitude de tremblements de terre engendrés par les failles actives est de 6 à 6,3 et le déplacement dextre maximum le long des failles est estimé de 0,15 – 0,25 m. La faille plus influençante, la plus proche du barrage, cause une accélération maximale du sol au barrage de 0,246g, soit 241 cm/s<sup>2</sup>. Ces accélérations pour les périodes de retour de 950 ans, 475 ans et 145 ans sont de 0,1997g (196 cm/s<sup>2</sup>), 0,1577g (155 cm/s<sup>2</sup>) et 0,1289g (126 cm/s<sup>2</sup>) respectivement. Bien que le barrage se situe dans le domaine de contrainte légèrement croissante ou de contrainte en dilatation légère, le risque sismique n'est pas inquiétant car le barrage est en terre.

En général, l'analyse du risque à partir des segments de failles actives est très efficace pour dimensionner les barrages ainsi que les autres grands travaux. L'apport de la télédétection peut faciliter cette analyse en déterminant les paramètres de faille. Les magnitudes estimées dans cette analyse concordent relativement avec les études publiées. On devrait tenir compte des accélérations maximales du sol calculées pour les cas particuliers dans les projets.

## CHAPITRE 3. EROSION CÔTIÈRE À THUA THIEN HUÉ

### 3.1. INTRODUCTION

Thua Thien – Hué est une province maritime dans le sud au Centre septentrional du Vietnam (Figure 3.1). La province s'étend sur une superficie de 5054 km<sup>2</sup> avec une population estimée en moyenne en 2003 à 1.105,5 milles d'habitants, soit 1,5% de la surface et 1,5% de la population nationale. Administrativement, cette province comprend une ville (Hué) et 8 districts avec 152 communes.



**Figure 3.1. Carte administrative de Thua Thien - Hué**

Etant l'ancienne capitale du Vietnam, la région a hérité de beaucoup de sites culturels et historiques dont le patrimoine culturel mondial de la citadelle de Hué qui est reconnu par l'UNESCO. D'autres sites pittoresques sont aussi bien connus comme la rivière des Parfums, la réserve naturelle de Bach Ma, Hai Van, les plages de Thuan An, Canh Duong, Lang Co, etc. Tous ces sites contribuent à un des centres touristiques importants du Vietnam. Grâce à sa position au centre du Vietnam, au carrefour des axes principaux nord-sud trans-vietnamien et ouest - est Thaïlande - Laos-Vietnam, au port profond de Chan May, à l'aéroport de Phu Bai, au chemin de fer trans-provincial et à une frontière de 86 km entre le Vietnam et le Laos, Thua Thien Hué possède beaucoup d'avantages pour son développement économique, en favorisant les échanges de marchandises au niveau national ainsi qu'international. Il est aussi un des grands centres du Vietnam au niveau de la culture, du tourisme, de l'éducation et de la science et il est aussi un pôle puissant de développement économique dans la région économique cruciale du Centre du Vietnam.

Néanmoins, Thua Thien Hué, dû aux conditions physiques, est une région qui subit plusieurs risques naturels à savoir : tempête, inondation, glissement de terrain, érosion. Ces

catastrophes causent pas mal de dommages pour la région, non seulement en terme économique mais aussi en perte de vies humaines.

### 3.2. FACTEURS INFLUENÇANT L'ÉROSION CÔTIÈRE

Dans le but d'analyser les risques dans l'environnement littoral, nous présentons brièvement quelques caractéristiques de la région qui les influencent. Ce sont le relief, le climat, les rivières et la mer.

#### 3.2.1. Climat

Le climat de Thua Thien - Hué possède les caractères généraux du climat du centre du Vietnam. C'est un climat tropical, très influencé par le régime des moussons. Deux saisons se distinguent clairement dans l'année, la saison des pluies et la saison sèche. Néanmoins, le régime climatique est compliqué à cause de la dispute entre les mouvements de masse d'air de différents centres de pression atmosphérique provenant du nord, de l'ouest surpassant de Trung Son, de l'est et du sud. De plus, le relief local, spécialement l'altitude et l'orientation des chaînes principales jouent un rôle important dans la différenciation climatique. Les arcs montagneux à l'ouest et au sud, s'abaissant vers l'est engendrent une diminution de la température de l'est à l'ouest et une augmentation des précipitations de l'est à l'ouest et du nord au sud. C'est aussi la raison des pluies abondantes en hiver où les vents de NE dominant et de temps chaud et sec pendant les vents SO en été. En se basant sur le rapport entre le climat et le relief, la région peut être divisée en 7 sub-régions microclimatiques (Figure 3.2).

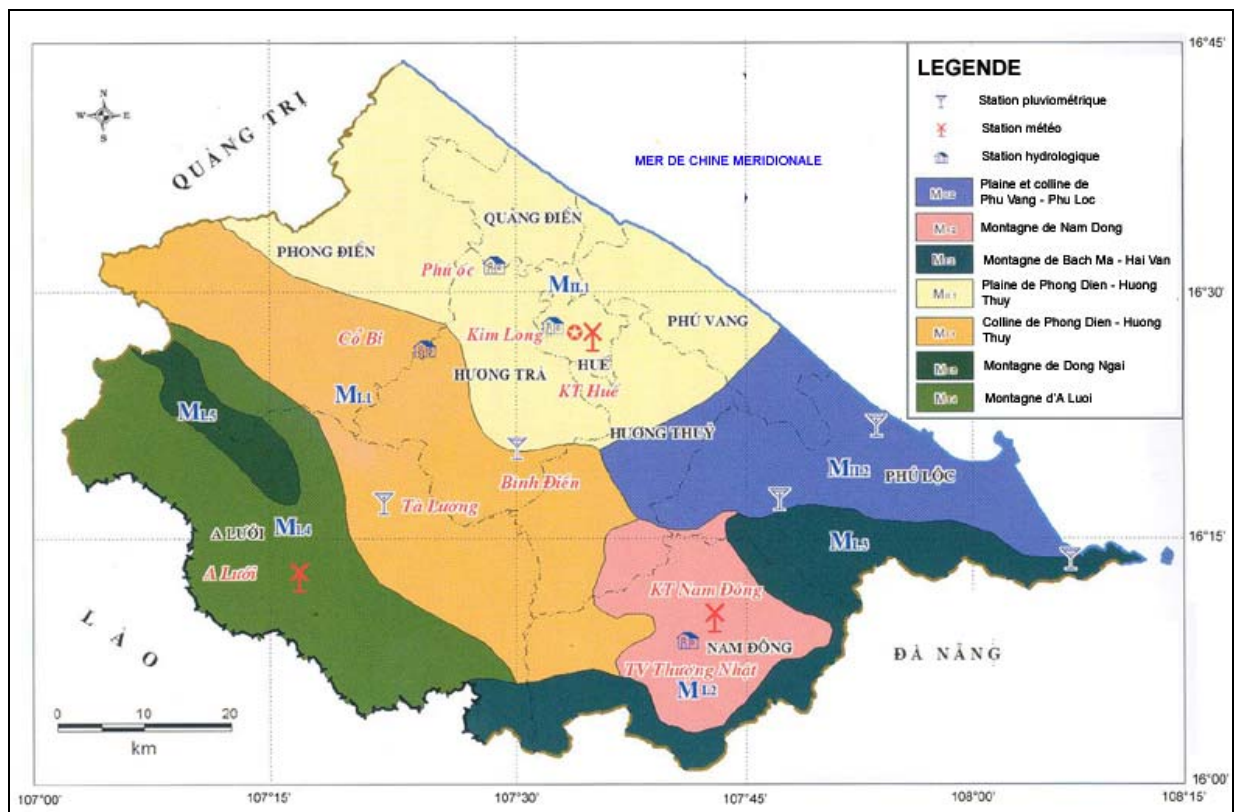
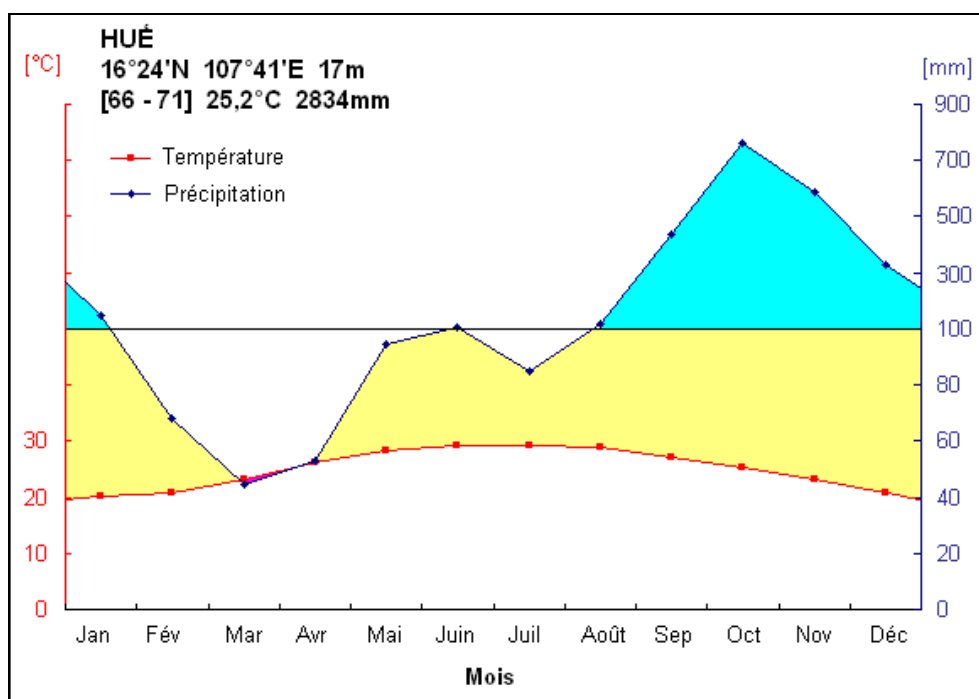


Figure 3.2. Zonage microclimatique de Thua Thien Hué

(Source : <http://www.thuathienhue.gov.vn>)

- La plaine et les collines de Phu Vang - Phu Loc
- La montagne de Nam Dong
- La montagne de Bach Ma - Hai Van
- La plaine de Phong Dien - Huong Thuy
- Les collines de Phong Dien - Huong Thuy
- La montagne de Dong Ngai, et
- La montagne de A Luoi

Pour analyser le climat, les diagrammes ombrothermiques sont dressés par la méthode de Walter Heinrich et Lieth Helmut, 1967, basés sur les données de température et de précipitation moyennes mensuelles de trois stations météorologiques : Hué pour la plaine (Figure 3.3, Annexe 4), Nam Dong pour les collines (Figure 3.4, Annexe 5) et A Luoi pour la montagne (Figure 3.5, Annexe 6). Ils se basent sur des séries de données sur plus de 25 ans, spécialement à la station de Hué (66 ans pour la température et 71 ans pour les précipitations) (). Dans ces diagrammes, la période sèche est définie par une courbe de précipitations se situant en dessous de la courbe des températures, la période humide par la courbe des précipitations se situant en dessus des températures et la période très humide ou pluvieuse si la courbe des précipitations est supérieure à 100mm.



**Figure 3.3. Diagramme ombrothermique à la station de Hué**

Thua Thien Hué est caractérisé par une haute température avec une variation annuelle moyenne entre 21°C et 25°C (Figure 3.3, Figure 3.4 et Figure 3.5). De mai à août, période plus chaude, les températures moyennes en juin et en juillet peuvent atteindre 28°C - 29°C dans la plaine et les collines (Hué et Nam Dong) et environ 25°C à la montagne (A Luoi), la température maximale peut dépasser 41°C. De novembre à février, période la plus froide, les températures moyennes sont au dessus de 20°C, mais ces valeurs peuvent s'abaisser à 17,5°C à la montagne, la température minimale absolue atteint 8°C - 9°C en plaine et même 4°C à la montagne.



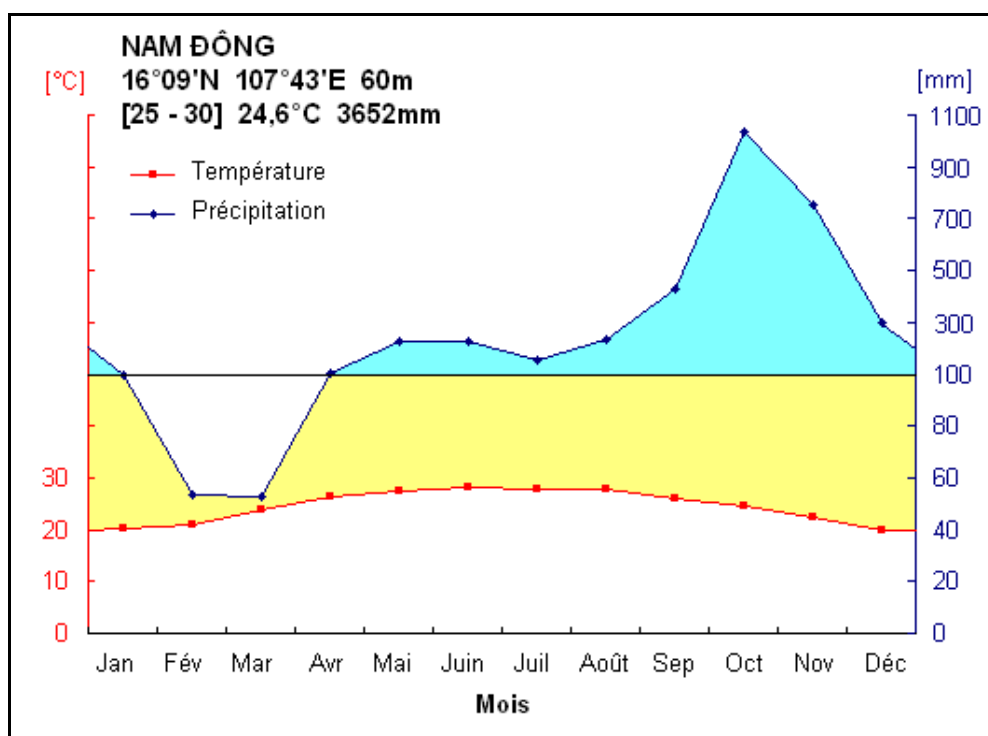


Figure 3.4. Diagramme ombrothermique à la station de Nam Dong

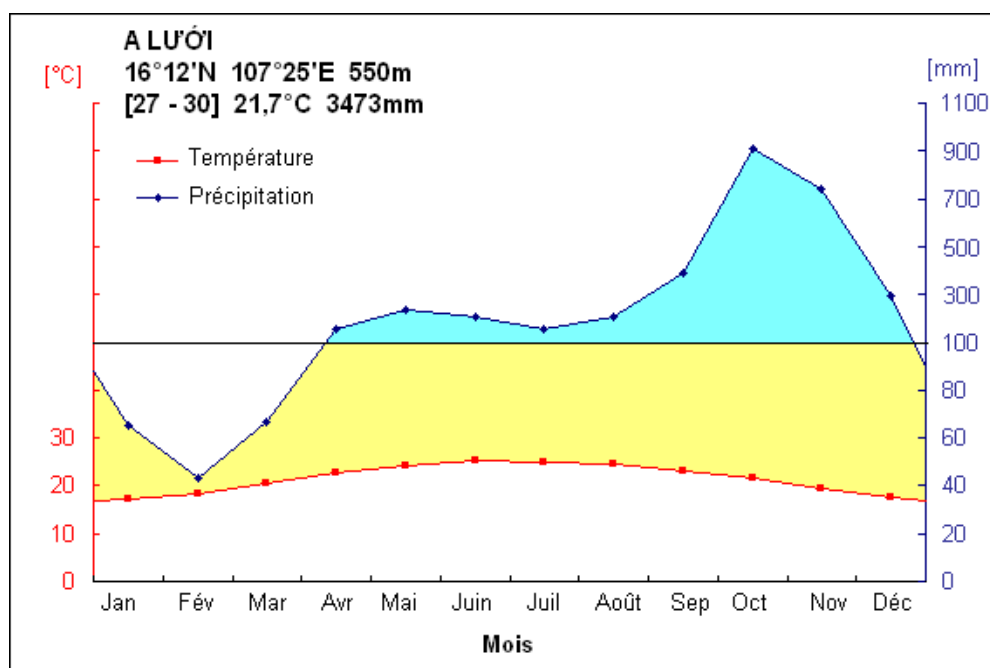


Figure 3.5. Diagramme ombrothermique à la station de A Luoi

Thua Thien - Hué est une des régions les plus pluvieuses au Vietnam. Les arcs montagneux à l'ouest et au sud de la région reçoivent des vents humides de la mer de l'Est. Il en résulte des précipitations abondantes. En moyenne sur plusieurs années, les précipitations annuelles varient de 2000 mm à 3600 mm (Tableau 3.1). Il y a des centres pluvieux avec une précipitation moyenne annuelle supérieure à 3.400 mm : A Luoi, Nam Dong, Bach Ma - Phu Loc. Les valeurs les plus basses enregistrées à Hué, Nam Dong, A Luoi sont 1751 mm (en 1989), 2052 mm (en 1982) et 2071 mm (en 1982) respectivement. Celles plus en altitude, les

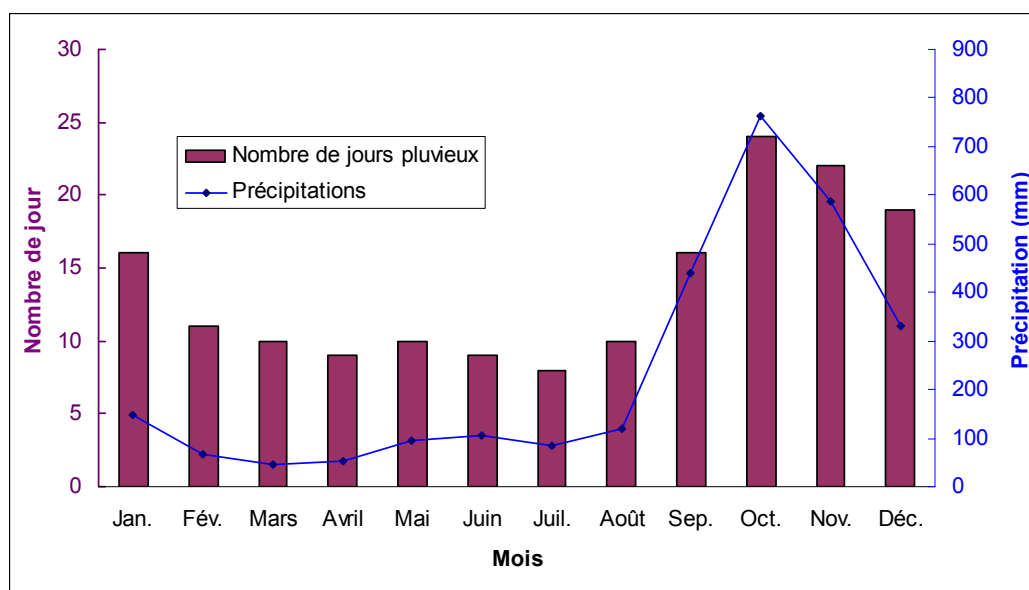
précipitations observées en 1999, sont supérieures à 5.000mm, exactement 5123 mm à Hué, 5812 mm à Nam Dong et 5911 mm à Nam Dong.

**Tableau 3.1. Précipitation annuelle aux stations pluviométriques dans la province Thua Thien - Hué**

#	Station	Temps d'observation	Précipitation annuelle (mm)
1	Hué	1928-44, 1949-2003	2834
2	A Luoi	1973-2002	3473
3	Nam Dong	1973-2002	3652
4	Phu Oc	1980-2001	2904
5	Lang Co	1978 - 1994	2287
6	Co Bi	1979-88, 1996-2002	3359
7	Dien Hai	1960-62, 1965-69	2086

(Source : Institut de Géographie – Académie des Sciences et de Technologie du Vietnam)

Le caractère saisonnier du climat régleme une irrégularité pluvieuse dans l'année. La saison des pluies se répartit de septembre à décembre avec 70 % de précipitations annuelles. Les statistiques du Département général de l'Hydrométéorologie du Vietnam signalent qu'il y a des mois dont plus des deux tiers sont les jours de pluie et des mois dont la précipitation sont supérieurs à 400 mm (Figure 3.6)



**Figure 3.6. Nombre de jours pluvieux et précipitations mensuelles à la station Hué**

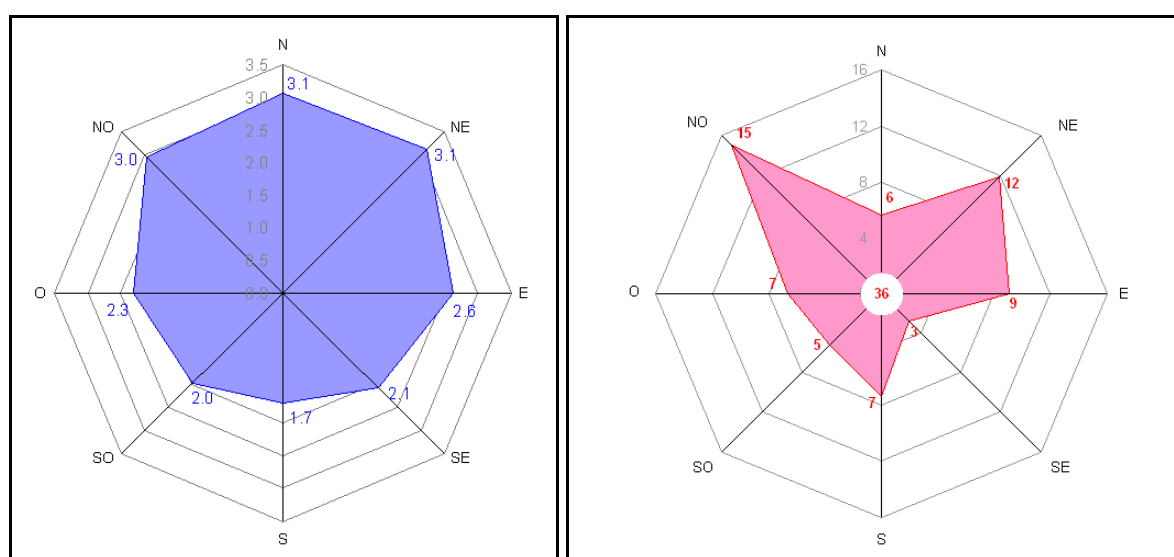
Source : Département général de hydrométéorologie du Vietnam

Les précipitations ont deux maxima en mai (ou juin) et en octobre et deux minima en février /mars et en juillet (Fig. 3.3, 3.4, et 3.5). D'août à décembre, c'est la période la plus pluvieuse avec des précipitations mensuelles dépassant 100 mm, c'est aussi la période dont la précipitation totale compte 70% - 80% de l'année. Octobre est le mois le plus pluvieux avec des valeurs moyennes enregistrées aux stations météorologiques dans la région variant de 763 mm à 1035 mm. Néanmoins, le maxima mensuel est noté en novembre 1999 avec des records : 2398 mm à Hué, 2183 mm à Nam Dong et 2590 mm à A Luoi. La pluviosité à Hué en 6 jours du 1 au 6 novembre 1999 a atteint 2288 mm, spécialement dans 24 heures de 7:00, le 2/11/1999 à 7:00, le 3/11/1999, elle a atteint 1384 mm, un chiffre de pluviosité en 24 heures rarement atteint dans le monde. La pluie historique de la fin d'octobre au début de novembre 1999 a endommagé gravement la province de Thua Thien – Hué par une grande

inondation de la plaine, des brèches dans le cordon littoral pour la lagune Tam Giang – Cau Hai avec deux nouvelles passes Hoa Duan et Tu Hien.

Il pleut moins dans la période de janvier à avril, spécialement en février et mars avec une précipitation mensuelle de 40 à 70 mm. Néanmoins, même dans cette période, la région ne manque pas d'eau. Dans les diagrammes ombrothermiques (Fig. 3.3, 3.4 et 3.5), les courbes de précipitations sont supérieures aux courbes des températures ( $R > 2T$ ), autrement dit, la saison sèche est presque absente de la région Thua Thien – Hué.

Le régime de mousson est compliqué par la présence de la montagne à l'ouest et au sud, mais il y a une dominance du vent nord-est en hiver d'octobre à mars et du vent sud-ouest en été d'avril à septembre. La vitesse moyenne du vent diminue de 3,1 m/s du N ou du NE à 1,7 m/s du S (Figure 3.7, à gauche), mais la vitesse maximale peut atteindre 38 m/s en direction du NNO et plus de 14 m/s pour les autres directions (Tableau 3.2). Le vent hivernal venant de la mer à l'est est arrêté par la montagne à l'ouest ou au sud-ouest du territoire, causant des pluies dans cette saison.



**Figure 3.7. Vitesse (m/s) (gauche) et fréquence (%) (droit) moyenne annuelle du vent à Hué**  
(durée : 1956 – 2000)  
(Basé sur les données de Nguyen Huu Cu, 2006)

**Tableau 3.2. Vitesse maximale du vent (m/s) à Hué**  
(durée : 1956 – 2000)

Vent	Mois												Année
	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	
Direction	NNO	N	NE	OSO	N	SO	OSO	ONO	NNO	O	N	N	NNO
Vitesse	16	14	20	30	20	17	23	19	38	28	21	19	38

(Source : Nguyen Huu Cu, 2006)

La fréquence de calme varie de 32,5% (mars) à 41 % (septembre). De novembre à avril, le vent du NO domine avec une fréquence variant de 16% à 19%. En été, de juin à août, c'est le vent du sud avec une fréquence de 12,7% - 16%. Aux mois restants (mai, septembre et octobre) le vent de NE est le premier avec une fréquence de 11% - 15,5%. Ce vent prend aussi une fréquence importante, plus de 10%, pendant la période de mars à novembre. En tenant compte de toute l'année, le temps calme a une fréquence plus élevée (36%), ensuite le vent du

NO (15%) et puis le vent du NE (12%) (Figure 3.7, à droit). Ce sont les deux directions où les vents soufflent avec une vitesse de 3 m/s en moyenne.

### 3.2.2. Cyclones

Les cyclones tropicaux en général sont divisés en trois groupes principaux : les dépressions tropicales, les tempêtes tropicales et un troisième groupe dont le nom varie selon les régions.

Une dépression tropicale est un système organisé de nuages, d'eau et d'orages avec une circulation atmosphérique définie en surface et des vents soutenus maximum de moins de 17 m/s (33 nœuds ou 62 km/h)

Une tempête tropicale est un système organisé de nuages, d'eau et d'orages avec une circulation définie en surface et des vents soutenus maximum entre 17 m/s et 33 m/s (34-63 nœud ou 62-119 km/h).

Un cyclone tropical dont le vent soutenu maximum excède 33 m/s (environ 119 km/h). Le terme utilisé varie selon les régions : **Ouragan** dans l'Atlantique Nord, l'océan Pacifique à l'est de la ligne de changement de date, et le Pacifique Sud à l'est de 160°E ; **Typhon** dans le Pacifique Nord à l'ouest de la ligne de changement de date ; et **Cyclone tropical** dans le Pacifique Sud-Ouest à l'ouest de 160°E, et dans l'océan Indien.

Le Vietnam est touché par des cyclones engendrés dans le Pacifique Ouest ou au large de la mer de Chine méridionale. Pendant 40 ans, de 1956 à 1995, il y a eu 262 cyclones tombant au Vietnam, soit 6,55 cyclones/an en moyenne, l'année la plus nombreuse a connu 12 cyclones mais il y a aussi des années calmes (Nguyen The Tuong *et al.* 2000). Selon nos statistiques incomplètes, de 1957 à 2008, il y a, au moins, 72 cyclones qui ont influencé la région de Thua Thien Hué, soit 1,4 cyclone/an (Tableau 3.3 et Annexe 7). Ces statiques montrent que les cyclones arrivent à Thua Thien Hué de mai à décembre, mais plus fréquemment de septembre à novembre, dont le mois d'octobre prend environ 45% du nombre de cyclones de toute l'année. (Figure 3.8).

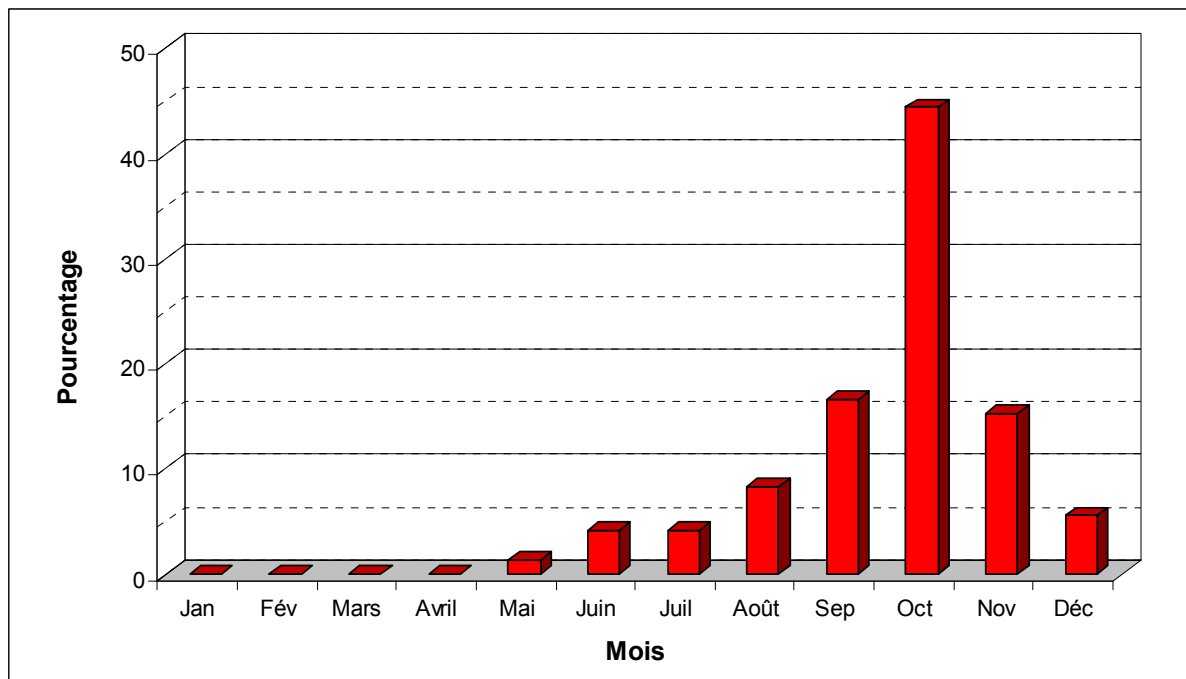


Figure 3.8. Répartition des cyclones qui frappent ou influencent la région Thua Thien Hué (durée : 1957 – 2008)

**Tableau 3.3. Cyclones et dépressions tropicales qui on frappé ou influencé la région Thua Thien Hué**

1. Typhon Irma, 9-10 oct. 1957	37. Dépression tropicale, 14-15 sept. 1985
2. Typhon Tilda, 13-23 sept. 1964	38. Typhon Andy, 28 sept. – 2 oct. 1985
3. Typhon Violet, 14-15 sept. 1964	39. Typhon Cecil, 12-16 oct. 1985
4. Tempête tropicale Anita, 24-27 sept. 1964	40. Super Typhon Dot, 13-22 oct. 1985
5. Tempête tropicale Billie, 25 sept.-1oct. 1964	41. Tempête tropicale Dom, 9-12 oct. 1986
6. Typhon Clara, 2-8 oct. 1964	42. Tempête tropicale Georgia, 18-21 oct. 1986
7. Tempête tropicale Georgia, 20-23 oct. 1964	43. Super Typhon Betty, 8-16 août 1987
8. Typhon Iris, 2-4 nov. 1964	44. Typhon Cecil, 22-24 mai 1989
9. Typhon Joan, 6-9 nov. 1964	45. Tempête tropicale Irving, 18-24 juillet 1989
10. Typhon Kate, 13-17 nov. 1964	46. Typhon Brian, 28 sept. – 3 oct. 1989
11. Super Typhon Kate, 15-25 oct. 1970	47. Super Typhon Angela, 28 sept. – 10 oct. 1989
12. Super Typhon Pasty, 14-22 nov. 1970	48. Typhon Dan, 6-13 oct. 1989
13. Typhon Hester, 19-23 oct. 1971	49. Super Typhon Elsie, 13-22 oct. 1989
14. Typhon Therese, 30 nov. – 10 dec. 1972	50. Typhon Becky, 24-30 août 1990
15. Typhon Bess, 8-14 oct. 1974	51. Tempête tropicale Ira, 2-3 oct. 1990
16. Super Typhon Rita, 16-29 oct. 1978	52. Typhon Fred, 11-18 août 1991
17. Typhon Sarah, 4-15 oct. 1979	53. Typhon Angela, 15-29 oct. 1992
18. Dépression tropicale, août 1980	54. Typhon Colleen, 17-28 oct. 1992
19. Dépression tropicale, septembre 1980	55. Typhon Kyle, 19-24 nov. 1993
20. Dépression tropicale, octobre 1980	56. Typhon Lola, 1-9 dec. 1993
21. Dépression tropicale, novembre 1980	57. Typhon Zack, 23 oct. – 1 nov. 1995
22. Typhon Kelly, 29 juin – 5 juil. 1981	58. Typhon Willie, 17-23 sept. 1996
23. Dépression tropicale, 10-11 oct. 1981	59. Typhon Faith, 7-14 dec. 1998
24. Tempête tropicale Hope, 4-6 sept. 1982	60. Tempête tropicale Eve, 15-19 oct 1999
25. Typhon Nancy, 11-18 oct. 1982	61. Tempête tropicale Usagi, 8-10 août 2001
26. Tempête tropicale Sarah, 24-26 juin 1983	62. Typhon Lingling, 5-12 dec. 2001
27. Dépression tropicale, 2-4 oct. 1983	63. Typhon Neparak, 12-19 nov. 2003
28. Tempête tropicale Herbert, 7-8 oct. 1983	64. Typhon Chanthu, 10-13 juin 2004
29. Typhon Lex, 22-26 oct. 1983	65. Tempête tropicale Vicente, 16-18 sept. 2005
30. Tempête tropicale Vernon, 9-11 juin 1984	66. Typhon Kai-tak, 28 oct. – 2 nov. 2005
31. Dépression tropicale, juillet 1984	67. Dépression tropicale 17W, 23-25 sept. 2006
32. Tempête tropicale Lynn, 24-27 sept. 1984	68. Typhon Xangsane, 26 sept.- 2 oct. 2006
33. Tempête tropicale Susan, 11-12 oct. 1984	69. Typhon Chebi, 9-14 nov. 2006
34. Typhon Warren, 23-30 oct. 1984	70. Typhon Lekima, 30 sept. – 4 oct. 2007
35. Typhon Agne, 1-8 nov. 1984	71. Dépression tropicale 06W, 2-6 août 2007
36. Dépression tropicale, 9-11 sept. 1985	72. Tempête tropicale Mekkhala, 28-30 sept. 2008

Source: <https://metocph.nmci.navy.mil/> de Naval Maritime Forecast Center/Joint Typhoon Warning Center (JTWC) – U.S. Navy ; <http://en.wikipedia.org/wiki> et autres documents.

Malgré ce nombre modeste, les cyclones sont toujours accompagnés de vents forts, de pluies abondantes, d'ondes de tempête, etc. causant des inondations, de l'érosion, des glissements de terrain pour la région.

Plus récemment la tempête tropicale Lekima, appelée la 5ème tempête au Vietnam, a frappé à la région entre les provinces Ha Tinh et Quang Binh (Centre nord du Vietnam) le 3/10/2007. Cette tempête a causé des fortes pluies, des glissements de terrain, faisant 8 morts, dont 3 enfants aux Philippines, 5 morts et la destruction de centaines de maisons au Vietnam. À Thua Thien Hué, selon la Direction chargée des Inondations, Tempêtes et Sauvetage de cette province, la Lekima a détruit 94 maison, 2 écoles, 1040 ha d'agriculture, 9 ha d'aquaculture, engendrant des glissements de terrain le long des routes nationales et provinciales en montagne (N°49A, route Hochiminh, N°14B, etc.), des inondations de route dans la plaine. La ville de Hué et plusieurs communes du districts : Phong Dien, Quang Dien, Huong Tra, Phu Vang et Huong Thuy ont été submergées de 0,3m à 0,5m. La côte aux communes de Vinh Hien et Vinh Hai a été érodée sur 30 mètres sur une distance d'environ 1 kilomètre.

En bref, Thua Thien Hué, est une région touchée par la perte de vies et de biens par des cyclones. Ces cyclones, y compris dépression tropicale, tempête tropicale, typhon et super typhon, s'accompagnent toujours de vents forts, pluies abondantes, hautes vagues causant des risques naturels à savoir : glissements de terrain, éboulements, crues éclairs, inondations, érosion ou accumulation côtières.

### 3.2.3. Système hydrographique

La plupart des rivières en Thua Thien Hué proviennent de la cordillère de Truong Son à l'ouest ou au sud-ouest de cette province (Figure 3.1). Sauf le système de Se Sap à A Luoi qui occupe une modeste superficie de la région, s'écoule vers l'ouest et s'intègre au système du Mékong, les autres s'écoulent vers l'est et se jettent dans la mer de Chine méridionale. Les cours d'eau à l'est de la cordillère de Truong Son, sauf quelques petits au sud, se déversent dans la lagune de Tam Giang – Cau Hai, créant un bassin qui couvre la plupart du territoire de cette province. Ce bassin est caractérisé par une pente raide en amont et une pente très faible avec la présence de Tam Giang - Cau Hai, une des plus grandes lagunes en Asie du sud-est, séparée de la mer par des dunes sableuses hautes de 10 à 20m. Ces caractéristiques rendent l'aval où se trouvent la plus haute densité de population provinciale, souvent sujette aux inondations.

Les rivières principales qui rejoignent la lagune Tam Giang – Cau Hai sont : l'O Lau (avec 3 affluents), la Rivière des Parfums ou Ta Trach (avec 5 confluent dont Huu Trach et Bo sont les plus grands), Nong, Truoi, et Cau Hai. La superficie des bassins de 4 grandes rivières (sauf la Cau Hai) est d'environ 3.978 km<sup>2</sup>. Leurs débits moyens varient de 2,7 m<sup>3</sup>/s à 50,3 m<sup>3</sup>/s avec un total d'environ 5 milliards de m<sup>3</sup> d'eau et 0,6 millions de tonnes de sédiments se versant dans la lagune chaque année (Tableau 3.4).

Les cours d'eau de la région sont caractérisés par deux crues (Figure 3.9) : la petite crue en juin et la crue principale entre septembre et décembre. Le débit moyen mensuel est maximal en octobre ou novembre. La crue principale comprend 60 à 70% du total d'écoulement, engendrant des crues et des inondations à Thua Thien – Hué.

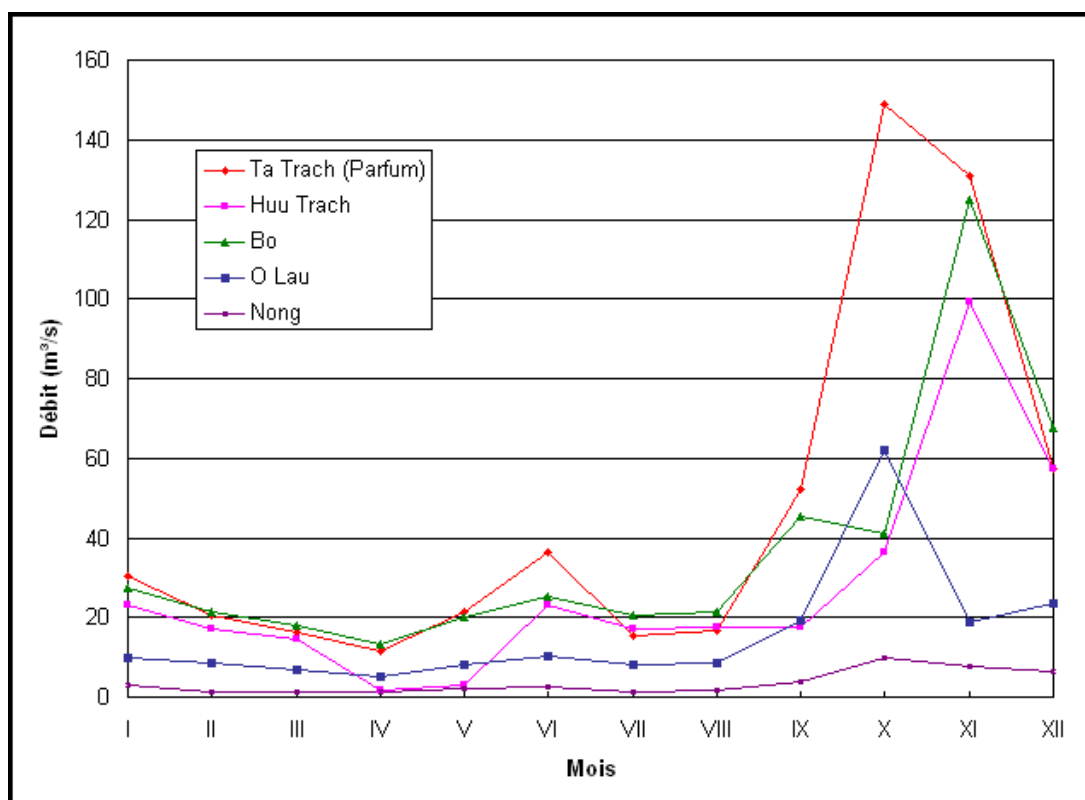
Le Comité central du Vietnam pour le Contrôle des Inondations et des Tempêtes (en anglais : Vietnam Central Committee for Flood and Storm control – CCFSC) distingue 4 niveaux d'alerte de crue : probable, dangereuse, très dangereuse et urgente (Tableau 3.5). Ces niveaux sont exprimés par des cotes d'alerte à chaque station hydrologique. Leurs valeurs sont différentes d'une station à l'autre. Pour la Rivière des Parfums, à la station hydrométéorologique de Hué, les niveaux d'alerte de I, II, III et III+ sont respectivement

marqués par les cotes 0,5m, 1,5m, 3m et >3m. Dans le passé, les crues à Thua Thien Hué ont atteint le niveau d'alerte maximal plusieurs fois (Nguyen Lap Dan, 2004).

**Tableau 3.4. Caractéristiques d'écoulement des rivières qui se jettent à la lagune Tam Giang – Cau Hai**

Rivières		Module d'écoulement (l/s.km <sup>2</sup> )	Débit moyen (m <sup>3</sup> /s)	Total d'eau (10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> /an)	Total de sédiment (Tonne/an)		
					Suspendus	Charriage	Total
Huong	Ta Trach	70,2	50,3	1,580	158445	31689	190134
	Huu Trach	66,0	37,6	1,180	118440	23688	142128
	Bo	63,0	45,3	1,420	142695	28539	171234
O Lau		57,8	17,3	0,545	54495	10899	65394
Truoi		66,7	7,3	0,229	22900	4580	27480
Nong		54,2	3,4	0,112	11245	2249	13494
Cau Hai		67,0	2,7	0,105	8505	1701	10206
<b>Total</b>				<b>5,171</b>	<b>516725</b>	<b>103345</b>	<b>620070</b>

(Nguyen Huu Cu, 2006)



**Figure 3.9. Débit moyen mensuel des rivières se jetant à la lagune Tam Giang - Cau Hai**

(basé sur les données de Nguyen Huu Cu., 2006)

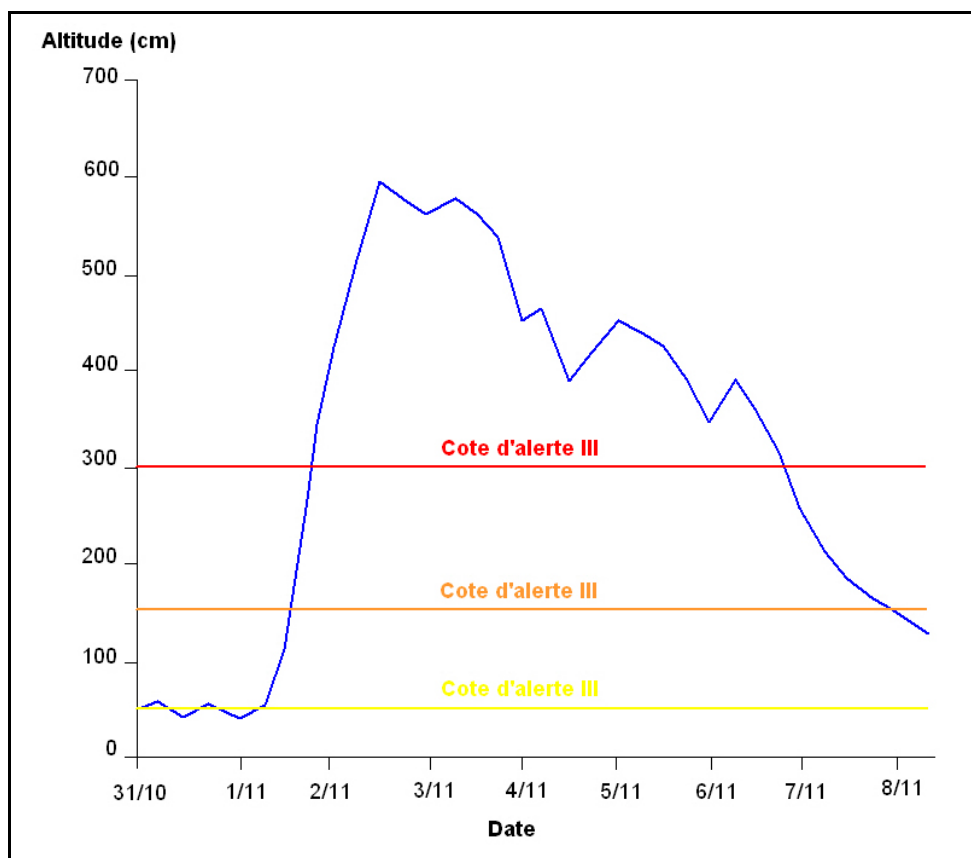
**Tableau 3.5. Les alertes de crue sur la Rivière des Parfums à la station de Hué**

Niveau	Cote (m)*	Situation de crue indiquée par CCFSC**
I	0,5	Crue probable – le niveau d’eau dans les rivières est élevé, inonde les terres très basses et menace les berges de faible hauteur.
II	1,5	Crue dangereuse – toutes les terres plates sont inondées sauf les centres urbains qui sont protégés; les rives, les digues et les piles des ponts risquent l’érosion et le creusement à cause du fort écoulement dans les rivières.
III	3	Crue très dangereuse – toutes les basses régions, même celles dans les centres urbains, sont inondées, la sécurité des digues est menacée, des dommages d’infrastructure sont remarqués.
III+	>3	Crue d’urgence – une crue qui est incontrôlable sur une grande surface, les digues pourraient être rompues avec de grands dommages pour les infrastructures

\* Nguyen L. D. et al., 2004

\*\* Comité central du Vietnam pour le Contrôle des Inondations et des Tempêtes

La plus grande inondation dans l’histoire de la région s’est passée en novembre 1999. De fortes précipitations ont engendré une montée très rapide du niveau d’eau dans les rivières. La vitesse de montée, dans la Rivière des Parfums à Hué, a atteint de 1m/h le 2 novembre (Figure 3.10) (Nguyen Lap Dan, 2004). La crue y a culminé à la hauteur de 5,94m, soit 2,94 m supérieur à la cote d’alerte III. Elle a maintenu le niveau d’alerte III+ 6 jours, du 2 au 7 novembre. Toute la plaine de Thua Thien Hué a été immergée dans cette crue.

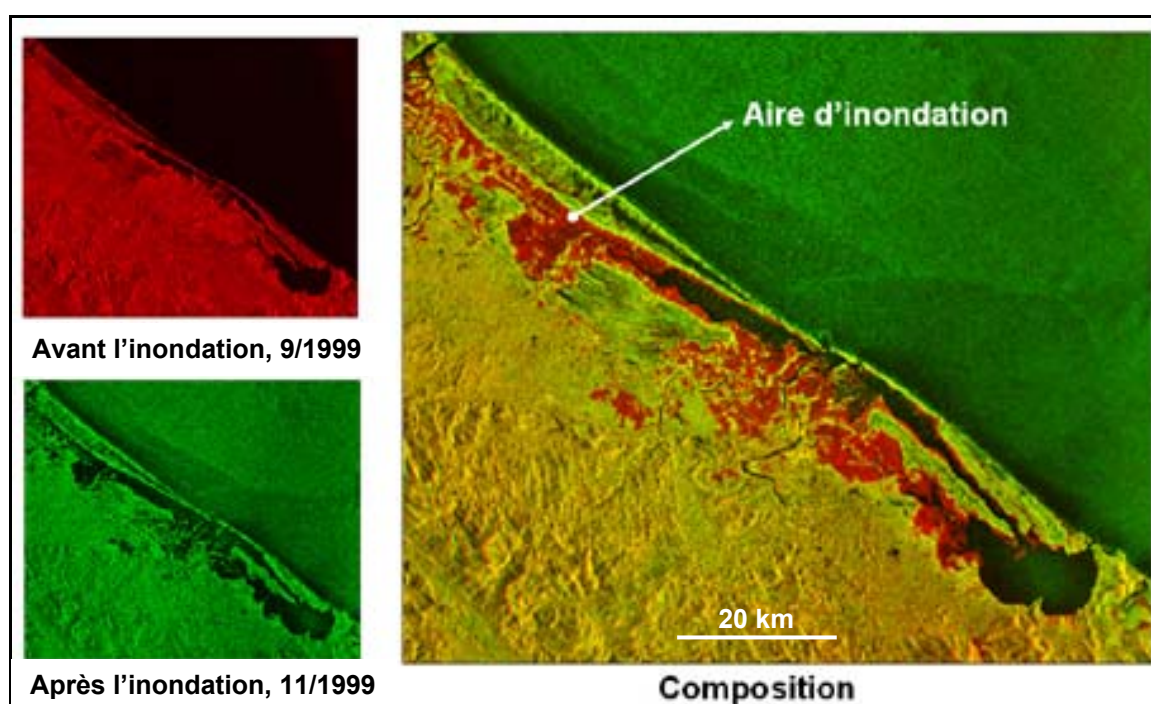


**Figure 3.10. Variation du niveau d’eau de la Rivière des Parfums à Hué pendant la crue en novembre 1999.**

(Nguyen Lap Dan, 2004)



Pour étudier cette inondation, nous avons comparé deux images satellitaires radar (Radarsat) par la technique de composition colorée : une avant l'inondation en septembre 1999 en bande rouge et l'autre contemporaine de l'inondation de novembre 1999 en bande verte. Cela nous montre l'aire d'inondation en rouge dans l'image de composition (Figure 3.11). L'inondation a couvert une grande surface à la plaine de Thua Thien Hué, autour de la lagune de Tam Giang - Cau Hai. On constate que 90% de la superficie peuplée de la plaine a été submergée sur une hauteur de 1,5 – 4 m d'eau. Hué, la capitale de la province n'est pas exceptée dans cet événement. Même l'aéroport de Hué (nommé Phu Bai), situé sur une élévation relativement haute, a aussi été inondé et a dû fermer du 1 au 5 novembre 1999. Les systèmes de télécommunication et d'électricité ont été coupés dans la même période. Le système routier et le chemin de fer ont été bloqués pendant plusieurs jours à cause des inondations et des glissements de terrain. La grande crue a rompu le cordon de la lagune de Tam Giang - Cau Hai à Hoa Duan et Vinh Hai. Au total, cette inondation a coûté 1.748.991,9 millions VND (soit 116,5 millions USD), dégradé 2.821 ha de terre agricole, fait 352 morts, 8 disparus et 305 blessés (Nguyen Lap Dan, 2004).



**Figure 3.11. Extension de l'inondation de 1999 par la composition colorée de deux images Radarsat**

Thua Thien - Hué est une région très sensible à l'inondation, spécialement la région autour de la lagune Tam Giang - Cau Hai. Les travaux sur le terrain ont montré que seulement en quelques jours de pluie (pas trop forte) en décembre 2005, cette région était déjà inondée (Figure 3.12). Les autorités locales ont dû faire construire une échelle limnimétrique pour alerter le niveau d'inondation dans la région en 2007.

Plus récemment, pendant les mois d'octobre et novembre 2007, elle a subi 3 inondations. La dernière s'est passée du 10 au 13/11/2007 à cause de fortes pluies avec une valeur de 1.537mm à Khe Tre, 1.163mm à Thuong Nhat en amont de Ta Trach (Rivière des Parfums). Le niveau d'eau dans toutes les rivières de la région a dépassé l'alerte III, niveau le plus haut dans le système d'alerte du Vietnam, de 0,33 m sur la rivière Bo à Phu Oc, et de 1,35m sur la Rivière des Parfums à Hué. Cet événement a fait 2 morts, 2 blessés. L'inondation a couvert une grande superficie, touché 79.745 foyers dans 90 communes réparties dans 6 districts sur 9 de la province : Phong Dien, Quang Dien, Huong Tra, Phu Vang, Nam Dong et la ville de

Hué. Presque toutes les rues dans la ville de Hué ont été inondées, la citadelle, symbole de l'empire vietnamien, n'a pas fait exception (Figure 3.13). Le système routier et le chemin de fer dans la région ont été bloqués par l'inondation de la plaine ou par des glissements de terrain en montagne. Six trains transvietnamiens avec 2.341 passagers ont été arrêtés à Thua Thien Hué.



Figure 3.12. Travail sur le terrain en 2005 et 2007 au nord de Thua Thien Hué

(Photo : Mai T. T., 2005 et 2007)

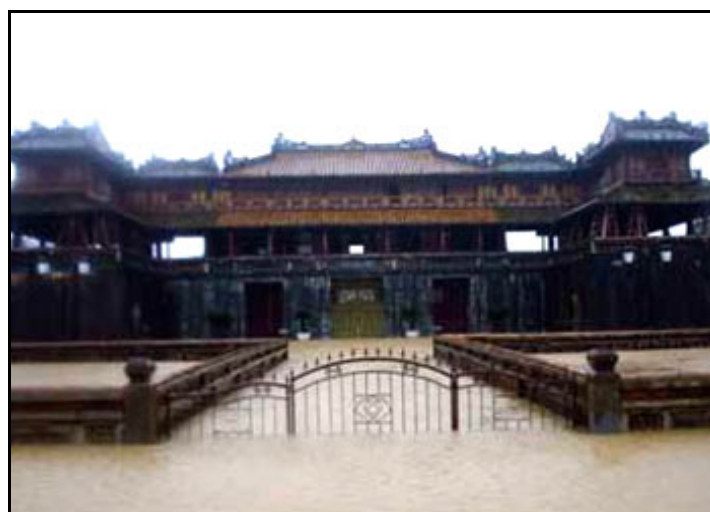


Figure 3.13. Inondation à la citadelle de Hué 11/2007

(Source : <http://www.vnexpress.net>)

L'inondation de Thua Thien - Hué a principalement été causée par les fortes pluies, normalement engendrées par les tempêtes ou par les vents du NE freinés par la montagne à l'ouest et au sud-ouest de la région. Une autre raison est aussi la caractéristique du bassin versant de la lagune Tam Giang - Cau Hai, couvrant la plupart de la province Thua Thien

Hué, par une pente raide en amont et vers l'aval par une pente très faible voire nulle avec la présence de la lagune, séparée de la mer par des dunes formant le cordon littoral qui freinent l'évacuation des eaux vers la mer.

### 3.2.4. Conditions météo-marines

La mer est caractérisée par une marée semi-diurne. Du nord jusqu'à Thuan An, ce caractère est irrégulier, la plupart des jours du mois, elle est semi-diurne, son amplitude diminue de 1,2 à 0,5 m vers le sud. À Thuan An, la marée est semi-diurne avec une amplitude de 0,35 - 0,50m, valeur la plus faible du Vietnam. De Thuan An vers le sud, la marée semi-diurne est régulière 20 – 25 jours par mois et avec une amplitude de 0,8m lors de vives-eaux (Figure 3.14)

Les vagues changent en fonction de la mousson de NE en hiver et de SO en été. Les vagues hivernales proviennent du NE avec une fréquence de 99% à Thuan An et une hauteur de 0,25 – 3m. Les vagues estivales ont une direction ouest ou sud-ouest au large avec une hauteur moyenne de 0,25 – 1m. La hauteur des vagues est de 1,37m en moyenne annuelle (Nguyen Huu Cu, 2006). La hauteur maximale est de 4,0 – 4,5 m en hiver et de 3,5 – 4 m en été.

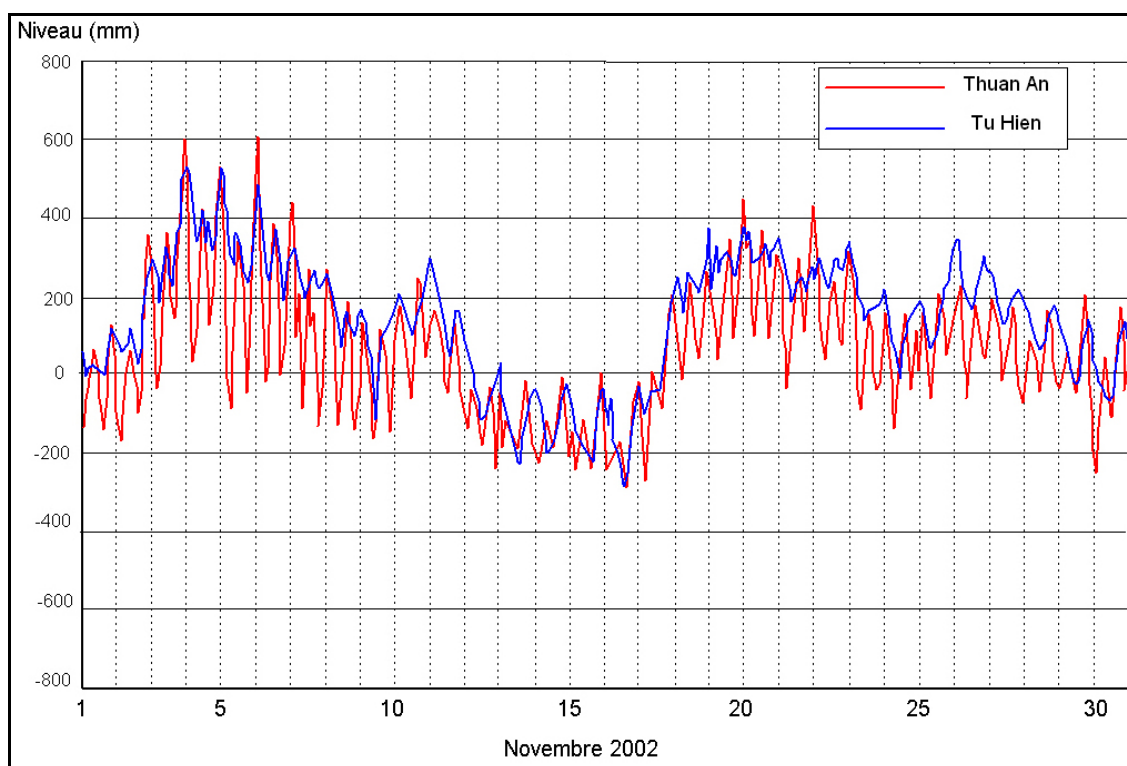


Figure 3.14. Marégraphe à Thuan An et Tu Hien en Novembre 2002

(Tran Huu Tuyen, 2003)

Les courants marins, d'une part, sont influencés par la circulation du golfe de Tonkin, d'autre part, ont des caractères locaux. Au large du Centre septentrional du Vietnam, il existe un courant de l'ouest du golfe du Tonkin se déplaçant vers le sud-est le long de la côte avec une vitesse de 10 cm/s à la profondeur de 20m. En hiver, apparaît un autre courant cyclonique dans l'ouest de la Mer de Chine méridionale provenant du nord-est, passant par la porte du Golfe de Tonkin avec une vitesse de 15 – 40 cm/s. Ces deux courants convergent à la côte du Centre septentrional du Vietnam et continuent d'avancer vers le sud le long de la côte. Ils y sont renforcés, à cause de la proximité de la côte et de vents hivernaux forts (Pham Huy Tien, 2005).

Le courant des vagues ou dérive littorale joue un rôle important pour le transport sédimentaire dans la zone de déferlement. En été, ce courant se déplace du sud au nord et en hiver, le contraire. Sa vitesse atteint de 30 à 100 cm/s et est souvent plus grande lors des vent de NE. En utilisant les paramètres obtenus à la station de Con Co, une île à plus de 70 km au nord de Hué, Nguyen Huu Cu (2006) a calculé le déplacement sédimentaire le long de la côte de Thua Thien Hué (Tableau 3.6). Les sédiments entraînés dans ce déplacement sont estimés à  $3,5.10^6$  m<sup>3</sup>/an avec un bilan sédimentaire résultant de  $0,5.10^6$  m<sup>3</sup>/an vers le sud-est.

**Tableau 3.6. Déplacement sédimentaire par le courant des vagues le long de la côte de Thua Thien Hué**

(Modèle de CERC avec les paramètres moyens à la station de Con Co)

Direction	Sédiment (m <sup>3</sup> /an)	Total (m <sup>3</sup> /an)
NO	298 996	2012.10 <sup>3</sup>
NNO	26 675	
N	1 600 015	
NNE	67 174	
NE	19 085	
NE	- 645 054	-1490.10 <sup>3</sup>
ENE	- 64 065	
E	- 756 719	
ESE	- 23 013	
SE	- 1 414	
Total	3 502 210	522.10 <sup>3</sup>

Source : Nguyen Huu Cu, 2006

Une onde de tempête est engendrée par une importante dépression qui entraîne un rehaussement du niveau de la mer et cause des vents qui déforment la surface de l'océan et donc une surcote. Il en résulte un empilement de l'eau. A la côte, au nord du parallèle de 16°N, où se trouve Thua Thien Hué, la fréquence d'ondes de tempête de plus de 2,5 m est estimée de 3%, elle augmente lors de la diminution de la hauteur (Tableau 3.7)

**Tableau 3.7. Fréquence et hauteur d'onde de tempête à la côte au nord de la parallèle de 16°N**

Hauteur (m)	Fréquence (%)
0,5-1,0	32
1,0-1,5	25
1,5-2,0	19
2,0-2,5	8
>2,5	3

(Pham Van Ninh et al., 1991).

En effet, le typhon Cecil d'octobre 1985 a engendré une onde de tempête de 2,77 m à Cua Tung, à 100 km au nord de Hué, et de 1,2m à Thuan An, faisant 1000 morts, 3572 bateaux détruits et 45 057 ha de terre inondée. Lors du typhon Kyle en novembre 1993, on a connu à la passe de Thuan An un écoulement continu pendant 25 heures de la mer dans la lagune Tam Giang – Cau Hai. De 1982 à 1990, au moins 4 cyclones ont causé des surcotes à Da Nang (au sud de Thua Thien – Hué) avec des hauteurs de 0,47 m à 1,04 m, y compris : Hope en 1982 avec 0,67 m, Lynn en 1981 avec 0,47m, le N°2 (système vietnamien) en 1989 avec 0,93m et le N°5 en 1990 avec 1,04m.

### 3.2.5. Géologie

Sur le plan géologique, Thua Thien Hué est déjà cartographié à l'échelle du 1 :50.000 dans la série de feuilles de Nam Dong par Vu Manh Dien, 1994 et la série de feuilles de Hué par Pham Huy Thong, 1997 (Figure 3.15, Tableau 3.8). Selon ces ouvrages, il y a 18 divisions géologiques de la plus vieille à la plus jeune :

- |                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| 1. Formation Nui Vu    | 10. Complexe Que Son                |
| 2. Complexe A Bung     | 11. Complexe Cha Van                |
| 3. Formation A Vuong   | 12. Complexe Hai Van                |
| 4. Formation Long Dai  | 13. Complexe Ba Na                  |
| 5. Complexe Tra Bong   | 14. Formation Quang Dien            |
| 6. Complexe Dai Loc    | 15. Formation Phu Xuan              |
| 7. Formation Tan Lam   | 16. Formation Phu Bai               |
| 8. Formation Phong Son | 17. Formation Phu Vang              |
| 9. Formation A Lin     | 18. Dépôts quaternaires non divisés |

Ces formations et complexes peuvent être divisés en trois groupes :

- Roches sédimentaires et métamorphiques : Nui Vu, A Vuong, Long Dai, Tan Lam, Phong Son, A Lin,
- Roches intrusives : A Bung, Tra Bong, Dai Loc, Que Son, Cha Van, Hai Van, Ba Na
- Dépôts meubles du Quaternaire : Quang Dien, Phu Xuan, Phu Bai, Phu Vang et dépôts quaternaire non divisés

Pour analyser le changement de la côte, la géologie du littoral joue un rôle important. Elle peut constituer la base qui est sculptée par l'érosion côtière. Le littoral ainsi que la plaine de la région sont principalement composés de dépôts du Quaternaire et un peu de roches dures granitiques (Figure 3.16, Tableau 3.9). Quelques traits géologiques de la zone côtière sont présentés ici, y compris les dépôts meubles des formations de Quang Dien, Phu Xuan, Phu Bai et Phu Vang, la roche dure du complexe de Hai Van.

#### 3.2.5.1. Formation de Quang Dien.

Cette formation est datée du Pléistocène moyen – supérieur, établie par Pham Huy Thong, 1997. Ses sédiments appartiennent 4 types : alluvio-proluvial, alluvial, alluvio-lacustre et alluvio-marin. En général, les sédiments de la formation de Quang Dien se répartissent largement dans la plaine mais seulement ceux d'origine alluvio-proluviale affleurent en marge, à l'altitude d'environ 15m par rapport au niveau actuel de la mer. Il s'agit de blocs, de cailloux couverts par les graviers et puis des argiles.

Les autres types de dépôts, couverts par des dépôts plus jeunes, sont trouvés dans les forages. Les dépôts alluviaux se trouvent à la profondeur de 21m à 114m avec des graviers, des sables et des limons. Les dépôts alluvio-marins sont situés en dessous du centre de la plaine à la profondeur de 100 m à 35,5 m avec des sables, des limons et des argiles. Les conditions de la sédimentation ont été déterminées par des analyses paléontologiques et géochimiques.

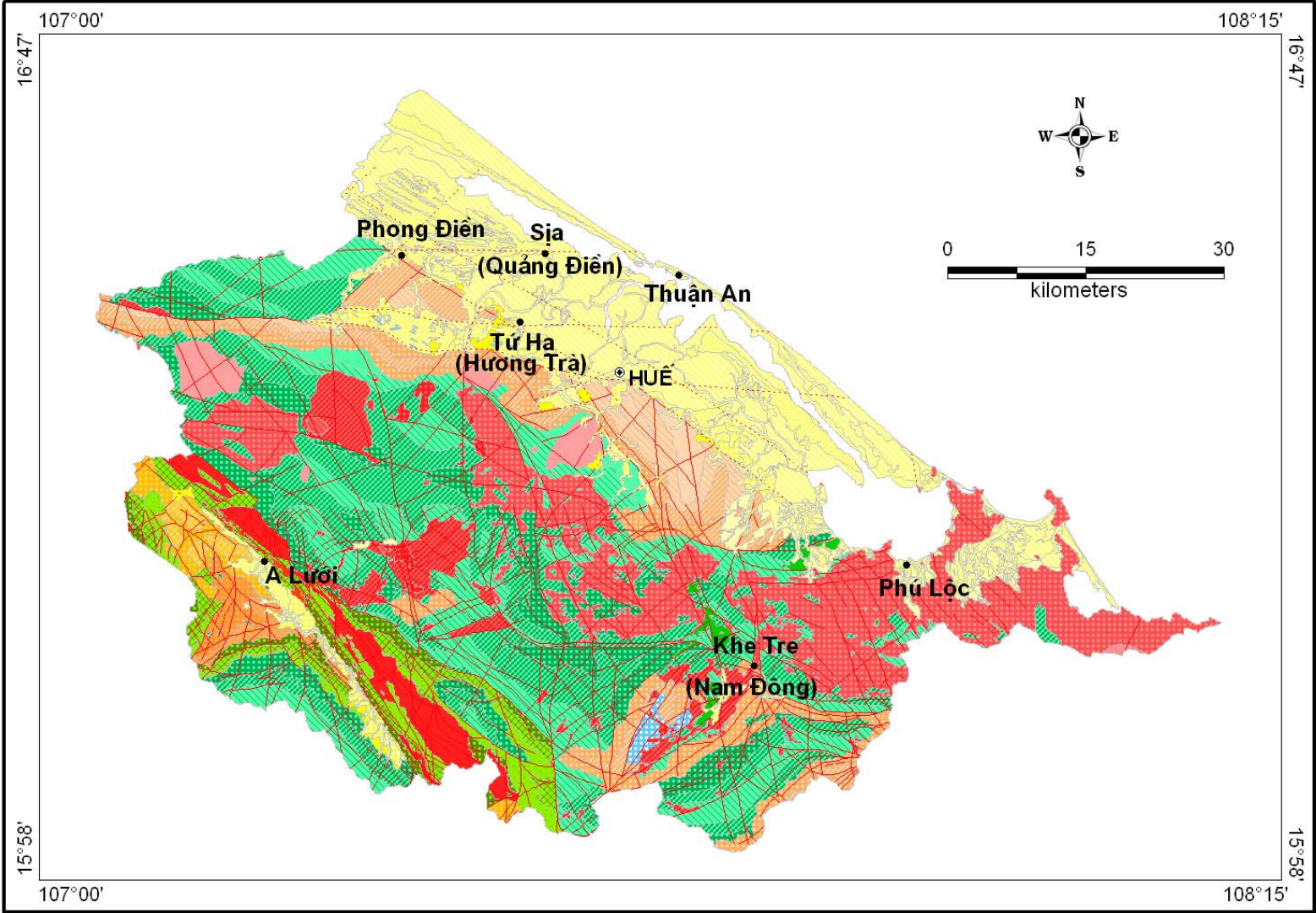


Figure 3.15. Carte géologique de Thua Thien Hué  
(basée sur les cartes 1 :50000 de Vu Manh Dien, 1994 et de Pham Huy Thong, 1997)

Tableau 3.8. Légende de la carte géologique

	Quaternaire. Dépôts non divisés. Sables, silts avec graviers, galets en gris, gris jaunâtre.
	Quaternaire. Formation de Phu Vang. Cailloux, graviers, sables, silts, argiles.
	Quaternaire. Formation de Phu Bai. Graviers, sable, silts, argiles.
	Quaternaire. Formation de Phu Xuan. Graviers, sables, silts, argiles.
	Quaternaire. Formation de Quang Dien. Cailloux, graviers, sables, silts, argiles.
	Crétacé supérieur. Complexe de Ba Na. Granites biotites, granites riches en feldspath potassique, granites de deux micas.
	Trias supérieur. Complexe de Hai Van. Phase 2. Granites aplittiques.
	Trias supérieur. Complexe de Hai Van. Phase 1. Granites biotites, granites de deux micas.
	Trias supérieur. Complexe de Cha Van. Gabbro-pyroxènes, gabbros.
	Permien supérieur - Trias inférieur. Complexe de Que Son. Phase 3. Granites biotites en couleur claire.
	Permien supérieur - Trias inférieur. Complexe de Que Son. Phase 2. Granodiorites de biotite-hornblende à grain fin - moyen.
	Permien supérieur - Trias inférieur. Complexe de Que Son. Phase 1. Gabbrodiorites, diorites hornblendes, diorites quartzeux, hornblendes biotiteux.
	Permien. Formation de A Lin. Sub-formation supérieure. Conglomérats, grès, siltites, tuffites.
	Permien. Formation de A Lin. Sub-formation inférieure. Conglomérats, grès, siltites, andésites - dacites, marnes
	Dévonien supérieur - Carbonifère inférieur. Formation de Phong Son. Sub-formation supérieure. Calcaires gris avec un peu de marnes.
	Dévonien supérieur - Carbonifère inférieur. Formation de Phong Son. Sub-formation inférieure. Marnes, calcaires argileux avec un peu de calcaires noirs.
	Dévonien inférieur. Formation de Tan Lam. Membre 4. Argilites, siltites avec grès.
	Dévonien inférieur. Formation de Tan Lam. Membre 3. Siltites, argilites sériciteux et grès.
	Dévonien inférieur. Formation de Tan Lam. Membre 2. Argilites sériciteux, siltites, grès.
	Dévonien inférieur. Formation de Tan Lam. Membre 1. Grès quartzitiques, argilites sériciteux, siltites.
	Dévonien inférieur. Complexe de Dai Loc. Granites de biotites, granites de deux micas.
	Paléozoïque supérieur. Complexe de Tra Bong. Diorites, granodiorites
	Ordovicien supérieur - Silurien. Formation de Long Dai. Membre 4. Schistes sériciteux chloriteux, siltites, grès.
	Ordovicien supérieur - Silurien. Formation de Long Dai. Membre 3. Siltites, schistes sériciteux chloriteux, grès, schistes charbonneux.
	Ordovicien supérieur - Silurien. Formation de Long Dai. Membre 2. Grès quartzitiques, siltites, schistes quartzeux - sériciteux - chloriteux.
	Ordovicien supérieur - Silurien. Formation de Long Dai. Membre 1. Grès quartzitiques, schistes quartzeux - sériciteux - chloriteux.
	Cambrien moyen - Ordovicien inférieur. Formation de A Vuong. Sub-formation supérieure. Schistes sériciteux - chloriteux - biotiteux. Schistes sériciteux riches en substances organiques.
	Cambrien moyen - Ordovicien inférieur. Formation de A Vuong. Sub-formation moyenne. Schistes quartzeux - chloriteux, schistes quartzeux - micacés, quartzites, schistes siliceux.
	Cambrien moyen - Ordovicien inférieur. Formation de A Vuong. Sub-formation inférieure. Schistes quartzeux - micacés, schistes quartzeux - biotiteux, grès, grès quartzitiques.
	Paléozoïque inférieur. Complexe de A Bung. Gabbrodiabase, diabase.
	Néoproterozoïque - Cambrien inférieur. Formation de Nui Vu. Sub-formation supérieure Schistes quartzeux - biotiteux, schistes quartzeux - micacés, schistes chloriteux - calciteux.
	Néoproterozoïque - Cambrien inférieur. Formation de Nui Vu. Sub-formation inférieure Métabasaites intercalés avec schistes quartzeux - biotiteux - calciteux, schiste quartzeux - feldspathiques - biotiteux.
	Faïlle
	Faïlle couverte par des dépôts quaternaires

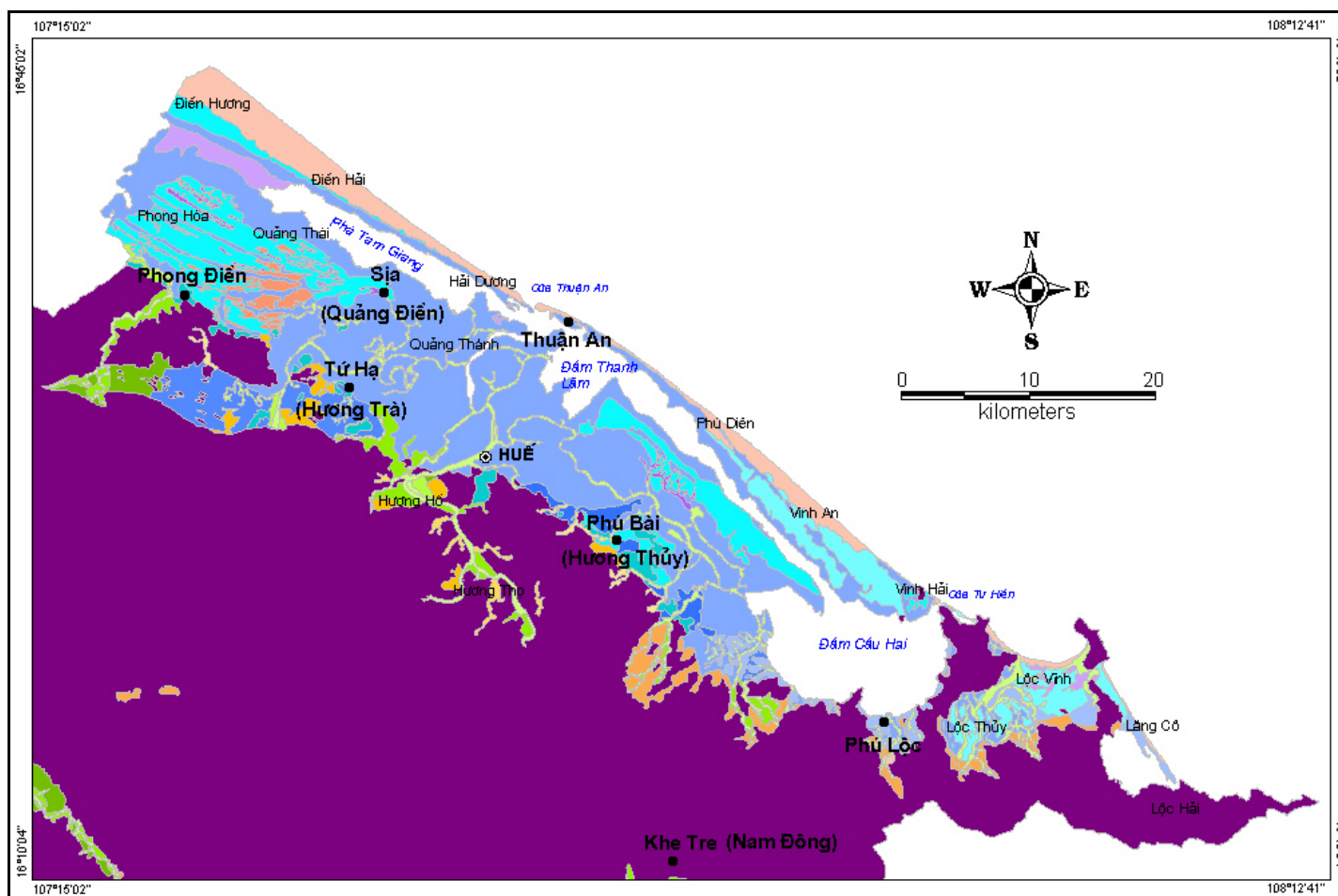


Figure 3.16. Carte géologique du Quaternaire du littoral de Thua Thien Hué

(basé sur Vu Manh Dien, 1994 et Pham Huy Thong, 1997)



**Tableau 3.9. Légende de la carte géologique quaternaire du littoral de Thua Thien Hué**

	Dépôts quaternaires non divisés. Dépôts de pente. Sables, silts avec des graviers, en gris, gris jaunâtres.
<b>Holocène moyen – supérieur. Formation de Phu Vang</b>	
	Sub-formation supérieure. Dépôts marino – éoliens. Sables bien triés, bien émoussés
	Sub-formation supérieure. Dépôts marins. Sables, peu de silts en gris jaunâtre
	Sub-formation supérieure. Dépôts marino-alluvio-lacustres. Sables, silts, vestiges de plantes
	Sub-formation supérieure. Dépôts alluvio – marins. Sables, silts en gris
	Sub-formation supérieure. Dépôts alluvio – lacustres. Silts, sables, vestiges de plante
	Sub-formation supérieure. Dépôts alluviaux. Graviers, sables, silts, argiles.
	Sub-formation inférieure. Dépôts marins. Sables, peu silts en gris jaunâtre.
	Sub-formation inférieure. Dépôts marino-alluvio-lacustres. Sables, vestiges de plantes, tourbes
	Sub-formation inférieure. Dépôts alluvio-marins. Argiles, silts, sables, vestiges de plantes, coquillages.
	Sub-formation inférieure. Dépôts alluviaux. Sables, silts, graviers, argiles en jaunes brunâtres.
	Sub-formation inférieure. Dépôts proluvio-alluviaux. Cailloux, graviers, sables, silts, argiles bruns jaunâtres
<b>Holocène inférieur – moyen. Formation de Phu Bai</b>	
	Sub-formation supérieure. Dépôts marino-éoliens. Sables quartzeux blancs à grain fin - moyen
	Sub-formation supérieure. Dépôts marins. Sables blancs à grain moyen
	Sub-formation supérieure. Dépôts marino-alluviaux. Silts, argiles, sables en gris brun ou brun jaunâtre
	Sub-formation inférieure. Dépôts alluvio – marins. Silts avec sables, argiles en gris, gris-vert
	Sub-formation inférieure. Dépôts alluviaux. Graviers, sables avec silts, argiles en gris, gris jaune
<b>Pléistocène supérieur. Formation Phu Xuan</b>	
	Dépôts marins. Sables, sables silteux, peu de graviers, en jaune
	Dépôts alluviaux. Sables, graviers, silts en brun jaunâtre, brun rougeâtre.
	Dépôts alluvio-proluviaux. Graviers, galets, sables
<b>Pléistocène moyen – supérieur. Formation de Quang Dien.</b>	
	Dépôts alluvio-proluviaux. Cailloux, sables, silts, argiles en gris jaunâtre
<b>Autres</b>	
	Roches-mère préquaternaires

### 3.2.5.2. Formation de Phu Xuan.

La formation de Phu Xuan du Pléistocène supérieur a une origine alluvio-proluviale, alluviale, alluvio-marine et marine. En général, les dépôts de la formation de Phu Xuan ont les caractéristiques suivantes :

Large répartition, changement faciologique de la plaine vers la mer et de bas en haut suivant la loi : alluvio-proluvion → alluvion → alluvio-marin → marin.

Les dépôts alluvio-proluviaux et alluviaux sont plus grossiers et mal triés. Les dépôts marins sont bien triés et dominés par la composante quartzeuse. Les dépôts alluvio-marins et alluvio-marin-lacustres sont dominés par des grains fins.

Les dépôts alluvio-proluviaux se répartissent le long des cours d'eau à la marge de la plaine sous forme d'une terrasse de 8 – 12m de haut et de centaines de mètres de large. Ils sont composés de graviers, de galets en bas couvrant les roches mère et des sables, des graviers en haut.

Les dépôts alluviaux ne sont trouvés que dans les forages. Ils sont caractérisés par des sables, graviers, silts bruns jaunâtres, brun rougeâtre changeant en haut en silts et argiles jaunes avec un épaississement vers la mer.

Les dépôts alluvio-marins contiennent des silts et des argiles. Les analyses palynologiques et de diatomées indiquent, pour la sédimentation, un environnement de l'embouchure littorale.

Les dépôts marins affleurent en marge de la plaine et s'enfoncent sous la plaine à la profondeur de 21 – 66,5m. En affleurement, ces dépôts sont caractérisés par des sables, silts, argiles de couleur jaune foncé, brun rougeâtre. Les foraminifères dans les sables silteux indiquent un âge du Pléistocène supérieur.

#### 3.2.5.3. *Formation de Phu Bai*

Cette formation comprend des sédiments qui se sont formés dans l'Holocène inférieur – moyen avant et pendant la transgression flandrienne (6 ka – 4 ka BP), donc elle peut être divisée en deux subformations : l'inférieure avant la transgression et la supérieure pendant la transgression.

Les dépôts de la subformation inférieure de Phu Bai sont d'origine alluviale et alluvio-marine. Ils s'exposent à la marge de la plaine et forment la terrasse I, mais la plupart sont couverts par des dépôts plus jeunes. Les alluvions affleurent le long les rivières : O Lau, Huong, Bo en forme de terrasse. Elles sont caractérisées par des graviers, sable en bas et des sables, des limons et des argiles en haut. Les dépôts alluvio-marins s'exposent à Huong Thuy, se composent de limons, de sables, de graviers en bas et de limons, et des argiles en haut.

*La subformation supérieure de Phu Bai* a une origine marino- alluviale, marine et marino-éolienne. Les dépôts marino-alluviaux se trouvent dans la région des rivières Bo, Huong et de la lagune Tam Giang en forme une terrasse de 4m à 6m. Ils sont principalement composés de silts, argiles gris brun ou brun jaunâtre. Les dépôts marins sont des sables blancs à grain moyen, se répartissant au nord et au sud de la plaine. Les dépôts marino-éoliens ont une répartition limitée en forme de dunes de 10 m – 13 m, ils sont caractérisés par des sables quartzeux blancs à grain fin - moyen, bien triés, bien émoussés.

En général, la répartition de la formation de Phu Bai est assez large en forme de terrasse. Dans les coupes, un changement de faciès d'alluvion → alluvio-marin → alluvio-marin-lacustre → marin en direction s'observe de bas en haut. Les dépôts alluviaux ont des grains plus grossiers et mal triés. Les dépôts alluvio-marins, alluvio-marino-lacustres ont des grains plus fins et mal triés. Les dépôts marins, éoliens sont bien triés et bien émoussés. Les dépôts alluviaux, marins, éoliens sont pauvres en organismes mais pour les dépôts alluviaux – marins, alluviaux – marins – lacustres, c'est le contraire.

#### 3.2.5.4. *Formation de Phu Vang*

Ce sont des dépôts post-transgression flandrienne formés pendant l'Holocène moyen – supérieur avec des origines différentes. Ils changent le faciès de la marge à la mer avec une épaisseur augmentant vers l'embouchure de Thuan An de 17 m dans le forage LK HU7. La formation de Phu Vang est divisée en deux sub-formations : inférieure et supérieure.

*La subformation inférieure de Phu Vang* couvre une vaste superficie de la plaine de Hué. Elle a des origines proluvio-alluviales, alluviales, alluvio-marine- lacustres, alluvio-marine, et marine. Les dépôts proluvio-alluviaux se trouvent à la marge de la plaine, le long des cours d'eau avec des blocs, cailloux, graviers et des sables. Les dépôts alluviaux forment le lit majeur le long de la rivière O Lau, ils sont composés de sables, limons et argiles. Les dépôts alluvio-marins contiennent principalement des limons et des argiles, trouvés au nord de Hué. Les dépôts marins sont des sables gris clair ou gris jaunâtre qui se trouvent au sud-est de Hué.

*La sub-formation supérieure de Phu Vang* contient des dépôts plus jeunes qui ont des origines alluviales, alluvio-lacustres, marino-alluvio-lacustres, marines et marino-éoliennes. Les dépôts alluviaux forment le lit mineur avec des sables et des limons. Les dépôts alluvio – lacustres sont des silts, des sables gris avec des vestiges de plantes de couleur noire, disséminés dans les basses terres des chenaux anciens. Les dépôts marino-alluvio-lacustres sont situés autour de la lagune Tam Giang, caractérisés par des sables, des silts gris foncé avec des vestiges de plantes. Les dépôts marins forment les plages actuelles composées par des sables à grains fins ou moyens en gris jaunâtre. Les dépôts marino – éoliens sont des sables bien triés, bien émoussés en forme des dunes le long de la côte.

#### 3.2.5.5. Dépôts quaternaires non divisés

Ce sont dépôts déluviaux, déluvio – proluviaux à la marge de la dépression A Luoi et de la plaine de Hué. Ces dépôts contiennent des sables, des silts avec des graviers, des galets mal triés gris, gris jaunâtre.

#### 3.2.5.6. Complexe de Hai Van

Ce complexe est composé de granites à biotite, granites à deux micas et granodiorites, se trouvant à la côte au sud de la région. Il est daté du Trias supérieur. Ces roches dures s'avancent vers la mer en forme de promontoires : Chan May Dong, Chan May Tay, Hai Van entourant des baies.

### 3.2.6. Activités anthropiques

Les activités anthropiques influencent significativement les géorisques ainsi que les autres risques naturels. L'augmentation du risque en fréquence ainsi qu'en intensité au cours des dernières années résulte partiellement d'interventions anthropiques dans la nature.

Pendant la guerre du Vietnam, Thua Thien – Hué était un des champs de bataille parmi les plus violents. La nature a été ravagée, toute la terre a été labourée par des bombardements et des forêts sont détruites par des agents chimiques. Entre 1961 et 1971, l'Armée des États Unis a épandu près de 80 millions de litres de défoliants sur le Vietnam du Sud pour détruire les forêts et ainsi empêcher les vietnamiens de se cacher, pour détruire leurs récoltes et aussi dégager des installations militaires américaines et prévenir les attaques ([http://fr.wikipedia.org/wiki/agent\\_orange](http://fr.wikipedia.org/wiki/agent_orange)). L'Académie nationale des sciences des États-Unis a publié que l'armée des États-Unis avait procédé 8.532 épandages sur le Vietnam dont 10 régions avaient été plus touchées avec 47% du total, et Thua Thien Hué est la deuxième plus touchée (606 épandages) après Phuoc Long (704 épandages) (Vu Cong Phong – [www.hoahocvietnam.com](http://www.hoahocvietnam.com)). Les défoliants chimiques sont baptisés suivant la couleur inscrite sur les barils dans lesquels ils étaient stockés : Agent Orange, Blanc, Bleu, Rose, Vert et Pourpre. L'agent orange est le produit le plus utilisé et est aussi le plus dangereux à cause de la présence de dioxine, un produit chimique particulièrement toxique.

Ces produits chimiques défolient les plantes, les dais de feuillage sont détruits, l'environnement forestier est dégradé rapidement. La forêt est détruite gravement sur une grande échelle et cela s'est répété pendant plusieurs années. En conséquence, les arbres sont morts, des herbes sauvages appelées au Vietnam « herbes américaines » (*Pennisetum*

*polystachyon*), herbes à paillote (*Imperata cylindrica*) et roseaux poussent. Jusqu'à présent, des dizaines d'années après la guerre, il reste encore des régions non reconstituées malgré les efforts de reforestation.

Particulièrement dans la région A Luoi à l'ouest de la province de Thua Thien – Hué, entre août 1965 et décembre 1970, 256 épandages avec 3 agents principaux : blanc, orange et bleu. Ces défoliants ont non seulement détruit la forêt tropicale, mais aussi ont des influences sur l'environnement et l'être-humain jusqu'à présent (Figure 3.17 et Figure 3.18). On compte 4000 victimes d'agent orange dans cette région (Vietnam Association of Victim of Agent Orange/Dioxin – [www.vava.org.vn](http://www.vava.org.vn)).



**Figure 3.17. Forêt à A Luoi détruite par des défoliants lors de la guerre du Vietnam**

(Source: Vietnam Association for Conservation of Nature and Environment - [http://www.vacne.org.vn/CD\\_ROM/root/data/HTML/ChuongIV-3.html](http://www.vacne.org.vn/CD_ROM/root/data/HTML/ChuongIV-3.html))



**Figure 3.18. Région à présent encore contaminée par des défoliants Dong Son - Aluoi**

(Source : VietNamNet 14/6/2007)

Après la guerre qui s'est terminée en 1975, la forêt a été ravagée à cause d'une vague de migrants venant de la plaine ou d'autres régions sous la pression anthropique. La déforestation en amont est la cause de crues éclairs, de glissements de terrain en montagne,

d'érosion de rivière, d'érosion côtière en plaine. En connaissant ce problème, les autorités centrale et locales ont proposé des programmes de reboisement.

Selon le Département Général des Statistiques du Vietnam, en 2006, Thua Thien Hué a une population de 1 143,5 millions d'habitants sur une superficie de 5 065,3 km<sup>2</sup>, soit une densité de 226 habitants/km<sup>2</sup>, avec un taux d'augmentation démographique, en moyenne de 1995 à 2006, de 1,23%. La pression anthropique sur la nature est de plus en plus forte en favorisant le défrichement de la terre et l'exploitation des ressources naturelles.

Des infrastructures construites dans la région ont des influences sur les risques naturels et au contraire, à leur tour, elles sont affectées par les risques. La route nationale N°1 et le chemin de fer, qui traversent la plaine du nord au sud, apparaissent comme des « digues » en limitant remarquablement le drainage d'eau, aggravant l'inondation dans cette basse terre. Plus récemment, la route nationale baptisée la route Hochiminh à l'ouest de Thua Thien Hué vient d'être mise en fonction mais en raison de l'instabilité, des glissements de terrain se produisent fréquemment, spécialement dans la période pluviale et tempétueuse.

La construction des barrages pour l'électricité et l'irrigation (Figure 3.19) peut changer le régime d'écoulement dans les rivières, causer des changements à l'aval. À présent, il y a au moins 7 réservoirs qui ont une capacité plus de 1.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (Tableau 3.10) et un certain nombre plus petits. Le plus important est le Hoa My de 9,7 millions de mètres cubes (Nguyen Lap Dan *et al.*, 2004). Plusieurs autres sont en train d'être construits ou seront construits dont les plus importants sont le Ta Trach sur la rivière de Ta Trach (Rivière des Parfums) avec une capacité de 509.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, le Binh Dien sur la rivière de Huu Trach avec une capacité 470.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, le Huong Dien de 800.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> sur la rivière Bo. Ces réservoirs jouent un rôle important dans la régulation des crues.



Figure 3.19. Réservoir construit - Truoi à gauche et en construction - Huong Dien à droite

Photo : Mai Thanh Tan, 2005

Tableau 3.10. Les réservoirs les plus grands à Thua Thien Hué

STT	Réservoir	Endroit (District)	Capacité (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
1	Hoa My	Phong Dien	9,7
2	Phu Bai 2	Huong Thuy	7,8
3	Tho Son	Huong Tra	6,0
4	Chau Son	Huong Thuy	2,3
5	My Xuyen	Phong Dien	1,6
6	Niem	Phong Dien	1,0
7	Tram Thiem	Phong Dien	1,0

(Nguyen Lap Dan, 2004)

L'exploitation irrationnelle des minerais est aussi une cause intensifiant les risques. En montagne, elle détruit les forêts, provoque des glissements de terrain ou des crues comme mentionnés ci-dessus. Le déboisement des dunes sableuses de la plaine côtière pour l'exploitation d'ilménites déstabilise les dunes, remanie les sables et engendre la désertification (Figure 3.20). De plus, la déforestation de filao (*Casuarina equisetifolia*), les arbres typiques sur des dunes sableuses au Vietnam, diminue le rôle des dunes dans la protection du littoral contre les vents et les tempêtes. L'exploitation des minerais, des matériaux de construction le long des bords de la mer et des rivières (graviers, sable) peut être la cause de l'érosion.



**Figure 3.20. Exploitation de l'ilménite dans les dunes côtières (gauche) et des sables et des graviers le long de la Rivière des Parfums (droite)**

(Photo : Mai T. T., 2005 et 2007)

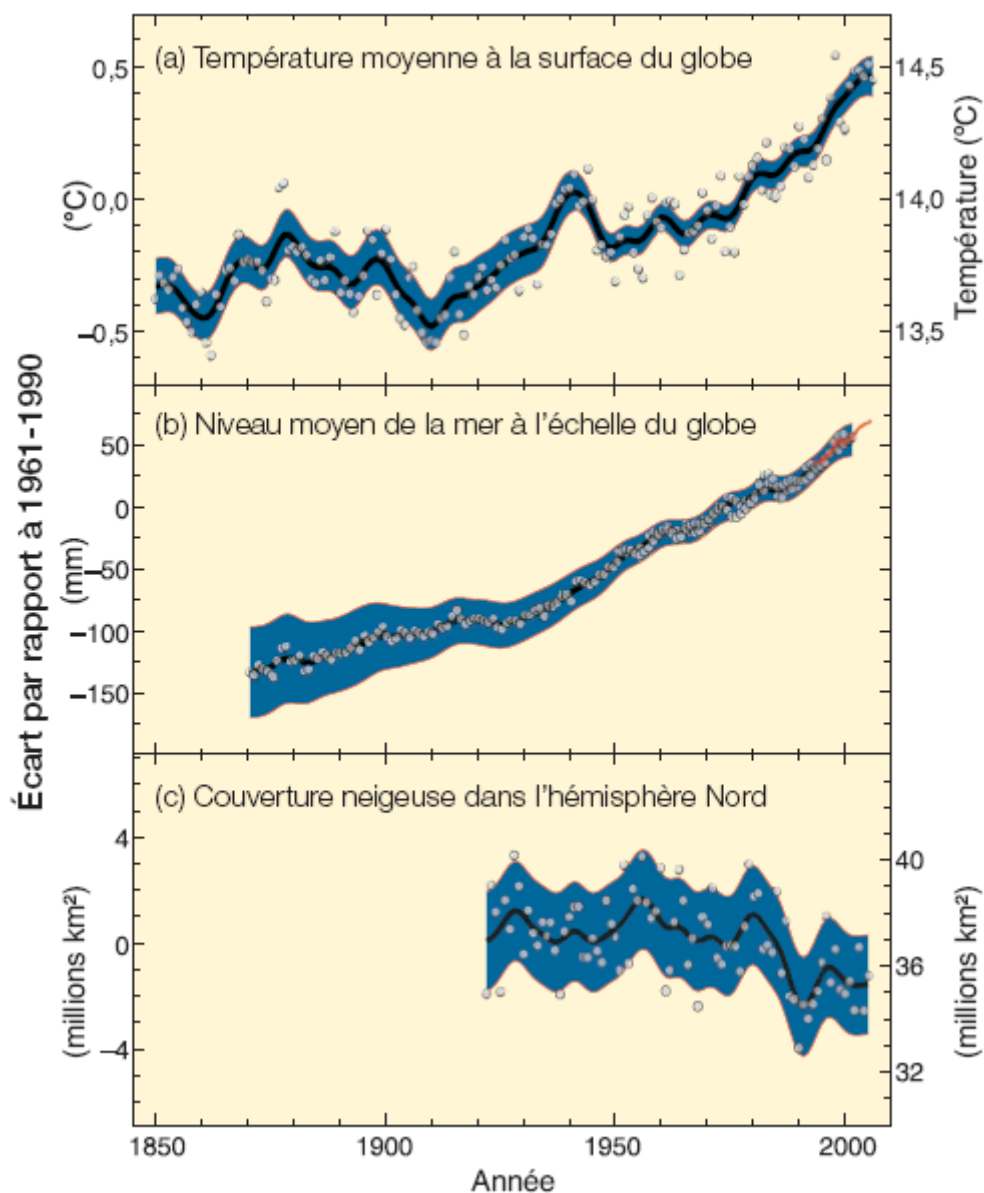
Une des influences anthropiques sur la zone côtière, à l'échelle mondiale, est les activités économiques irrationnelles qui engendrent une augmentation dans l'atmosphère de la concentration de plusieurs gaz à effet de serre dont le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote, au cours siècle dernier. Le rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat en 2007 (GIEC), en analysant une série de données depuis 1850, date à laquelle ont débuté les relevés instrumentaux de la température à la surface du globe, a confirmé une tendance linéaire de  $0,74 \pm 0,18$  °C du réchauffement entre 1906 et 2005. Entre 1956 et 2005, la tendance linéaire ( $0,13 \pm 0,3$  °C tous les 10 ans sur un demi-siècle) est près de deux fois plus importante que celle constatée sur un siècle, entre 1906 et 2005 (Figure 3.21 a).

Le réchauffement climatique entraîne la fonte de portions de banquise, le recul des glaciers de montagne, l'augmentation de l'intensité des cyclones, des typhons, la modification de l'aire de répartition de différentes espèces animales et végétales, la réchauffement des océans et l'élévation du niveau de la mer. En se basant sur les données obtenues à l'aide de marégraphes et de satellites, GIEC estime que le niveau moyen de la mer s'est élevé de  $1,8 \pm 0,3$  mm/an en moyenne entre 1961 et 2003, et d'environ  $3,1 \pm 0,7$  mm/an en moyenne entre 1993 et 2003 (Figure 3.21. b). On estime que, depuis 1993, l'élévation du niveau de la mer est imputable pour 57% environ à la dilation thermique des océans, pour 28% environ à la fonte des glaciers (Figure 3.21 c) et pour le reste, à la rétraction des nappes glaciaires polaires.

Au Vietnam, les séries de données de 10 à 50 ans aux stations de marégraphe présentent aussi une tendance à l'augmentation. À Hon Dau, la station de référence au nord du Vietnam, la mer s'est élevée avec une vitesse de  $1,5 - 2$  mm/an au cours de 30 dernières années (Nguyen Ngoc Thuy *et al.*, 1993). La montée de la mer va non seulement inonder les basses terres dans la zone côtière mais aussi provoquer l'érosion de la côte.

Le réchauffement climatique pourrait intensifier les cyclones, contribuer à de forts changements du littoral. Les observations révèlent une augmentation de l'activité cyclonique

tropicale intense dans l'Atlantique depuis 1970 environ. En effet, dans les années plus récentes, le monde subit des tempêtes très violentes.



**Figure 3.21. Variations observées a) de la température moyenne à la surface du globe, b) du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe selon les données recueillies par les marégraphes (en bleu) et les satellites (en rouge), et c) de la couverture neigeuse dans l'hémisphère nord en mars-avril.**

(Rapport du Changement climatique 2007 – GIEC)

### 3.3. METHODOLOGIE

L'érosion et l'accumulation côtières, en effet, est un processus d'évolution de la côte sous l'influence de divers facteurs. La géomorphologie est une approche appropriée pour l'étudier. En région côtière, l'évolution de la côte dans le passé, notamment durant le Quaternaire est marquée et se note sur toutes les latitudes. Toute la plaine de Thua Thien – Hué est le produit de sédimentation sous les conditions de subsidence relative d'origine tectonique locale en combinaison avec le changement du niveau marin global durant le Quaternaire. Cette évolution du niveau marin y est marquée sous forme de dépôts marins, de paléolignes de rivage, de cordons littoraux, de terrasses marines aux différentes altitudes. Les méthodes géologiques, géomorphologiques nous permettent de déterminer ces objets, leur âge et leurs conditions de formation et de développement et de reconstituer l'évolution dans le

Quaternaire. Cette évolution à l'échelle millénaire est une base robuste pour évaluer une évolution contemporaine sur une durée de centaines ou dizaines d'années.

Aujourd'hui, grâce au progrès scientifique, la télédétection devient un outil très efficace dans l'étude de l'évolution contemporaine de la côte. Cela est basé sur l'analyse d'une série de données (cartes, photos aériennes, images satellitaires) de différentes dates et à l'aide de logiciels de SIG.

### 3.3.1. Les données

Outre les cartes topographiques, des photos aériennes et images satellitaires datées de 1952 à 2004, ont été analysées :

- photos aériennes de 1952 (IGN France)
- photos satellitaires Corona du 20/3/1969 (Satellite espion américain)
- images du radar ERS1 du 15/4/1996 et ERS2 du 16/4/1996
- photos aériennes de 1999 (Vietnam)
- images Radarsat de 9/1999 et de 11/1999 (Canada)
- carte topographique à l'échelle de 1:50.000, publiée en 2001 (Vietnam)
- image Landsat 7 EMT de 2/6/2001, 13/7/2001 et 17/10/2001 (USA)
- image Spot 2 du 8/12/2004 (Europe)
- image Spot 4 du 23/12/2004 (Europe)

Ces données sont utilisées pour identifier le terrain, tracer la côte, analyser la morphodynamique, réaliser les compositions colorées et les fusions d'images. De plus, les images de Radarsat 9/1999 et 11/1999 (Canada) ont été utilisées pour analyser l'inondation de 1999. Toutes les données ont été obtenues grâce à la coopération entre le Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection de l'Université de Liège et l'Institut des Sciences géologiques de l'Académie des Sciences et Technologie du Vietnam dans le cadre des accords bilatéraux entre le Vietnam et la Région Wallonne. Les données SPOT ont été acquises dans le cadre d'un projet OASIS de l'Union Européenne par le Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection de l'Université de Liège.

Les photos aériennes de 1952 ont été prises par les Français pendant la guerre d'Indochine. Ces données, à présent, sont disponibles auprès de l'Institut Géographique National de France (IGN). Ces photos sont à l'échelle de 1 :50.000.

Les photos satellitaires de Corona de 1969 sont les premières prises par le satellite américain de reconnaissance, déclassifiées depuis 1995. Les photos ont été prises le 20/3/1969 par le satellite Corona de type KH-4A d'une précision de 2,7m.

**Tableau 3.11. Paramètres des photos satellitaires de Corona KH-4A**

Type de camera	panchromatique
Distance focale	60 cm
Résolution à la terre (approximativement)	2,7 m
Altitude de vol	185,3 km
Echelle (sur le film)	1/305 000
Couverture (approximativement)	17x 232 km

Les photos aériennes vietnamiennes de 1999 ont été prises à partir des vols parallèles à la côte et réalisés pendant plusieurs jours discontinus en mars, avril, mai et juin 1999. Une caméra de type RC 30 avec une distance focale de 152,76 mm a été utilisée à partir d'une altitude de plus ou moins 5.500 m. Les photos sont de format 23 cm x 23 cm et l'échelle approximative est de 1 : 35.000.



Les images Spot utilisées proviennent de Spot 2 du 8/12/2004/ et de Spot 4 du 23/12/2004. Spot (Satellite Pour l'Observation de la Terre) a été pour la première fois mis en orbite à l'altitude de 822 km en 1986 par la France en collaboration avec la Belgique et la Suède. Spot 2 a été lancé le 22 janvier 1990 avec une résolution des images de l'instrument HRV (Haute Résolution Visible) comme suit :

- 10 mètres en panchromatique (HRV1) (canal couvrant le domaine visible du spectre électromagnétique : 0,50 - 0,73  $\mu\text{m}$ )
- 20 mètres en multispectral (HRV2)
  - Bande 1 : Vert (0,50 - 0,59  $\mu\text{m}$ )
  - Bande 2 : Rouge (0,61 - 0,68  $\mu\text{m}$ )
  - Bande 3 : Proche infrarouge (0,78 - 0,89  $\mu\text{m}$ )

Le Spot 4 on été lancé le 23 mars 1998 avec une résolution de l'instrument HRVIR (Haute Résolution Visible et Infra-Rouge) :

- 10 mètres en monospectral dans le canal rouge (0,61 - 0,68  $\mu\text{m}$ ), SPOT4 ne dispose pas d'un véritable panchromatique
- 20 mètres en multispectral
  - Bande 1 : Vert (0,50 - 0,59  $\mu\text{m}$ )
  - Bande 2 : Rouge (0,61 - 0,68  $\mu\text{m}$ )
  - Bande 3 : Infrarouge proche (0,78 - 0,89  $\mu\text{m}$ )
  - Bande 4 : Infrarouge moyen (MIR) (1,58 - 1,75  $\mu\text{m}$ )

Le satellite Landsat 7, équipé d'un senseur ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) a été lancé par les États Unis le 15 avril 1999. Son image couvre une superficie de 185 km x 172 km avec 7 bandes mutispectrales et une bande panchromatique :

- Bande 1 : Bleu – Vert (0.450 - 0.515  $\mu\text{m}$ )
- Bande 2 : Vert (0.525 - 0.605  $\mu\text{m}$ )
- Bande 3 : Rouge (0.630 - 0.690  $\mu\text{m}$ )
- Bande 4 : Infrarouge proche (0.775 - 0.900  $\mu\text{m}$ )
- Bande 5 : Infrarouge moyen (1.550 - 1.750  $\mu\text{m}$ )
- Bande 6 : Infrarouge thermique (10.40 - 12.50  $\mu\text{m}$ )
- Bande 7 : Infrarouge moyen (2.090 - 2.35  $\mu\text{m}$ )
- Bande 8 : Panchromatique (0.520 - 0.900  $\mu\text{m}$ )

L'image a une résolution de 15 mètres dans la bande panchromatique, de 60 mètres dans la bande infrarouge thermique et de 30 mètres dans les autres bandes.

Les cartes topographiques à l'échelle de 1 :50.000 sont publiées par le Département Général du Cadastre du Vietnam en 2001 mais les dernières mises à jour datent de 2000. Ces cartes sont dressées avec une projection vietnamienne, baptisée VN2000, n'ont jamais été publiées pour le moment, donc elles ne sont que utilisées que comme « images ».

### 3.3.2. Correction géométrique

Les données mentionnées ci-dessus sont enregistrées en formats différents donc il faut les transformer en un même système de coordonnées géographiques pour les analyser et les comparer. C'est la correction géométrique. Le système de coordonnées dans la projection UTM (zone 48) avec le système géodésique WGS 84 est choisi pour la géoréférence. Les images de Landsat 7 sont déjà enregistrées dans ce système donc on peut les utiliser comme images - maître pour corriger les autres. Ce travail est réalisé à l'aide des logiciels de SIG et de traitement d'images comme : Arcview, Erdas Imagine.

Les photos aériennes, les cartes topographiques, tout d'abord, sont scannées et puis elles sont géoréférencées en se basant sur les images déjà géoréférencées (Landsat 7). Le but de cette opération est de transformer les coordonnées dans l'image qui sera géoréférencée (image esclave) au système de coordonnées de la carte déjà géoréférencée (image maîtresse). La transformation demande de choisir des points de contrôle dans l'image esclave et ceux respectifs dans l'image maîtresse pour obtenir les coordonnées de ces points dans le système de coordonnées de la carte, et puis de définir une fonction de transformation. Les points de contrôle doivent être bien répartis dans la zone commune entre les deux images. Normalement, on utilise la fonction polynomiale avec un nombre minimal de points qui dépend du degré de transformation. Ce nombre est :

$$\frac{(t+1)(t+2)}{2}$$

où t est le degré de la transformation.

Suite à la détermination de fonction de transformation, le ré-échantillonnage est réalisé pour obtenir des images géoréférencées dans un nouveau système de coordonnées. Dans le logiciel Erdas Imagine, il y a 4 méthodes d'interpolation pour ce ré-échantillonnage : voisinage plus proche, interpolation bilinéaire, convolution cubique, interpolation spline cubique.

Après le géoréférencement, les photos aériennes de même date, peuvent être mosaïquées pour avoir une image couvrant une région plus large qui est favorable pour analyser et comparer aux images satellitaires.

### 3.3.3. La fusion

La fusion est une technique nouvelle en télédétection. Fusionner les images de senseurs et de résolutions différentes est un moyen efficace pour exploiter les informations complémentaires de différents types d'image. Dans la fusion, l'image panchromatique de haute résolution est combinée avec la multispectrale mais de moindre résolution, créant ainsi un produit qui a, d'une part, la résolution spatiale d'une image panchromatique et, d'autre part, les caractéristiques d'une image multispectrale. Les caractéristiques spectrales sont utiles pour identifier les objets tels que : plantation, maison, route, digue, terre, eau, etc. Dans la fusion, les techniques couramment utilisées sont : la transformation par Intensité – Tonalité – Saturation (IHS - Intensity, Hué, Saturation en anglais), l'analyse de la composante principale (PCA), le filtre passe-haut (HPF) et la transformation d'ondelettes (wavelet). Basé sur le principe de fusion, on distingue deux types (Chaver *et al.* 1991 ; Ranchin, 1993) :

1. le premier qui considère toutes les bandes pendant la fusion (les techniques IHS et PCA)
2. le deuxième qui traite indépendamment chaque bande comme les techniques HPF et ondelettes

La fusion la plus simple contient des opérations arithmétiques à savoir l'addition et la multiplication. Ces opérations peuvent être utilisées pour fusionner avec un degré très variable. Par exemple, en intégrant une image SPOT panchromatique avec une scène TM, on peut choisir une pondération de 50% pour chaque image ou pondérer l'image SPOT de façon plus importante par une valeur de 70%, etc. Plus compliquée, la technique « Color Normalized Algorithm » combine les données comme SPOT panchromatique et LANDSAT TM pour produire une image avec des caractéristiques spatiales distinctes données par le TM, et une résolution rehaussée par le Panchromatique de SPOT. La Color Normalized Algorithm sépare l'espace spectral en composants de Tonalité (Hué) et de Clarté (brightness). La transformation multiplie chacune des trois bandes multispectrales avec une image panchromatique de plus haute résolution et puis chaque produit est normalisé en divisant par la somme des trois bandes multispectrales.

La méthode IHS est simple mais nous donne un résultat efficace. À partir de trois paramètres Rouge, Vert et Bleu d'images multispectrales, on peut transférer en IHS pour caractériser l'image donnée. La transformation d'IHS peut être appliquée pour analyser les trois bandes multispectrales mais le meilleur résultat est obtenu si les données sont bien corrélées. Par exemple, les bandes 3, 2 et 1 de TM peuvent être fusionnées avec l'image SPOT panchromatique. En remplaçant l'intensité dans les images multispectrales par l'image panchromatique de plus haute résolution, on obtient les nouvelles valeurs IHS caractérisant une image multispectrale nouvelle. En transférant l'IHS au RGB, on aura une image nouvelle conservant le spectre mais avec une résolution spatiale aussi haute que l'image panchromatique (Guyenne, 1988, Carper, 1990).

Une autre procédure pouvant être utilisée avant la fusion, est l'amélioration des deux images à fusionner. Le filtrage passe-haut consiste en trois pas essentiels :

- réaliser le filtrage passe-haut sur l'image panchromatique de haute résolution pour en extraire l'information spatiale,
- réaliser le filtrage passe-bas sur l'image multispectrale pour en extraire les informations, et
- calculer la somme pondérée des résultats filtrés pour créer une nouvelle image de produit (Chaver *et al.* 1991).

La transformation d'ondelettes est réalisée de différentes manières (Ranchin, 1993, Yocky, 1996, Zhou *et al.* 1998, Rakotoniaina *et al.* 1999). Généralement, on fusionne les images SPOT panchromatique et multispectrales afin d'obtenir des images ayant une différence de résolution spatiale de 2 :1 (Chaver *et al.*, 1991, Ranchin, 1993, Zhou *et al.*, 1998, Rakotoniaina *et al.*, 1999).

Pour la région de Thua Thien Hué, la fusion entre la photo aérienne d'avril 1999 et l'image multispectrale Landsat du 2/6/2001 a été réalisée. Ce procédé est très efficace en région urbaine. Les photos aériennes de haute résolution reflètent bien les conformations des objets sur la terre qui quelques fois nous permettent de les identifier tel que : route, bâtiment, cours d'eau, etc. Néanmoins, vu le manque de caractère multispectral, il est difficile de distinguer les objets tels que la végétation, le sol nu, eau, etc. L'image Landsat peut résoudre ce problème mais la conformation n'est pas bien déterminée à cause de la faible résolution. L'image de fusion des deux images mentionnées ci-dessus peut faciliter l'interprétation des objets sur la terre. Grâce aux apports de la haute résolution de la photo aérienne et au multispectre de l'image Landsat, la fusion nous permet de les identifier. Dans la citadelle de Hué (Figure 3.22), on peut bien reconnaître les routes, les lacs, les bâtiments, les jardins, les arbres, la végétation, le sol nu, etc. même les petits objets comme les bateaux dans la Rivière des Parfums qui passe la ville de Hué (Figure 3.23). Alors, la fusion est une bonne technique pour identifier les objets sur la terre, cartographier l'occupation du sol, la forêt, etc. Il fournit un bon résultat si les objets ne changent pas beaucoup. Pour ce cas, le résultat de la fusion est encore limité à cause de l'écart de 2 ans entre les photos aériennes (1999) et l'image Landsat (2001). Dans cette fusion, la région à l'intérieur des terres est mieux représentée que celle du littoral qui est fortement changée. La fusion entre la photo aérienne de 1999 et l'image Landsat de 2001 a aussi été essayée sur la région côtière à proximité de la passe de Thuan An (Figure 3.24) et celle de Tu Hien (Figure 3.25). Mais malheureusement, cela paraît moins efficace. En novembre 1999, une crue historique a déplacé ces deux passes. À cause de ces forts changements, la fusion reflète une situation intermédiaire des deux images composantes.

La fusion augmente certaines informations utiles mais elle perd aussi quelques informations. Elle est très efficace pour une région stable ou lorsqu'un temps court sépare les deux images fusionnées. Pour les régions qui connaissent de forts changements, il faut apporter d'autres méthodes pour les analyser.



Figure 3.22. La citadelle de Hué : photo aérienne 1999 (gauche), Landsat ETM 2001 (centre), fusion (droit)

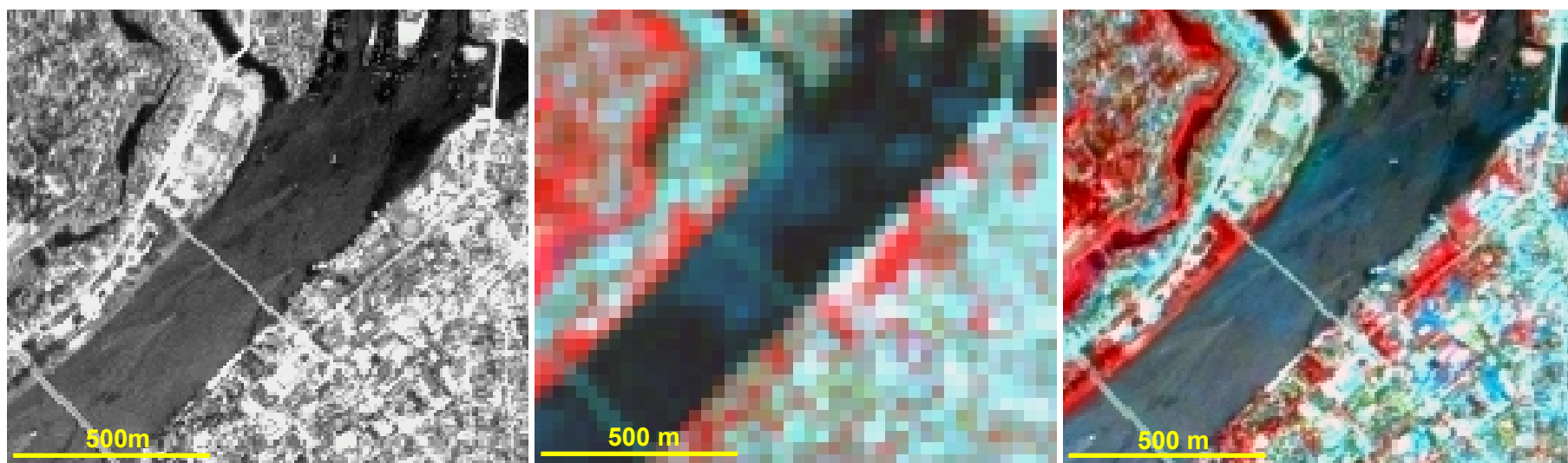


Figure 3.23. Rivière des Parfums, photo aérienne 1999 (à gauche), image Landsat ETM 2001 (au centre), fusion (à droite)



Figure 3.24. Passe de Thuan An : photo aérienne 1999 (à gauche), image Landsat ETM 2001 (au centre), fusion (à droite)

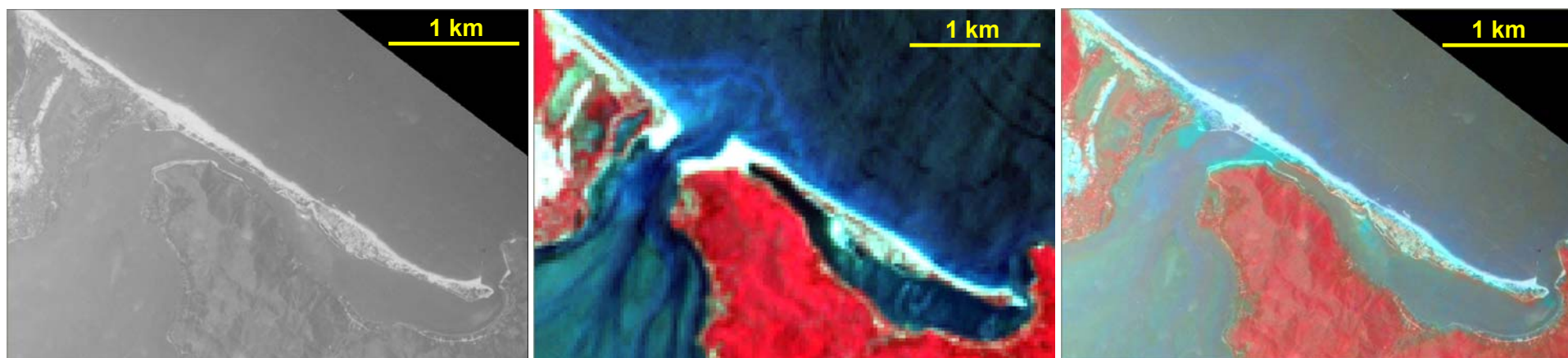


Figure 3.25. Passe de Tu Hien : photo aérienne 1999 (à gauche), image Landsat ETM 2001 (au centre), fusion (à droite)

### 3.3.4. Composition colorée

La composition colorée est une méthode très efficace pour analyser une région ayant subi des mutations. Dans cette méthode, on assigne à chaque image un canal coloré : Rouge, Vert ou Bleu et puis on les compose. On peut utiliser deux ou trois images pour la composition.

La composition de deux images est réalisée en assignant la première en canal rouge et la deuxième en canal vert. Dans l'image composée, le rouge appartient à la première image (la plus ancienne) et le vert à la deuxième, et leur combinaison nous permet de déduire le changement de la région. Prenons un exemple de la région de Hué (Figure 3.26), la composition est obtenue en utilisant la photo aérienne de 1952 en canal rouge et la photo aérienne de 1999 en canal vert. Dans cette composition, il est difficile de trouver l'information sur la région de l'intérieur des terres mais au contraire, en région côtière, il est facile de distinguer les aires érodées en rouge, accumulées en vert et stables en jaune pendant la période comprise entre deux prises de vue (1952 - 1999).

La composition colorée est aussi une bonne technique pour analyser les inondations (Figure 3.11). Généralement, cette technique est efficace pour les régions de fort changement donc elle est utile pour étudier les risques naturels comme : érosion, inondation, glissement de terrain, etc.

### 3.3.5. Détermination du trait de côte

La côte est perçue comme la limite entre la terre et l'eau. Cette ligne ne cesse de changer à cause des conditions naturelles. Elle est très variable dans les régions de pente faible et de forte amplitude de marée. La côte présentée sur la carte topographique est le niveau d'eau moyen de plusieurs années. Pour le Vietnam, c'est la moyenne du niveau moyen de marée de plusieurs années enregistré à la station de référence, Hon Dau.

Etudier l'évolution de la côte demande que les traces dans une série temporelle soient prises dans les conditions comparables : marée haute, marée basse ou niveau moyen, etc. Les limites entre la terre et l'eau peuvent être bien identifiées sur les photos aériennes et les images satellitaires mais elles représentent seulement les lignes de côte instantanées aux moments des prises de vue, donc il est difficile de les comparer. Mais en télédétection, on peut utiliser d'autres traces pour modéliser l'évolution côtière. Les lignes de référence les plus utilisables sont : ligne de rivage, niveau de la marée, ligne de végétation, niveau de hautes eaux, niveau moyen de hautes eaux, crête de falaise, dunes, plage estran, terre/eau (Robin, 2002).

Pour le cas de Thua Thien Hué, la ligne délimitant la terre et l'eau et la limite de végétation sont utilisées pour analyser le changement du trait de côte. La limite de végétation peut être utilisée comme ligne de référence. Elle est assez stable, bien identifiée sur les photos aériennes et sur les images satellitaires, et influencée seulement par les ondes de tempêtes. Cette ligne est utilisée pour quantifier l'érosion et l'accumulation de certains segments de côtes dans la région. Il est notable que les arbres y sont plantés pour lutter contre des vents donc la nature anthropique peut influencer la précision de l'analyse. De plus dans certains endroits, le sol est nu ou très peu couvert de végétation, cette ligne est impossible à délimiter. Dans ce cas, la limite terre/eau est utilisée. La mer à Thua Thien Hué est caractérisée par des marées de faible amplitude donc la limite terre/eau peut être acceptable aux endroits où la pente est raide.

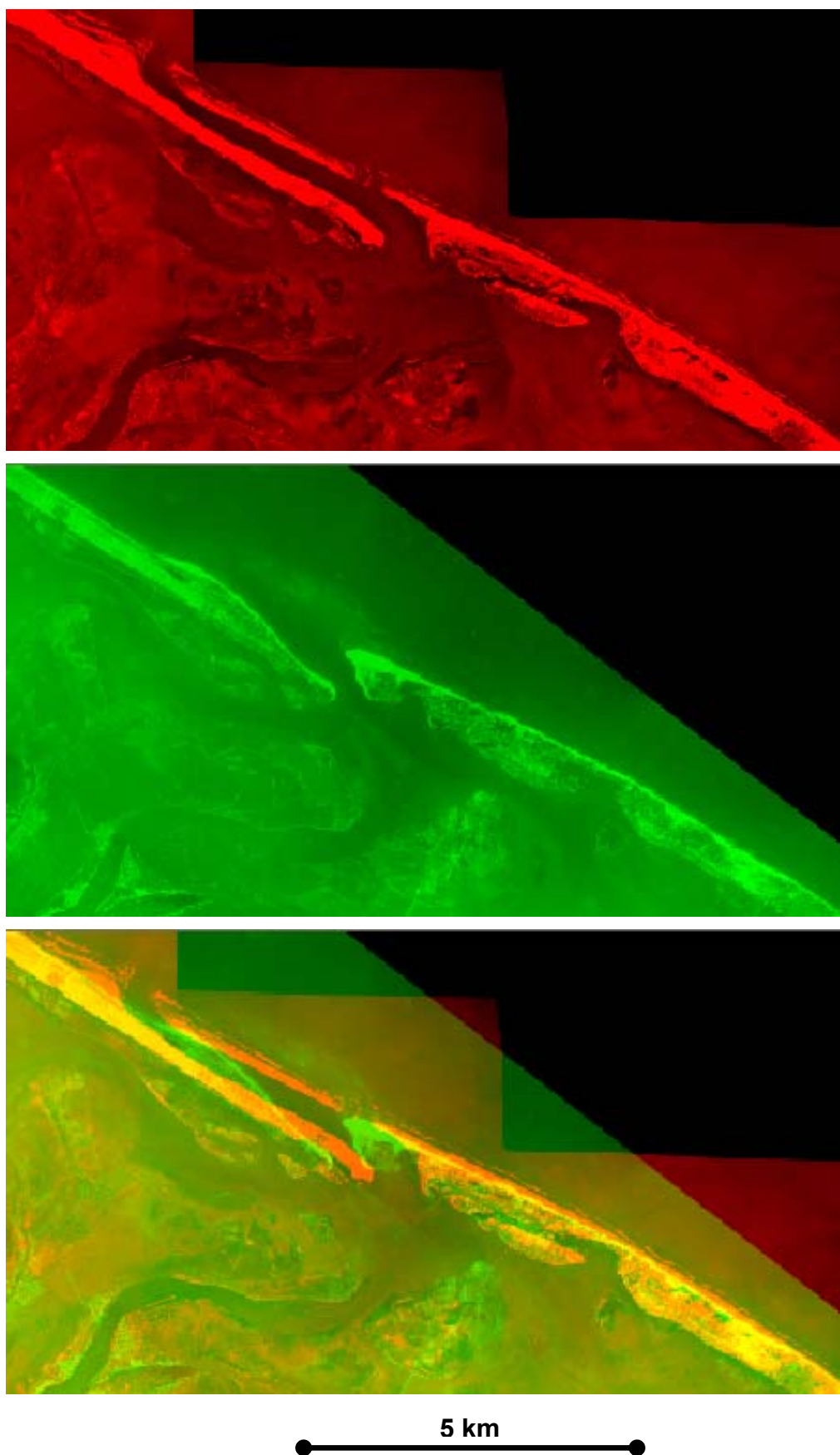


Figure 3.26. Photo aérienne de 1952 en rouge (en haut), Photo aérienne de 1999 en vert (au milieu) et la composition (en bas))

Sur les photos aériennes à haute résolution, il est facile de distinguer l'eau de la terre donc on peut tracer la côte directement. Pour les images satellitaires, dans le mode panchromatique à haute résolution, nous pouvons aussi la traiter comme les photos aériennes, mais cette interprétation est assez difficile, exigeant des expériences professionnelles ainsi que régionales. Il y a une autre solution plus facile avec l'aide des logiciels de traitement d'images, Erdas Imagine par exemple. Avec le logiciel, on peut extraire la bande infrarouge à partir d'une image multispectrale (Figure 3.27). Cette bande nous permet de distinguer l'eau avec une faible réflectance et la terre avec une forte réflectance. Il s'agit de choisir une valeur pour les séparer. Après ce choix, on peut créer une image binaire en assignant toutes les valeurs de réflectance supérieures à la valeur choisie à 1 et le reste à 0. La ligne séparant les régions 1 et 0 est la côte, qui est facilement digitalisée.

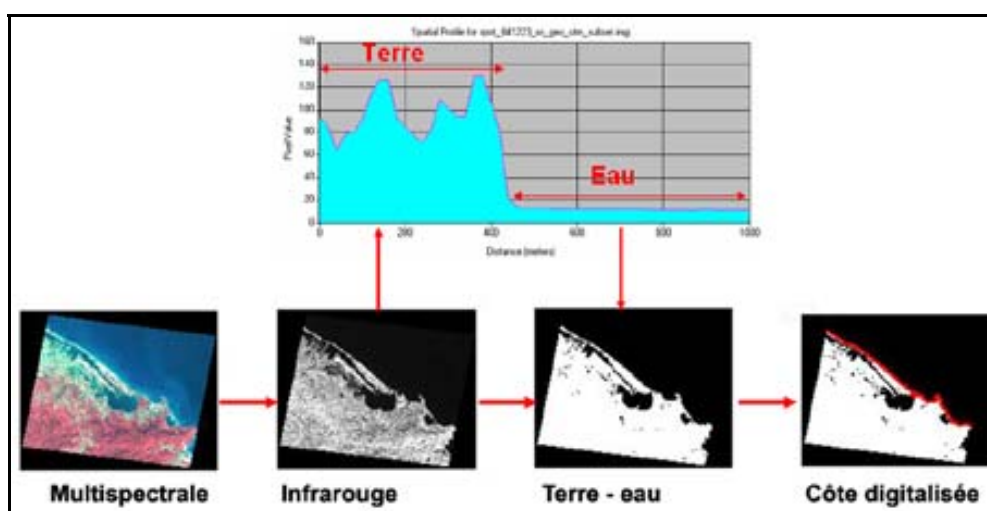


Figure 3.27. Repérage de la côte à partir d'une image multispectrale

### 3.4. EVOLUTION DE LA COTE PENDANT LE QUATERNAIRE

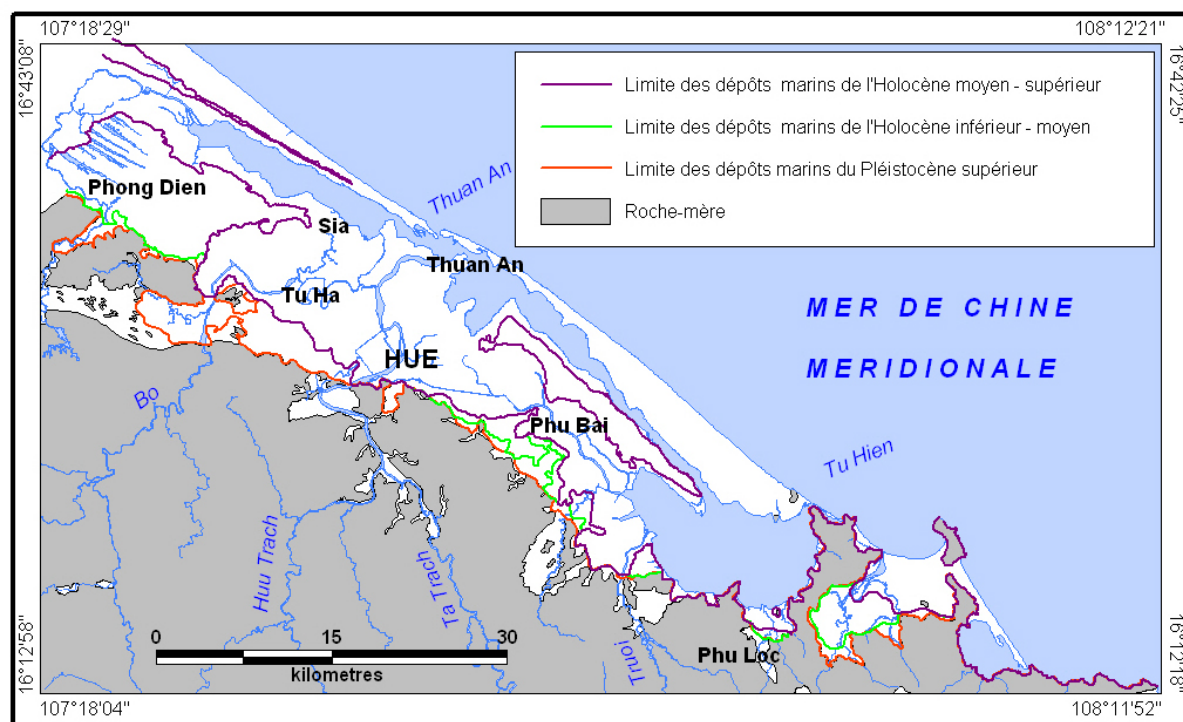
L'analyse de l'évolution côtière pendant le Quaternaire est basée sur les données géomorphologiques et géologiques. Les traces des littoraux les plus anciens datés du Pléistocène moyen sont trouvées aux altitudes de 40m à 60m et de 20m à 30m sous forme de terrasses marines d'abrasion (Nguyen Dich Dy., 1996 ; Dang Van Bao, 1997).

La plate-forme de 40-60 m se trouve à l'ouest de Hué sur des collines avec des sommets plats ou légèrement inclinés. Des galets bien émoussés sont trouvés sur sa surface, çà et là. Les roches en dessous : grès, argiles et granites sont fortement altérées présentant une couche d'altération du type ferrallitique de 10m d'épaisseur.

La plate-forme de 20-30m se répartit largement en marge de la plaine, à l'ouest de Hué, Phu Bai et Phong Dien. Cette surface en forme de dômes doux se développe directement sur la roche mère qui est altérée avec une couche de ferrosialite de plus de 10m d'épaisseur. Plusieurs galets bien émoussés y sont trouvés.

Les côtes du Pléistocène supérieur au présent sont délimitées par la répartition de dépôts marins et les dépôts liés à la mer (Figure 3.28). Trois lignes de rivage du Pléistocène supérieur, de l'Holocène inférieur – moyen et de l'Holocène moyen – supérieur sont respectivement trois limites de dépôts marins.





**Figure 3.28. Limites des dépôts marins du Quaternaire à Thua Thien Hué**

La côte du Pléistocène supérieur est la limite de dépôts marins de la formation de Phu Xuan. Ces dépôts affleurent à la marge de la plaine et passent sous la plaine à la profondeur de 21 – 66,5m. En affleurement, ils s'expriment par une terrasse marine d'accumulation composée de sable et de silts en couleur jaune foncée. Cette terrasse culmine de 8 – 15m d'altitude.

La côte de l'Holocène inférieur – moyen est la limite de dépôts marins de la formation de Phu Bai. Ces dépôts datent de la transgression flandrienne donc leur limite est considérée comme la limite de cette transgression. Les dépôts sont caractérisés par des sables quartzueux blanc à grain fin - moyen, bien triés, bien émoussés. Ils sont largement trouvés au nord et au sud de Hué sous forme d'une terrasse marine. La hauteur d'origine peut être de 4 à 6 m mais des sables sont empilés sous forme des dunes par le vent avec une hauteur de 10 à 13m.

La côte de l'Holocène moyen – supérieur est la limite des dépôts marins et des dépôts liés à la mer (marino-alluvial, marino-alluvio-lacustre) de la formation de Phu Vang. Ils se répartissent principalement au centre de la plaine et à la côte. La hauteur de base est de 2 à 3 m, mais les sables marins sont empilés sous forme de dunes de dizaines de mètres de hauteur.

À partir des traces géomorphologiques, l'évolution de la côte dans la région peut être retracée comme suit :

Au Pléistocène moyen, la région a subi deux transgressions, la plaine a été submergée totalement pendant ces périodes. Les transgressions sont marquées par des plates-formes aux altitudes de 40 – 60m et de 20 – 30m.

Par la suite, la mer a reculé de la région et les dépôts de la formation de Quang Dien se sont formés. La présence des dépôts fluvio-marins dans les forages montre que la mer n'était pas loin de la région.

Au Pléistocène supérieur, la mer a transgressé dans toute la plaine. La côte était à l'altitude de 10 – 15 m. Les dépôts de la formation de Phu Xuan datent de cet épisode.

Le retrait de la mer après cette transgression est peut être contemporain du maximum de la dernière glaciation. La plaine était exhumée et a subi la dénudation.

La transgression post-glaciaire de l'Holocène inférieur - moyen, dite transgression flandrienne, a submergé toute la plaine une fois de plus. La mer est montée jusqu'à l'altitude de 4 – 6m. Les dépôts de la formation de Phu Bai se sont formés à ce moment.

À l'Holocène moyen – supérieur, la côte se trouvait à l'altitude de 2 – 3m avant son déplacement vers la position actuelle.

D'une façon générale, l'évolution côtière de la région pendant le Quaternaire a été influencée par les variations glacio-eustatiques qui sont liées aux conditions climatiques globales et par la tectonique locale.

### 3.5. EVOLUTION DE LA COTE

La côte de la province de Thua Thien - Hué est longue de 120 km de Dien Huong (contiguë à la province de Quang Tri au nord) à Mui Cua (contiguë à la ville de Da Nang au sud). La plupart de cette côte est composée de sable et le reste de granite. Dans ce travail, nous nous concentrons sur la côte sableuse qui est moins stable que la côte rocheuse granitique. Pour faciliter l'étude, la côte est divisée en 6 segments (Figure 3.29) :

- Dien Huong - Thuan An
- Passage de Thuan An
- Thuan An - Tu Hien
- Passage de Tu Hien
- Baie de Chan May
- Lang Co

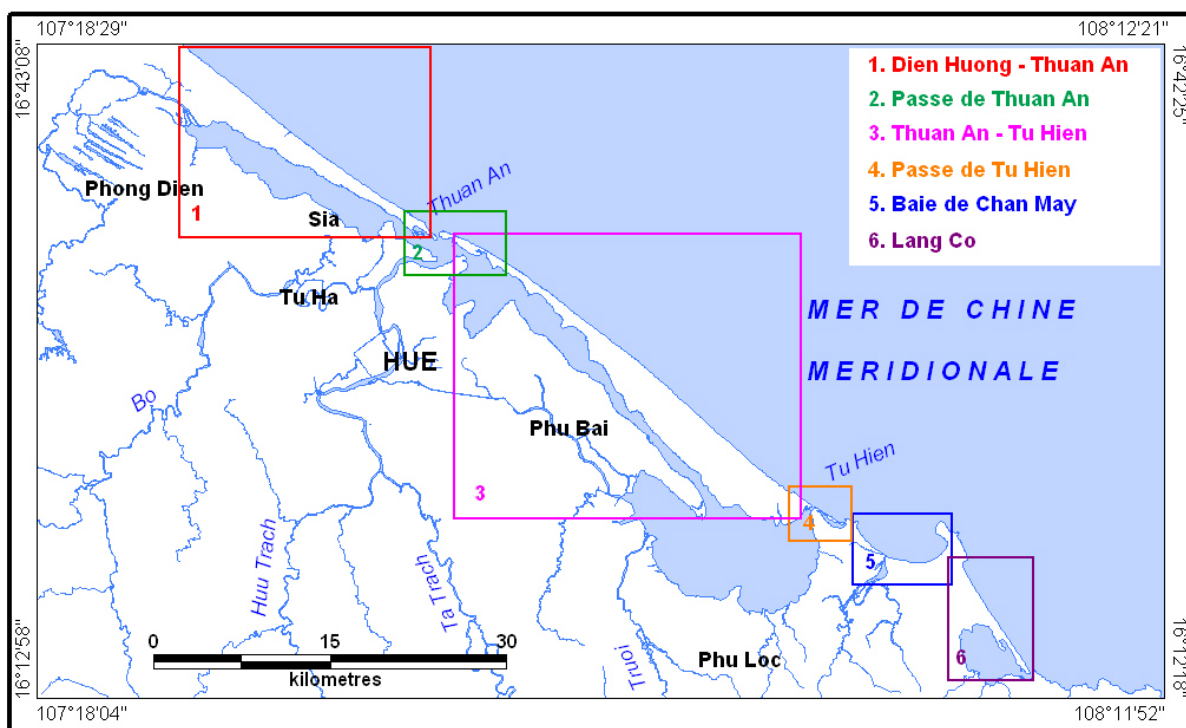


Figure 3.29. Plan de l'étude

### 3.5.1. La côte de Dien Huong à Thuan An

La côte de Dien Huong à Thuan An (commune de Hai Duong) se prolonge de 30km en direction NO-SE (Figure 3.30). Généralement, elle n'a pas beaucoup changé pendant la période de 1952 à 2004.

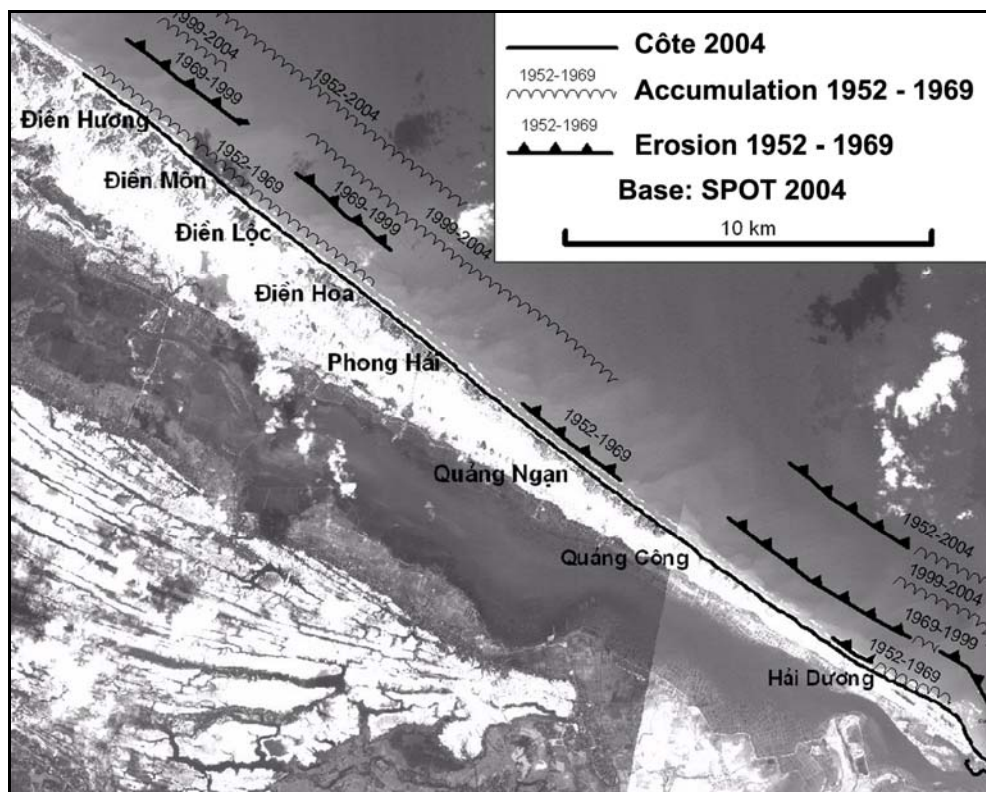


Figure 3.30. La côte de Dien Huong à Thuan An, de 1952 à 2004

De 1952 à 1969, l'accumulation est observée de Dien Huong à Dien Hoa, la plus forte se trouve à Dien Huong avec une largeur de 180m. La superficie accumulée est estimée à 95 ha environ avec une largeur moyenne de 105m ; donc la vitesse d'accumulation était de 6m/an. À Quang Ngan, la côte sur une distance de 3,5 km s'est érodée pour une valeur de 19ha de superficie avec une vitesse moyenne de recul de 3,2 m/an. La limite entre l'érosion et l'accumulation est localisée à Hai Duong.

De 1969 à 1999, l'érosion a dominé sur les segments: Dien Huong - Dien Mon de 3,8 km, Dien Loc - Dien Hoa de 4 km, Quang Cong - Hai Duong de 7,5 km avec une superficie érodée totale de 106ha et une vitesse moyenne de recul de 2-3 m/an.

De 1999 à 2004, l'accumulation s'est passée sur presque tout le segment avec une vitesse de 10 - 15 m/an, la plus forte se trouve à Hai Duong avec une valeur de 26 m/an. Néanmoins, quelques endroits sont érodés, le plus typique est à Quang Cong.

Récemment, au début de cette année, à cause de la dépression tropicale en combinaison avec une marée de vive-eau au village de Tan Loc (Quang Cong), la côte a été érodée sur une distance de 200 m et sur une largeur de 20 m. Ce village est composé de 118 foyers dont 17 en danger qui ont été évacués. Selon le chef du village, la côte a été érodée en moyenne de 1-2 m/jour, et jusqu'à 4m les 27 et 28/1/2007 (website de la Direction chargée d'Inondation, Tempête et Sauvetage de Thua Thien Hué). À présent les autorités du district de Quang Dien, à qui la commune appartient, ont fait construire un nouveau quartier pour les évacués.

Les traces de cet événement ont été encore bien observées lors de notre travail sur le terrain en juillet 2007. Il s'agit d'une falaise de 4 mètres de haut, d'une centaine de mètres de long

recoupant une ancienne dune de 30 m de haut et très peuplée (Figure 3.31). A la base de la dune, il y a des maisons abandonnées. Selon les habitants, il y avait 15 foyers à l'emplacement de la présente plage devant la dune, ils ont été évacués à cause de l'érosion. Aussi, selon eux, la côte d'il y a 20 ans était 15 - 20m plus loin de la présente donc la vitesse d'érosion est d'1m/an environ. Mais il faut noter que, comme cet endroit est très peuplé, l'érosion peut créer plus de dommages.



**Figure 3.31. L'érosion au village de Tan Loc, commune de Quang Cong**

### **3.5.2. La passe de Thuan An.**

Thuan An est une des deux passes importantes qui relie la lagune de Tam Giang - Cau Hai et la mer. Dans les documents historiques, ce passage s'est ouvert en 1404 lors d'une grande inondation (Tran Duc Thanh, 1997). Dans le passé, il a changé, s'est fermé et a été ouvert plusieurs fois.

De 1868 à 1883, il existait une flèche provenant du nord-ouest, séparant la lagune et la mer (Figure 3.32). La passe entre la lagune et la mer baptisé Cua Cu ( ou Cua Eo) se trouvait à la position à Hoa Duan. En 1889, cette flèche a déjà été rompue en créant une nouvelle passe, dite Cua Sut, à la position de la passe actuelle de Thuan An. Par la suite, l'îlot séparant ces deux passes s'est accru vers Cua Sut et il a été relié à la terre en fermant complètement ce passage en 1903. Dans l'année qui suivit, la passe de Thuan An (Cua Sut) a été ré-ouverte en même temps que la fermeture de celle de Cua Eo à Hoa Duan. En 1951, la passe de Thuan An a été barrée par une flèche développée du sud-est vers le nord-ouest. Le courant de lagune devait longer 4 km de cette barre vers le nord-ouest avant d'atteindre la mer.

En 1952, cette barre a été isolée de la terre en devenant un îlot parallèle à la côte avec une dimension de 20 ha de surface, 2,7 km de long (Figure 3.33, Figure 3.34). Alors un nouveau passage se trouvait à la coupure. Cette apparition peut être engendrée par une catastrophe naturelle (une crue). Une forte dynamique de la lagune a percé la barre pour évacuer des eaux de crue.

De 1952 à 1969, le nouveau passage s'est déplacé vers le NO, créant une accumulation de 48 ha du côté SE et aussi une érosion de 28,5 ha de l'autre côté (NO de la passe) (Figure 3.34). L'îlot n'existe plus, il est érodé et emporté entraînant l'accumulation vers le continent. La terre en face de cet îlot a gagné une superficie de 60ha sur une distance de 3,3km, la largeur a atteint 180m en moyenne et 300 m au maximum.

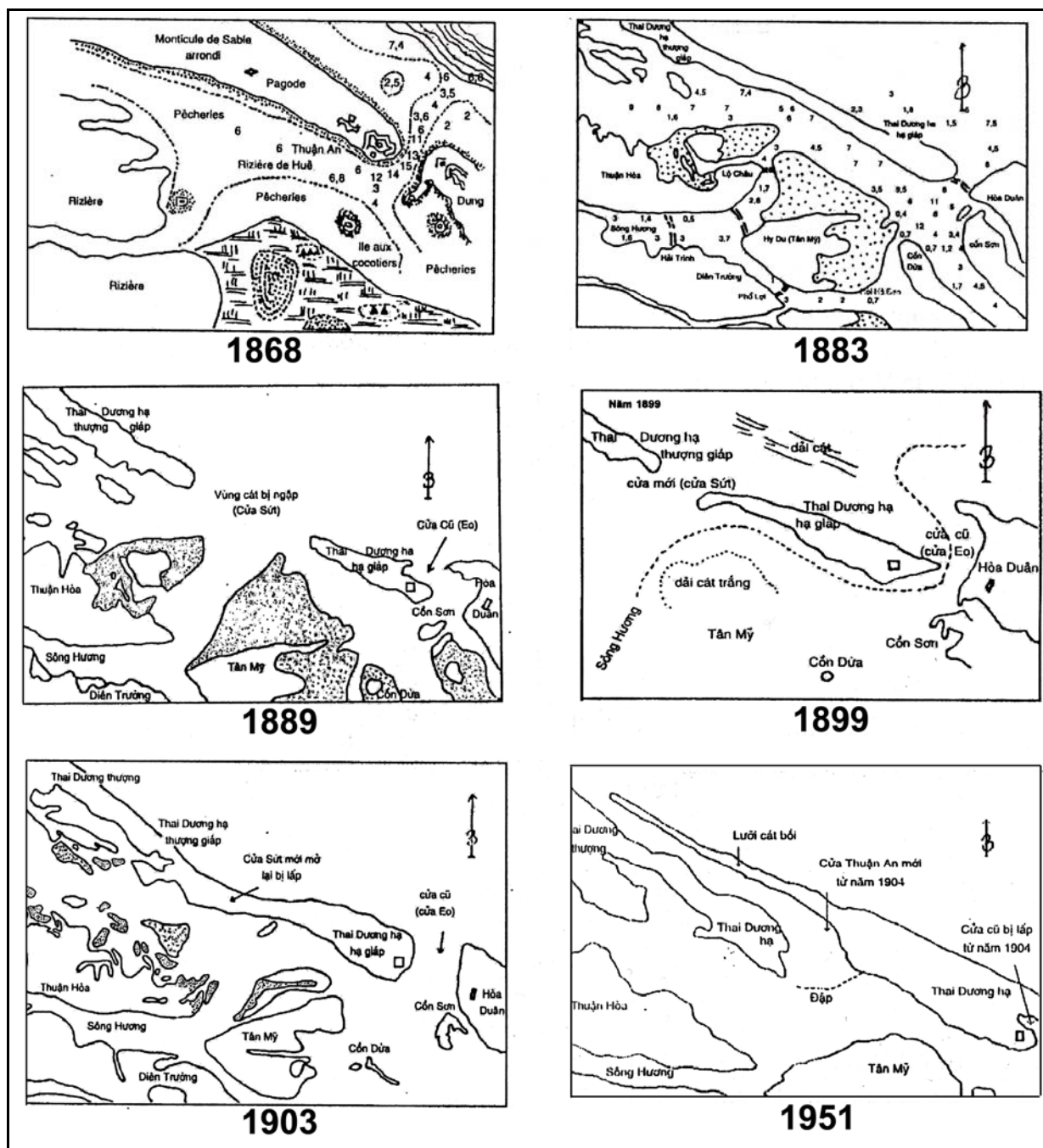


Figure 3.32. Évolution de la passe de Thuan An de 1868 à 1951

(Tran Huu Tuyen, 2003)

De 1969 à 1999, l'érosion semble dominante dans la passe, spécialement du côté NO (Figure 3.35). Ce côté a perdu une superficie de 33,7 ha, sur une distance de 2,5km. La largeur érodée est de 140m en moyenne et 225m au maximum.

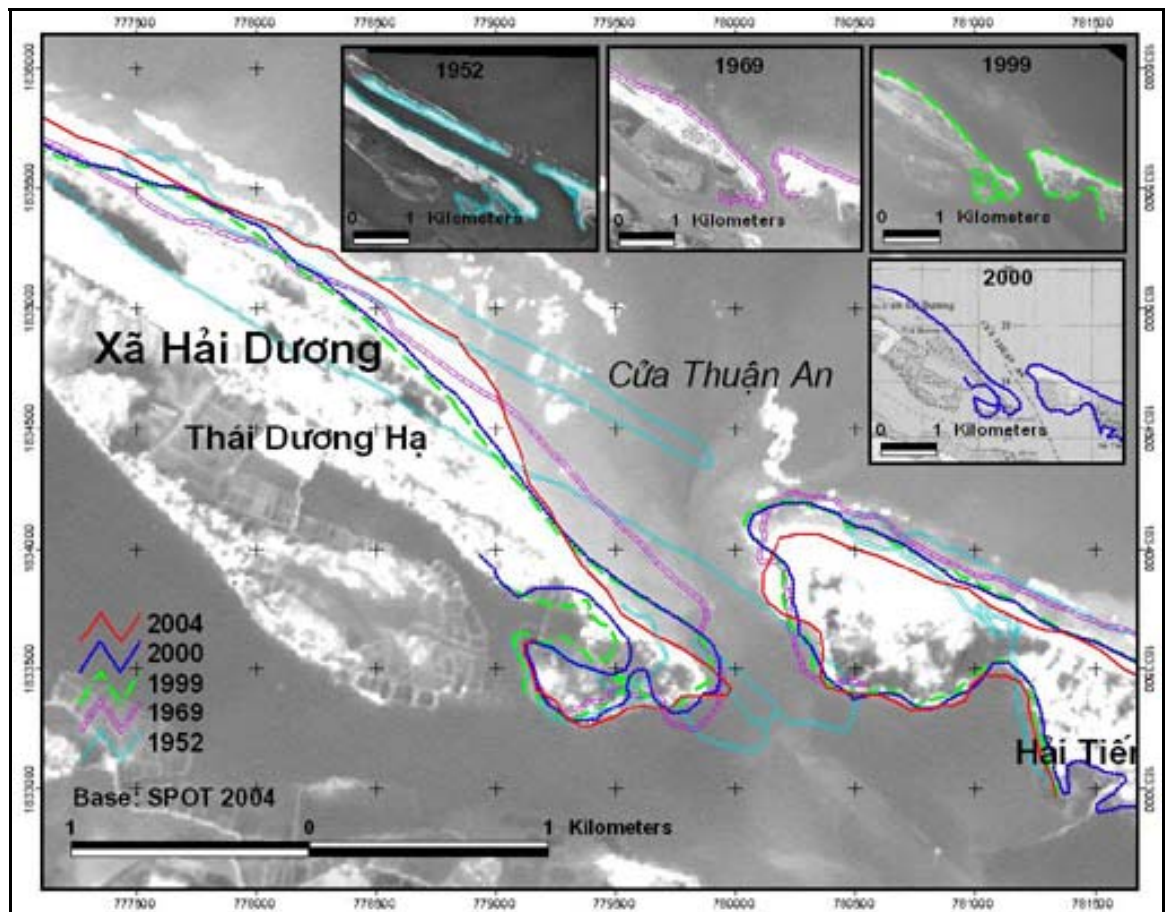


Figure 3.33. L'évolution de la côte à Thuan An de 1952 à 2004

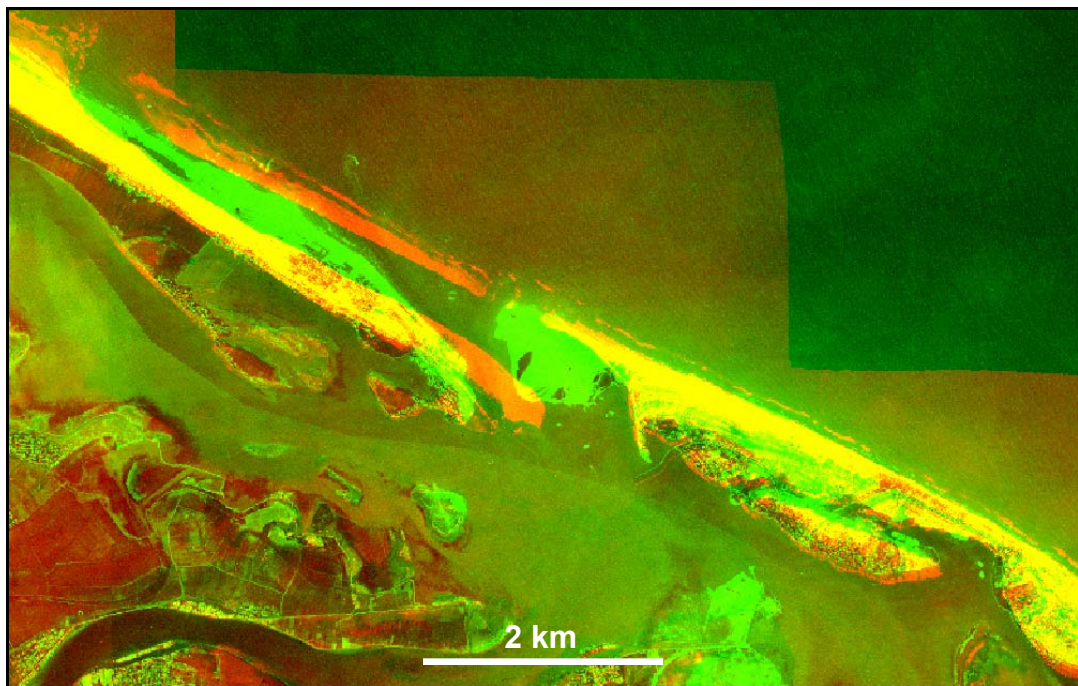
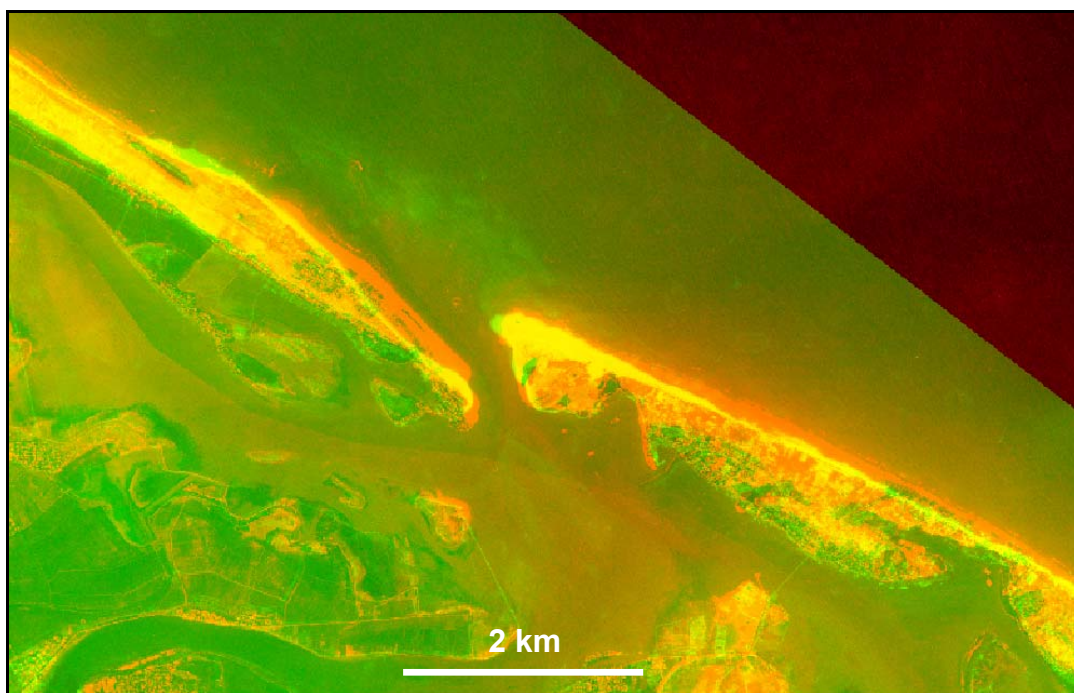


Figure 3.34. Composition colorée de la photo aérienne de 1952 en canal rouge et Corona 1969 en canal vert  
(à la côte, le rouge est l'aire érodée et le vert est l'aire accumulée)



**Figure 3.35. Composition colorée de Corona 1969 en canal rouge et photo aérienne 1999 en canal vert**

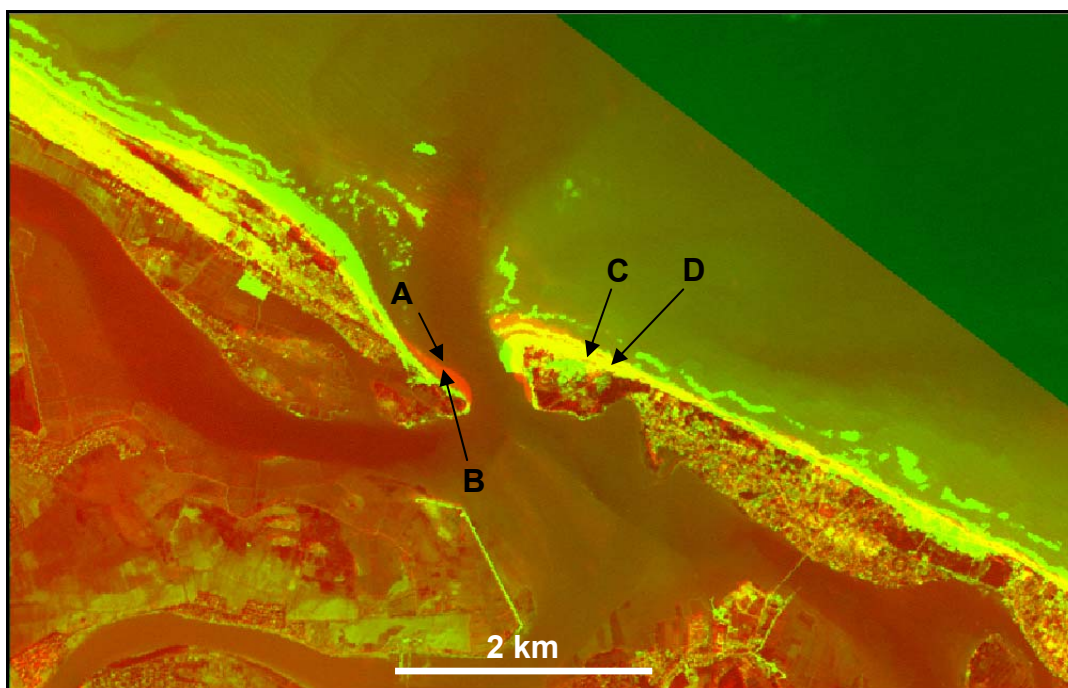
(à la côte, le rouge est l'aire érodée et le vert est l'aire accumulée)

En novembre 1999, il y a eu la crue la plus grande de l'histoire qui a modifié fortement la côte de Thua Thien Hué. En analysant la photo aérienne 4/1999 et la carte topographique 2000, on observe que le côté SE de la passe de Thuan An est érodé sur 1,6 ha au total et le NO a gagné 1,7 ha. Il est notable que la côte maritime, proche de la passe a été fortement érodée lors de cet événement. Sur la plage touristique de Thuan An, située à droite de la passe, la crue 1999 a détruit presque toutes les infrastructures : les maisons (Figure 3.36 C), bâtiments, hôtels, restaurants, etc. causant de graves dommages pour le tourisme et les habitants locaux. De l'autre côté de la passe, sur la commune de Hai Duong, des maisons sont aussi détruites, des foyers ont déménagé et la côte est érodée. La destruction de 1999 a encore été bien visible pendant plusieurs années. Lors du travail sur le terrain en 2005 et en 2007, nous avons encore observé des maisons et des bâtiments abandonnés et détruits (Figure 3.36 B et D).

De 1999 à 2004 (Figure 3.37), le côté SE de la passe est érodé et accumulé en intercalation alors que le côté opposé est principalement en érosion. Cette érosion est si forte qu'on doit construire un quai (Figure 3.36A) pour protéger la terre. La côte à droite de la passe est aussi en érosion. Récemment du 10 au 12/11/2007, cet endroit (le village Hai Tien - commune Thuan An) s'est érodé sur 15 - 20m de large et 300m de long (rapport de la Direction chargé des Inondations, Tempêtes et Sauvetage). Au contraire, la côte maritime à gauche de la passe est en train de s'engraisser.



**Figure 3.36. Erosion autour de la passe de Thuan An observée dans les travaux sur le terrain**  
*Photo Mai Thanh Tan, 2005 (A, B, D) ; Phan Dong Pha, 2000 (C), Positions de photos dans Figure 3.37*



**Figure 3.37. Composition colorée photo aérienne 1999 en canal rouge et Spot 2004 en canal vert**  
(à la côte, le rouge est l'aire érodée et le vert est l'aire accumulée)  
A, B, C, D : Photos dans Figure 3.36



### Hoa Duan, cordon rompu en novembre 1999

Hoa Duan dans le passé était la passe de la lagune Tam Giang - Cau Hai plusieurs fois, nommée passe de Cua Eo ou Cua Cu (Figure 3.32). De 1952 à 1969, la côte n'a pas changé beaucoup (Figure 3.38). De 1969 à 1999, elle s'est érodée sur une largeur de 80 - 100m, soit 3-4m/an en moyenne. En novembre 1999, la crue historique a rompu le cordon de la lagune à Hoa Duan. Le nouveau passage est bien marqué sur l'image Radarsat du 11/1999, et a été confirmé par le travail sur le terrain (Figure 3.39).

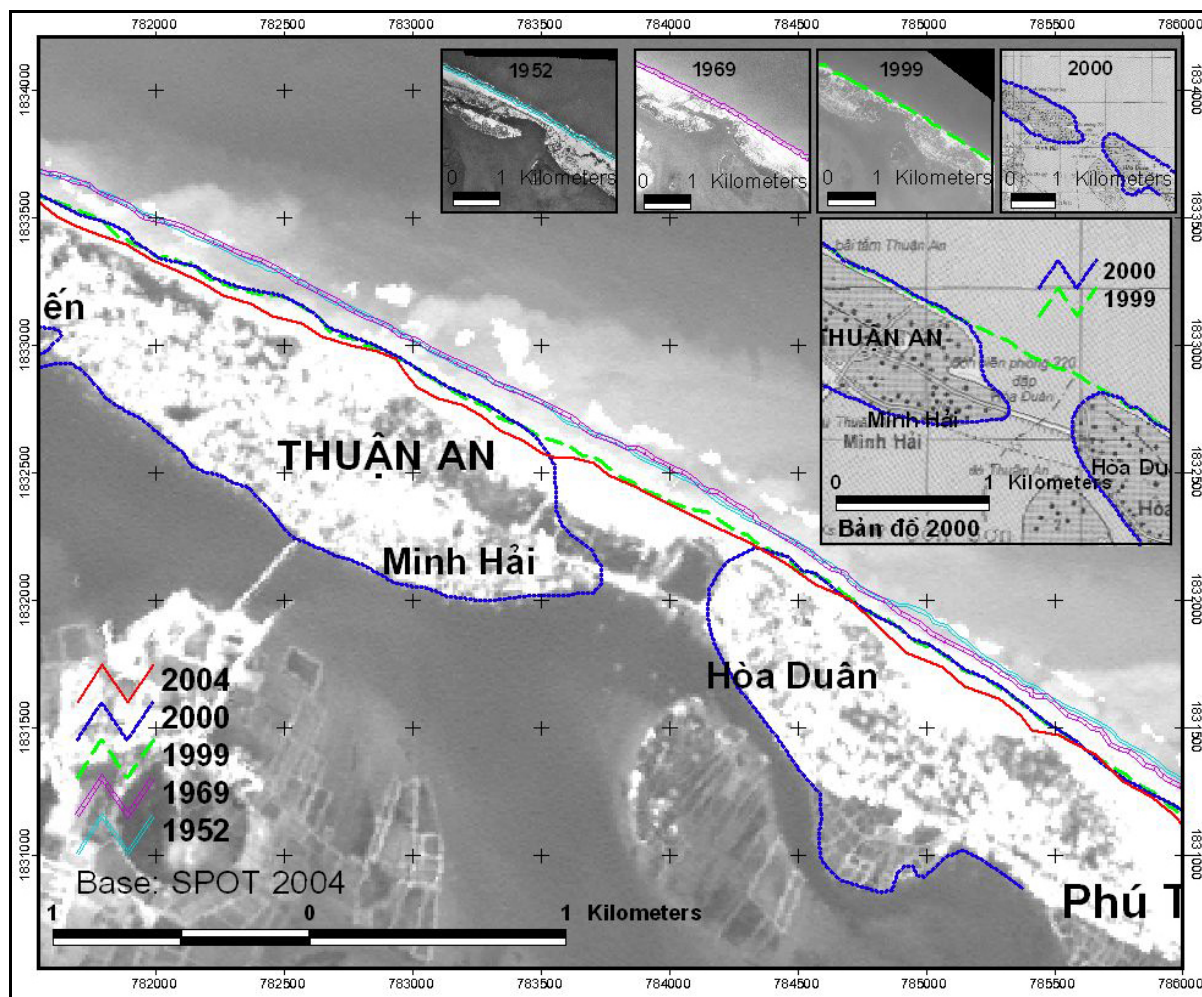
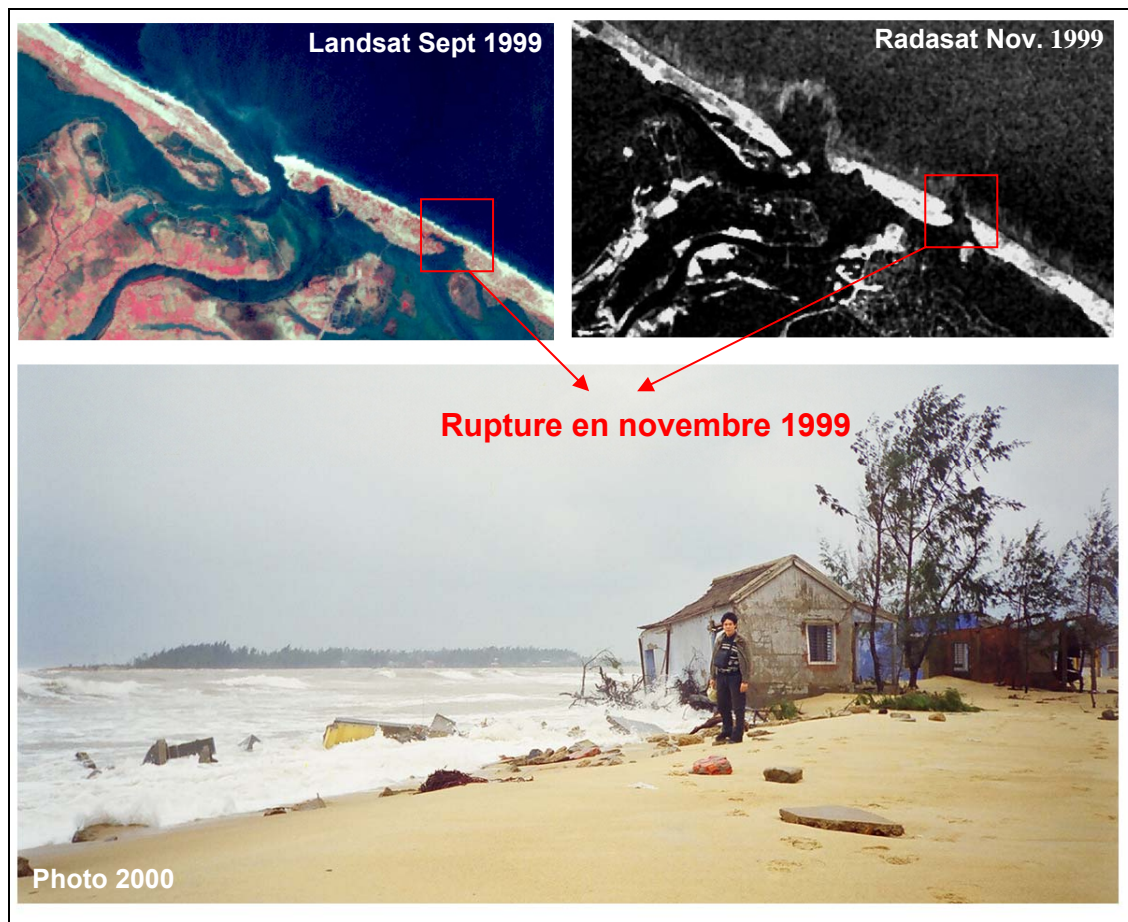


Figure 3.38. Evolution de la côte à Hoa Duan de 1952 à 2004

Après la crue, une digue a été construite en 2000 (Figure 3.40) et l'accumulation a commencé. Des arbres ont été plantés pour protéger le barrage. En 2004, la côte a atteint la position qu'elle avait en 1999. À présent, Hoa Duan est utilisé pour le développement touristique (Figure 3.41).



**Figure 3.39. Rupture de cordon en novembre 1999 à Hoa Duan**  
(Photo : Phan Dong Pha, 2000)



**Figure 3.40. Digues de Hoa Duan en 2000 (à gauche) et 2005 (à droite)**  
(Photo : Phan Dong Pha, 2000 ; Mai Thanh Tan, 2005)

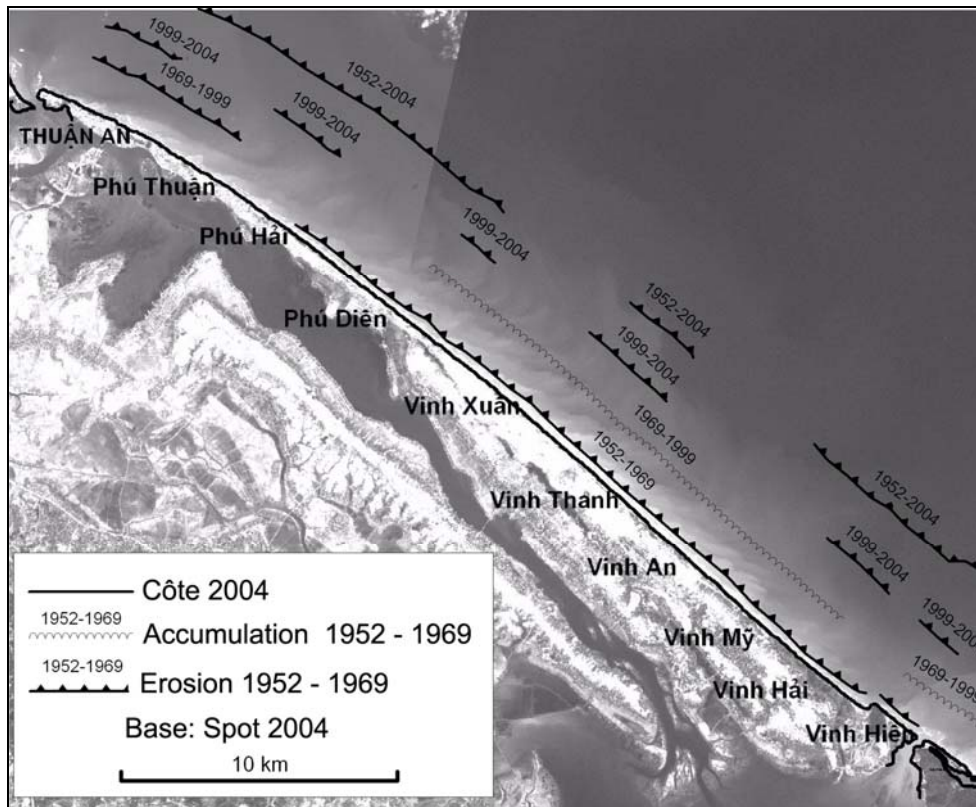


**Figure 3.41. Les activités touristiques devant la digue de Hoa Duan en 2007**  
(Photo : Mai Thanh Tan, 2007)

### 3.5.3. La côte de Thuan An à Tu Hien

La côte de Thuan An à Tu Hien se poursuit sur 40km en direction NO-SE (Figure 3.42). Son évolution est résumée comme suit :

De 1952 à 1969, l'érosion s'est passée de Phu Hai à Vinh Hien sur une distance de 30km avec une superficie perdue de 305,6 ha. La vitesse érosive est estimée à 6 m/an en moyenne.



**Figure 3.42. Erosion de la côte Thuan An - Tu Hien de 1952 à 2004**

De 1969 à 1999, la côte de 7,4km de Thuan An à Phu Thuan est érodée avec une superficie de 60,6 ha, une vitesse d'érosion de 2,7 m/an en moyenne. 24 km de la côte de Phu Diên à Vinh Hai qui était érodée autrefois, mais qui, à ce moment, présentait une accumulation avec une vitesse de 3,5 m/an.

De 1999 à 2004, toute la côte est en érosion. Quelques endroits typiques : Thuan An est érodé de 88 m soit 17 m/an ; Phu Thuan de 60 m, soit 12 m/an ; Phu Hai de 45m soit 9 m/an ; Phu Dien de 40m soit 8 m/an ; Vinh My de 60m soit 12 m/an ; Vinh Hien de 140 m soit 28 m/an.

En bref, de 1952 à 2004, la côte de Thuan An à Tu Hien est en érosion. L'érosion est plus forte aux deux extrémités, Thuan An et Tu Hien mais elle diminue vers le centre.

### 3.5.4. La passe de Tu Hien

La passe de Tu Hien se trouve à l'extrémité SE de la lagune Tam Giang - Cau Hai (Figure 3.43). C'est la plus ancienne passe de la lagune Tam Giang - Cau Hai. Dans le passé, elle était connue sous le nom Tu Dung (Tran Duc Thanh, 1997). En effet, Tu Hien est un système à deux passes : la Nord-Ouest et la Sud-Est. En 1952, ces deux passes étaient séparées par un îlot sableux.

De 1952 à 1969, toute la côte est érodée, spécialement du côté de Vinh Hien, la largeur d'érosion a atteint 150 - 160m (Figure 3.44). Les matériaux érodés sont accumulés à

l'intérieur des passes. À cause de cette accumulation, la passe NO est réduite et le SE est fermé, reliant l'îlot à la terre du côté de Loc Binh. En 1969, il existe un seul passage, le NO.

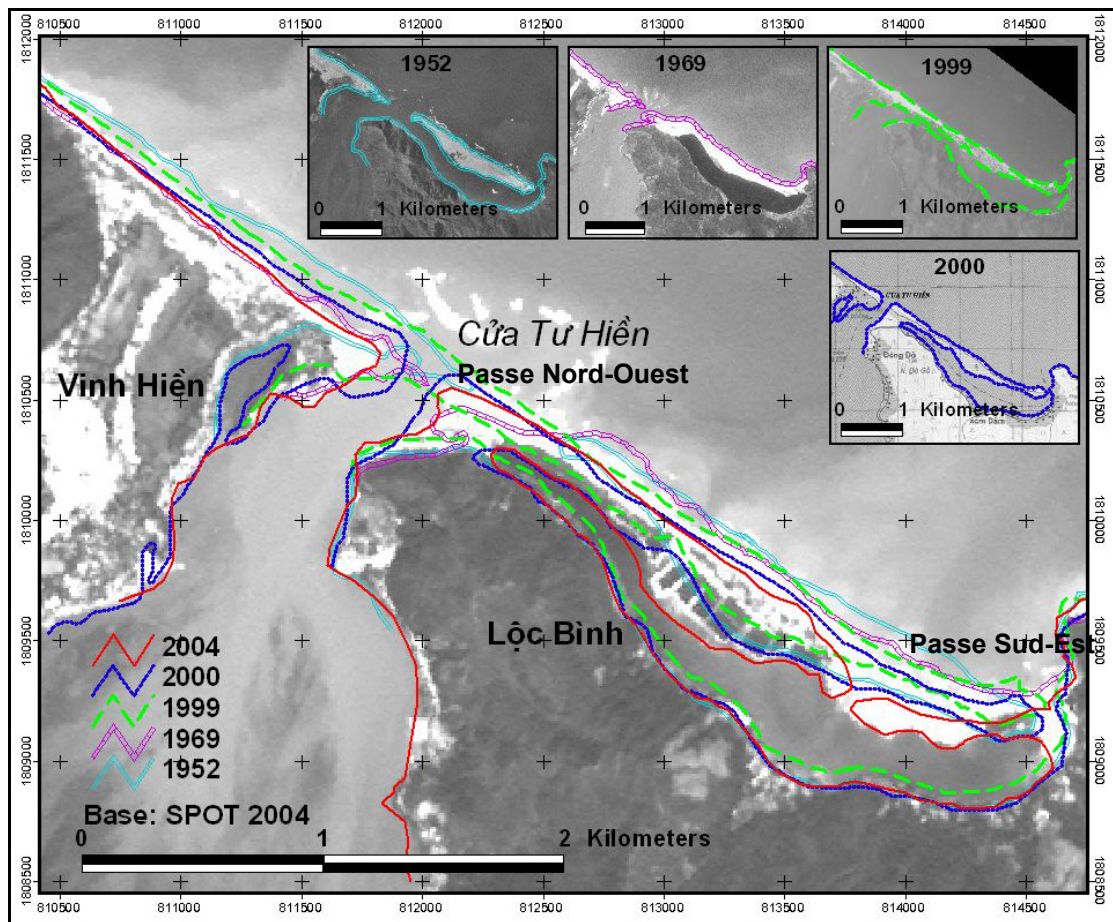


Figure 3.43. L'évolution de la passe de Tu Hien de 1952 à 2004

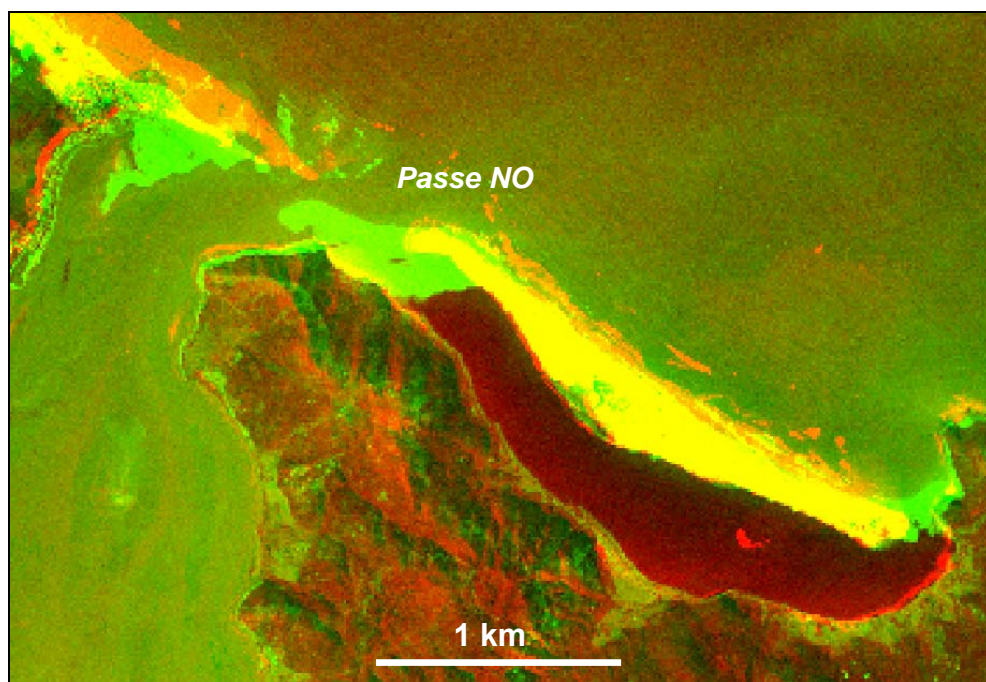
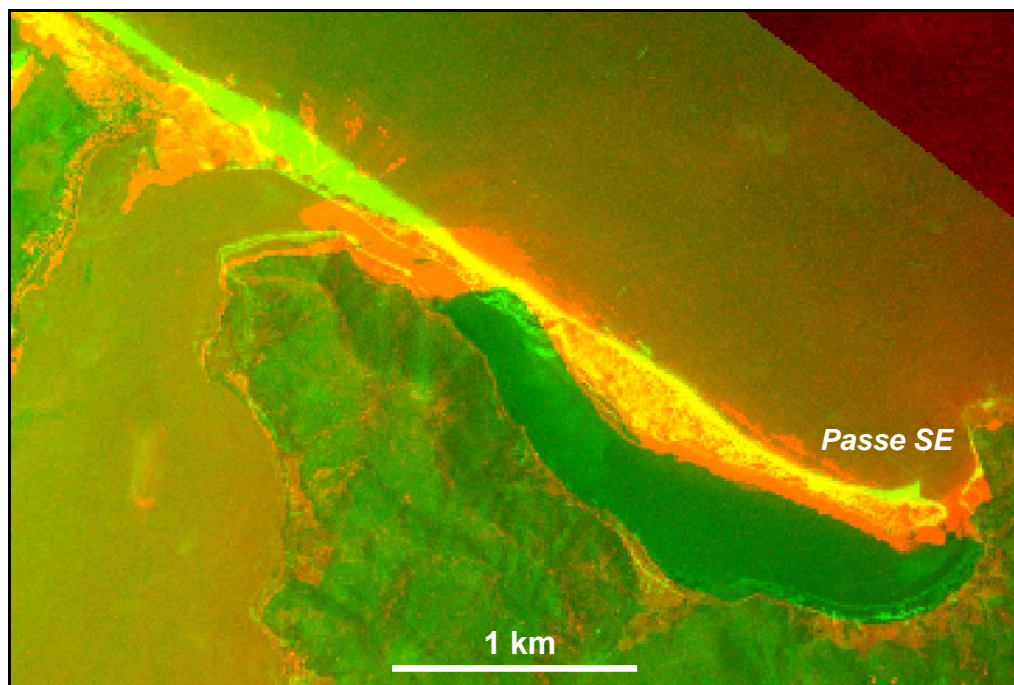


Figure 3.44. La passe de Tu Hien, Composition colorée de photos aériennes 1952 en canal rouge et Corona 1969 en canal vert (à la côte, le rouge est l'aire érodée et le vert est l'aire accumulée)

De 1969 - 1999, l'accumulation a été observée à la passe NO et sur la côte de Vinh Hien (Figure 3.43, Figure 3.45). Une aire d'accumulation s'est formée sur 120 - 160m de large, la passe NO a été fermée. En même temps, le SE est ouvert, la côte maritime de Loc Binh, juste à côté du passage NO est érodée sur une longueur de 750m et une largeur de 120m. Le chenal reliant les deux passes est réactivé. L'échange d'eau entre la lagune et la mer en ce moment-là se passe via ce chenal et la passe SE.

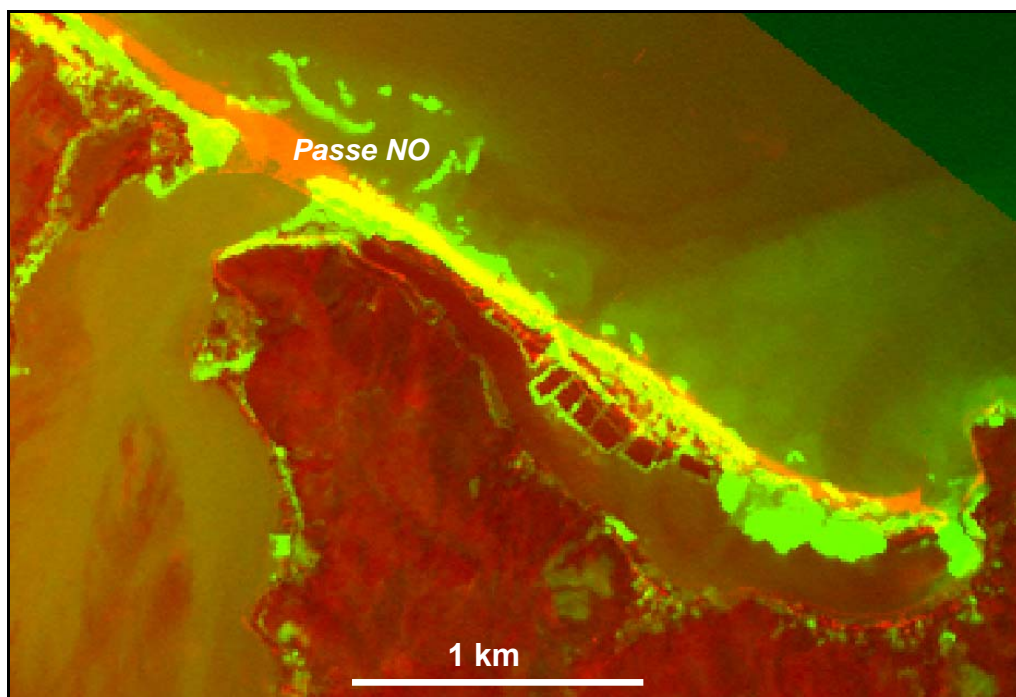


**Figure 3.45. La passe de Tu Hien, Composition colorée de Corona 1969 en canal rouge et photo aérienne 1999 en canal vert**

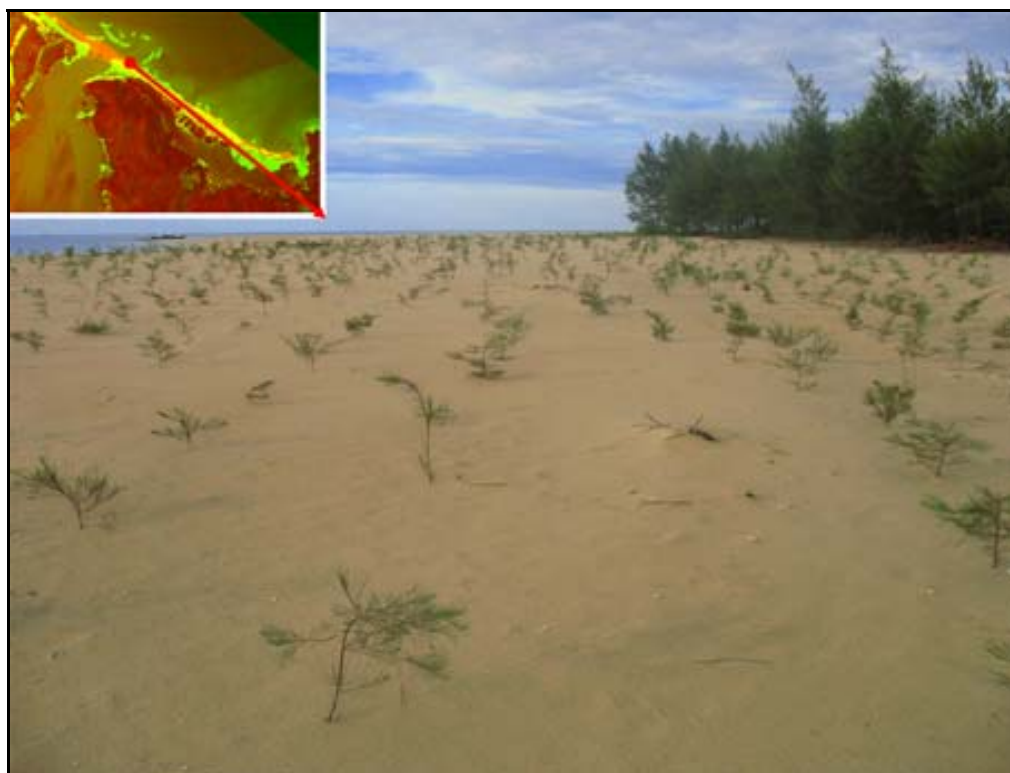
(à la côte, le rouge est l'aire érodée et le vert est l'aire accumulée)

La crue en novembre 1999 a ré-ouvert la passe NO et remblayé le bout de chenal reliant ces deux passes (Figure 3.43). Le chenal existait comme une petite lagune reliant à la mer via la passe SE.

De 1999 à 2004, la côte de Vinh Hien à côté de la passe NO est érodée alors que la côte de l'autre côté est accumulée (Figure 3.46). Cette accumulation a continué jusqu'à présent et elle est observée lors du travail sur le terrain en 2007 (Figure 3.47)



**Figure 3.46. La passe de Tu Hien, Composition colorée de photo aérienne 1999 en canal rouge et Spot 2004 en canal vert**  
(à la côte, le rouge est l'aire érodée et le vert est l'aire accumulée)



**Figure 3.47. Accumulation à la passe de Tu Hien en 2007**

### 3.5.5. La baie de Chan May

La baie de Chan May, face au nord, est protégée par deux caps de roches granitiques : le Chan May Tay à l'ouest et le Chan May Dong à l'est (Figure 3.48). Grâce à cette protection, la côte s'est engraisée avec une vitesse de 2,5 m/an pendant la période de 1952 à 1969, et de 1 m/an

pendant la période de 1969 - 2004 ou 1,4 m/an au total. À présent, la côte est utilisée pour le tourisme et une petite partie à Chan May Dong est utilisée pour le port de Chan May. Ce port a été mis en service en 2004, il est bien observé dans l'image Spot 2004 (Figure 3.49). Depuis là, la côte autour du port a vite changé de façon artificielle. Lors du travail sur le terrain en 2007, on a observé que la terre a été gagnée sur la mer par des remblayages pour un parc de conteneurs (Figure 3.49).

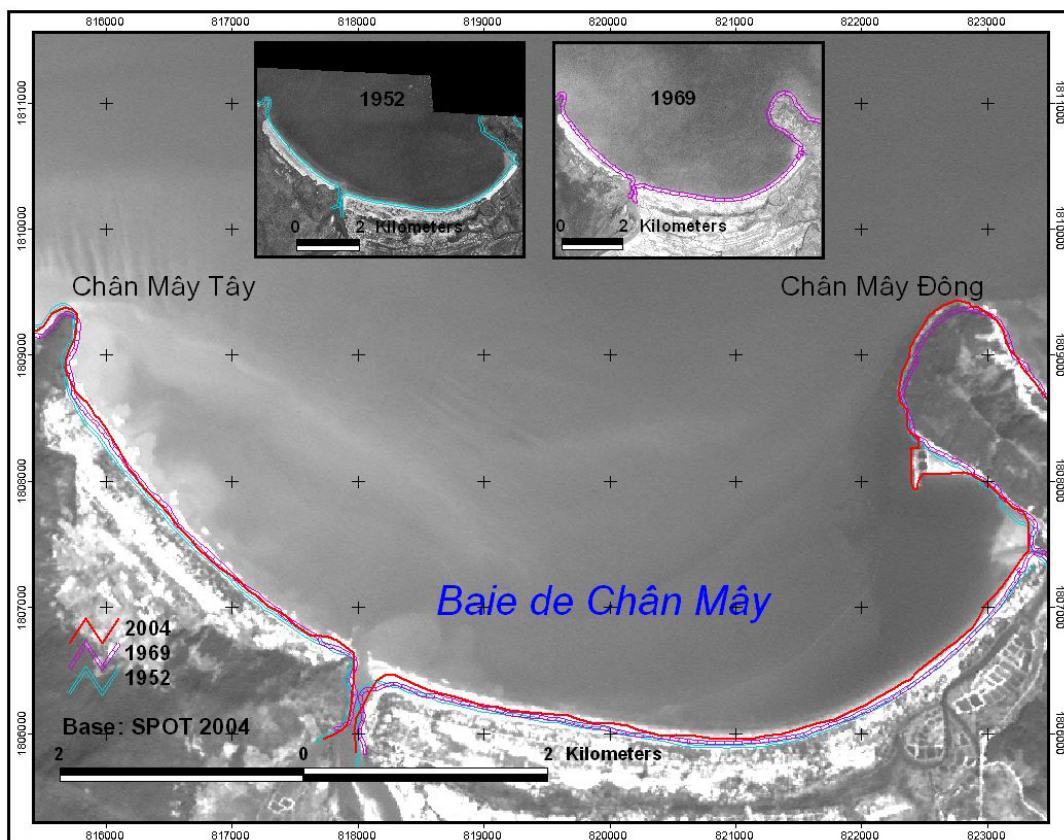


Figure 3.48. L'évolution de la côte de la baie de Chan May



Figure 3.49. Avancée artificielle de la côte

Dans le futur, la région sera une zone économique. Ça pourrait faire beaucoup de changement et la côte ne fait pas exception. Mais il est prévisible que, la tendance à l'accumulation (1,4 m/an) limite, à moyenne échéance, le tonnage des bateaux à l'accès du port en diminuant le tirant d'eau ce qui peut influencer son développement dans le futur.

### 3.5.6. La côte de Lang Co

La côte de Lang Co de 10km en direction NO-SE, est utilisée pour le développement touristique. Lang Co est une des plus belles plages au Vietnam. De 1952 à 2004, la côte n'a pas beaucoup changé

Basé sur les lignes de végétation de 1952 et de 2004, en mesurant 8 transects, Roth J. F. (2006) a donné une valeur d'érosion de 0,5 m/an pour le NO de Lang Co (Figure 3.50). De la même façon avec 9 transects, la côte du SE de Lang Co s'est engraisée avec une vitesse moyenne de 0,7 m/an (Figure 3.51).

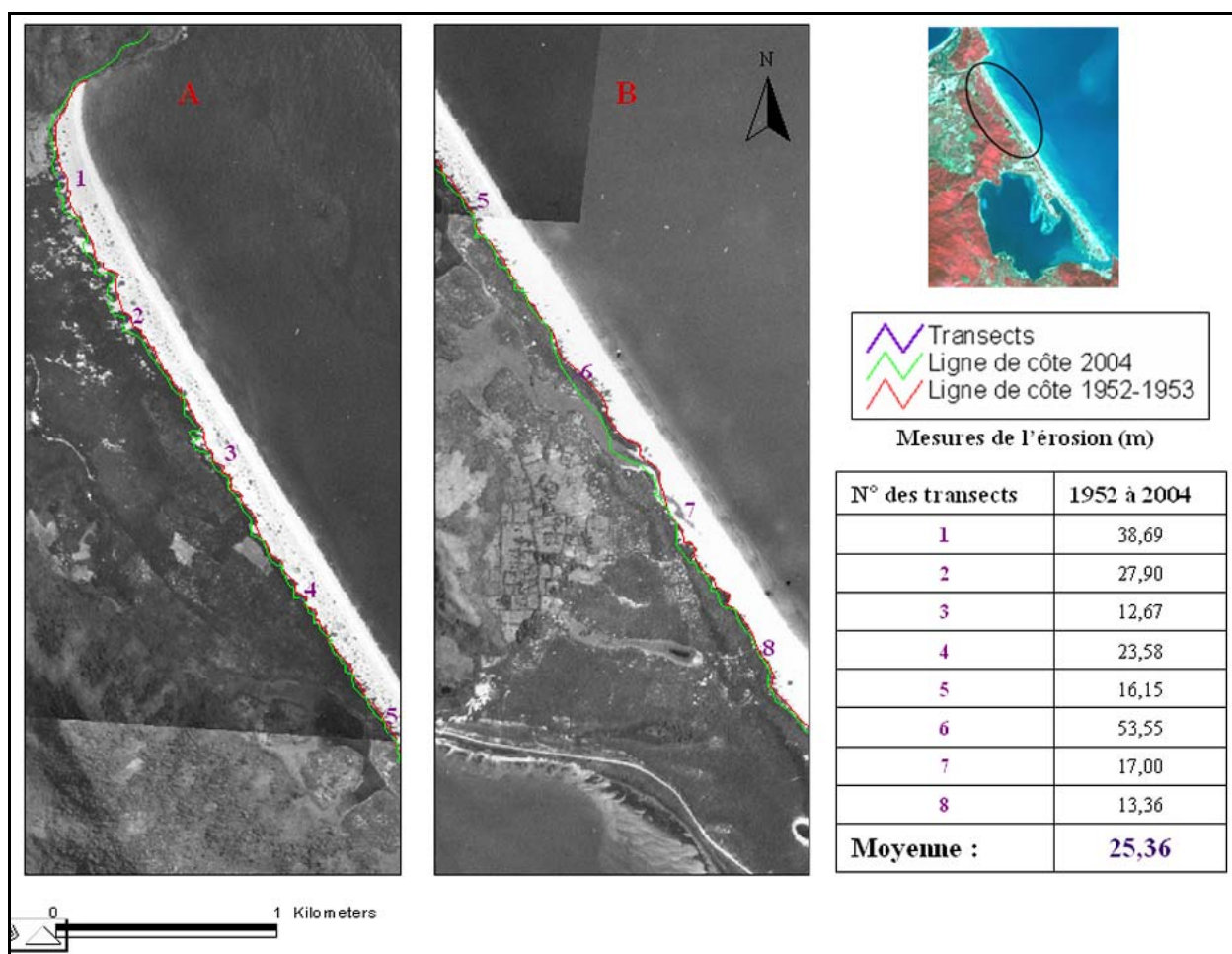


Figure 3.50. L'érosion au NO de Lang Co

(Roth, 2006)



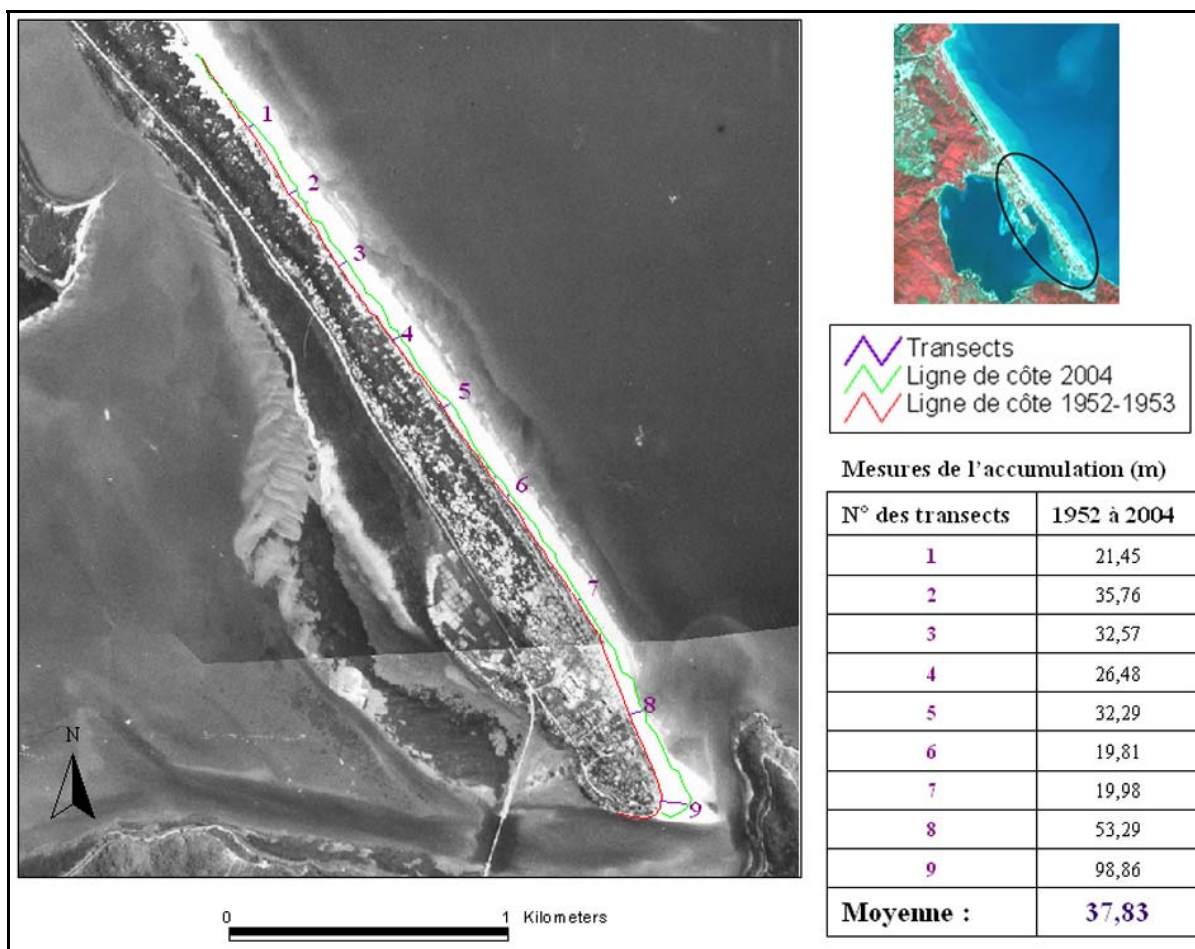


Figure 3.51. L'accumulation au SE de Lang Co

(Roth, 2006)

### 3.6. CONCLUSION

La télédétection est un outil efficace pour étudier l'environnement côtier. La technique de fusion entre l'image panchromatique de haute résolution et celle multispectrale de résolution plus basse permet des observations beaucoup plus détaillées et précises. Elle peut aider à dresser des cartes de végétation, d'occupation du sol, etc.

La composition colorée est une méthode très efficace pour analyser une région fortement modifiée. Cette technique peut être appliquée pour analyser les risques à savoir : inondation, érosion, sédimentation, glissement de terrain, etc.

En analysant les cartes, les photos aériennes et les images satellitaires avec l'aide d'un logiciel de traitement d'images et de SIG, on peut déterminer le trait de côte à des moments différents, établir son évolution et évaluer l'érosion et l'accumulation.

Le changement de la côte dépend de plusieurs facteurs : le climat, les cyclones, la dynamique fluviale, la dynamique de la mer, la géologie, les activités anthropiques. Dans la région de Thua Thien Hué, l'influence de ces facteurs sur la côte est exprimée en interaction entre la dynamique fluviale et celle de la mer.

Généralement, sur la côte de Thua Thien Hué, le segment devant la lagune de Tam Giang - Cau Hai présente des changements compliqués, spécialement aux passes où se déroule l'échange d'eau entre la lagune et la mer. Le changement aux passes (Thuan An - Hoa Duan et Tu Hien) comprend : déplacement, ouverture et fermeture de passe. Le remblayage et la

fermeture d'un passage concernent la faible dynamique de la lagune et en ce moment-là la mer domine et les vagues, par dérive littorale, apportent des matériaux qui ferment la passe. Par contre, l'ouverture d'une passe liée à la forte dynamique de la lagune est souvent engendrée par les crues. La plus typique est la crue de novembre 1999 avec l'ouverture de Hoa Duan et la réouverture de Tu Hien (passe NO).

La côte devant la lagune Tam Giang - Cau Hai, sauf les passes, n'a pas changé fortement mais de façon compliquée. L'érosion et l'accumulation s'intercalent temporellement et spatialement. En général, de 1952 à 2004, l'accumulation est dominante sur le segment NO (de Dien Huong à Thuan An) et l'érosion est dominante sur le SE (Thuan An - Tu Hien). Les matériaux dénudés dans le bassin, transportés par les rivières ne sont presque pas apportés à la côte à cause du piège sédimentaire de la lagune Tam Giang - Cau Hai. En conséquence, le rôle d'érosion - accumulation y est causé par les vagues et les dérives littorales. Avec une direction NO-SE, la côte subit fortement des vagues du NE. Ce sont de fortes vagues avec une hauteur de 1 - 3m et une forte fréquence en hiver. Les dérives littorales ont un bilan négatif vers le SE avec un déficit sédimentaire de  $290.755 \text{ m}^3/\text{an}$ , cause de l'érosion côtière autour de la passe de Thuan An (Nguyen Van Cu et Pham Huy Tien, 2003).

La côte de Chan May est accumulée grâce à la protection des deux promontoires de Chan May Dong et Chan May Tay. L'accumulation pourrait influencer le développement du port de Chan May qui vient d'être mis en service.

La côte de Lang Co est érodée au NO et accumulée au SE à cause d'une dérive littorale de direction NO - SE.

Quant aux influences de la subsidence et de la hausse du niveau de la mer, étant donné l'absence de mesures précises dans la région, il nous est difficile d'apprécier leurs influences respectives.

Il apparaît une alternance de phases d'érosion et de phases d'accumulation sur le littoral donc l'évolution dépend essentiellement des conditions marines d'une part et des crues fluviales d'autre part. On peut globalement dire que la côte est relativement stable sauf dans le secteur de Chan May où l'engraissement se poursuit car, vu son site, il n'est pas soumis aux actions de la mer.

## **CHAPITRE 4. RISQUES DE GLISSEMENTS DE TERRAIN**

### **4.1. INTRODUCTION**

Le glissement de terrain, en général, est perçu comme un phénomène de mouvement descendant d'une masse de terrains meubles ou rocheux au long d'une surface de rupture par cisaillement qui correspond souvent à une discontinuité préexistante. Ce déplacement est engendré par l'action de la gravité, de forces extérieures (hydrauliques ou sismiques) ou d'une modification des conditions aux limites.

Les glissements de terrain sont une des catastrophes naturelles très coûteuses dans plusieurs pays spécialement pour celui en voie de développement. Les pays du tiers monde ont toujours des difficultés à assurer les coûts élevés dans le contrôle des risques naturels par des grands travaux ou l'aménagement du territoire (Guzzetti *et al.*, 1999). La forte influence de glissements de terrain sur l'économie et la vie a provoqué des études depuis longtemps. Au cours des dernières années, le risque de glissements de terrain et sa répartition dans l'espace ont beaucoup été étudiés afin de réduire au minimum la perte en vies humaines et de biens sans investir à long terme de coûteux projets de terrain de stabilisation.

Toutes les méthodes de cartographie de l'aléa « glissement de terrain » sont basées sur quelques principes et hypothèses largement acceptés (Guzzetti *et al.*, 1999 ; Dewitte, 2006) :

- Les glissements de terrain laissent des traces morphologiques discernable, la plupart d'entre elles pouvant être reconnues, classifiées et cartographiées soit directement sur le terrain, soit par télédétection en analysant principalement les photographies aériennes (Varnes, 1978, Hansen, 1984; Hutchinson, 1988; Dikau *et al.*, 1996).
- Les mouvements de terrain sont contrôlés par des lois mécaniques qui peuvent être déterminées de façon empirique, statistique ou déterministe. Les conditions qui provoquent les glissements de terrains, peuvent être collectées et utilisées pour construire des modèles prédictifs de l'apparition de glissement de terrain (Dietrich. *et al.*, 1995).
- Le passé et le présent sont les clés pour le futur (Hutchinson, 1995). En d'autre mots, de nouveaux glissements de terrain se produiront plus vraisemblablement là où les conditions qui ont mené aux instabilités passées et actuelles sont présentes. Par conséquent, la compréhension des mouvements passés est essentielle dans l'estimation de l'aléa.

Plusieurs méthodes classant les facteurs de l'instabilité des pentes et assignant les niveaux d'aléa ont été proposées. Elles peuvent être qualitatives ou quantitatives et directes ou indirectes. Selon Guzzetti *et al.* (1999), les méthodes qualitatives sont subjectives et représentent les zones de glissement en termes qualitatifs, descriptifs ; les méthodes quantitatives produisent des estimations numériques (les probabilités) de l'apparition de glissement de terrain ; les méthodes directes consistent de la cartographie géomorphologique de risque de glissements de terrain ; et les méthodes indirectes pour l'évaluation des risques de glissements de terrain sont essentiellement des étapes. Ces méthodes peuvent être regroupées en quelques catégories (van Westen, 1993 ; Carrara *et al.*, 1995 ; Hutchinson, 1995 ; Guzzetti *et al.*, 1999):

- Cartographie de danger géomorphologiques
- Méthodes heuristiques

- Analyse d’inventaires de glissements de terrain.
- Modèles statistiques
- Modèles géotechniques

La cartographie géomorphologique des dangers de glissement de terrain est une méthode directe et qualitative qui se base sur la capacité d’expertise de l’investigateur en estimant la situation et le potentiel de glissement (Humbert, 1977; Godefroy et Humbert, 1983; Zimmerman *et al.*, 1986; Seeley et West, 1990).

L’approche heuristique est une méthode indirecte, souvent qualitative qui se base sur la connaissance d’experts sur toutes les causes et les facteurs d’instabilité dans la zone étudiée. Les facteurs d’instabilité sont classés et pondérés en fonction de leur importance présumée par l’expert (Hollingsworth et Kovacs, 1981; Neeley et Rice, 1990, Montgomery *et al.*, 1991; Mejía-Navarro *et al.*, 1994).

L’analyse des inventaires de glissements de terrain pourrait prédire les glissements futurs à partir de la répartition des dépôts de glissement de terrain. Les résultats de cette analyse peuvent être présentés sous la forme d’une carte de densité de glissements de terrain (Wright *et al.*, 1974; DeGraff, 1985; Chau *et al.*, 2004).

Les méthodes statistiques de prédiction de glissements de terrain sont les méthodes les plus populaires (Glade et Crozier, 2005 ; Dewitte, 2006). Les combinaisons de facteurs ayant mené aux glissements existants sont déterminées statistiquement, et des prédictions quantitatives sont réalisées pour des régions actuellement libres de glissements mais où des conditions similaires existent. Diverses analyses statistiques bivariées et multivariées sont appliquées. Les statistiques bivariées sont fréquemment utilisées afin de pondérer les différentes variables utilisées dans la prédiction (Nilsen *et al.*, 1979; Chung et Fabbri, 1993; Süzen et Doyuran, 2004; Moreiras, 2005). Par contre, celles multivariées permettent d’établir le rapport entre n’importe quelle combinaison de cartes de facteur et la localisation des glissements de terrain. Les techniques les plus favorables sont l’analyse discriminante, les régressions linéaire logistique et les réseaux de neurones (Carrara *et al.*, 1995; Roth, 1983; van Westen, 1994 ; Chung *et al.*, 1995; Guzzetti *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2003; Marquínez *et al.*, 2003; Luoto et Hjort, 2005). Des modèles de prédiction probabiliste, se basant sur des statistiques bivariées, sont également utilisés pour produire des cartes de susceptibilité (Yin et Yan, 1988; Binaghi *et al.*, 1998; Chung & Fabbri, 1998, 2001; Baeza et Corominas, 2001; Fabbri *et al.*, 2002; Lee et Choi, 2004; Guzzetti *et al.*, 2005 ; Chung, 2006 ; Dewitte, 2006 ; Demoulin & Chung, 2007.). Ces modèles se basent notamment sur les probabilités et la logique floue.

L’approche déterministe est constituée par les modèles géotechniques. Dans ces modèles, des données topographiques sont très souvent combinées aux conditions hydrologiques (par exemple : saturation du sol, perméabilité) et à des propriétés géotechniques des sols (par exemple : cohésion, angle de friction) afin de réaliser des analyses de stabilité de pente (Dunne, 1991; Montgomery *et al.*, 1994, 2000 ; Terlien *et al.*, 1995 ; Zhou *et al.*, 2003),

Au Vietnam, les glissements de terrain ont été étudiés depuis des années 1970s-1980s. Ce sont les études géotechniques pour maintenir le système routier (Bui Danh Luu, 1979 ; Ho Chat & Doan Minh Tam, 1985 ; Duong Ngoc Hai & Ho Chat, 1986). A partir des années 1990s, la restauration et la construction des routes pour le développement économique dans tout le pays sont devenues pressantes, et la nécessité de la stabilité de la route a provoqué plusieurs études, (Phan Vi Thuy, 1991 ; Phan Xuan Dai & Nguyen Chinh Bai, 2001 ; Doan Minh Tam 2001 ; Nguyen Huu Tri, 2003). Les glissements de terrain dans cette période sont étudiés non seulement dans le domaine de transport et télécommunication mais aussi pour les autres domaines. Tran Minh Dan (1980) et Nghiem Huu Hanh *et al.* (2001) ont analysé les

impacts des glissements de terrain sur l'exploitation minière. Les glissements de terrain sur une grande surface sont étudiés pour l'aménagement du territoire et le développement économique (Nguyen Trong Yem, 1997, 2000, 2001 ; Dinh Van Toan, 2001; Tran Trong Hue, 2001, 2006; Le Quoc Hung, 2002). Plus récemment, les glissements de terrains ont été étudiés par une approche statistiquement quantitative (Lee S. & Nguyen Tu Dan, 2005; Dang Vu Khac, 2007).

#### 4.2. GLISSEMENTS DE TERRAIN ACTUELS A THUA THIEN - HUÉ

En raison de ses particularités, Thua Thien Hué ainsi que tout le Centre septentrional du Vietnam est l'endroit où le risque de glissement de terrain est majeur (Figure 4.1). Les glissements de terrain s'y produisent plus fréquemment pendant la saison pluvieuse, d'autant plus que Thua Thien – Hué est une des régions où les précipitations sont les plus abondantes au Vietnam. Rien que les précipitations de la crue historique de la fin octobre – au début novembre 1999 ont causé des centaines de glissements de terrain dans la région.

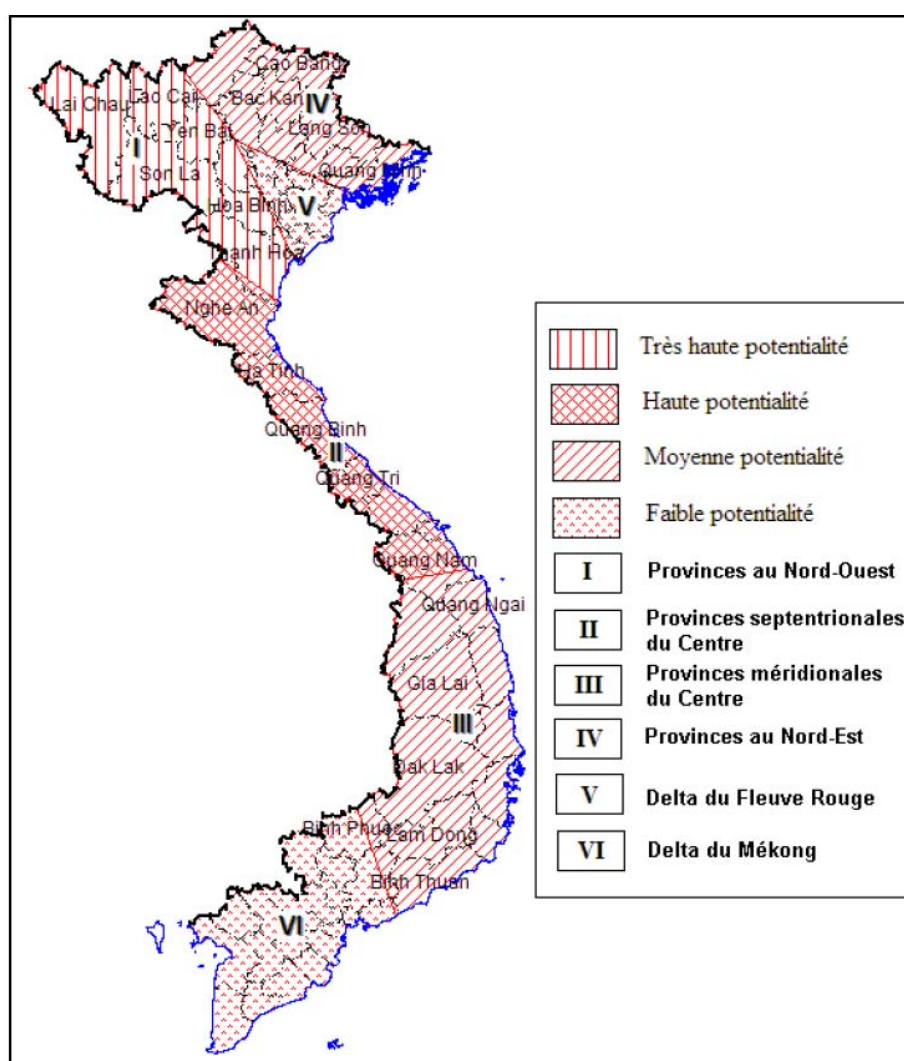


Figure 4.1. Risque de glissements de terrain au Vietnam

(Nguyen Trong Yem., 1997)

Selon le rapport du Bureau IV de Gestion routière qui gère cette région, pendant les trois mois de la saison pluvieuse, d'octobre à décembre 1999, les masses de terrain glissées le long de trois routes grandes nationales N°1, N°149 et N°14 (route dénommée piste de Hochiminh) (Figure 3.1) sont estimées à 546.000 m<sup>3</sup> dont 86000 m<sup>3</sup> sur la N°1, 82000 m<sup>3</sup> sur la N°14 et

378.000m<sup>3</sup> sur la N°49. Sur la route N°14, plusieurs endroits ont glissé spécialement au Km 67+500 et au Km 72+200, la route a glissé sur une longueur estimée à 150 m et 50m respectivement. Sur une distance de 20 km de la route N°49 (de Km 55 à Km 75), on a compté une centaine de glissements de terrain à différents niveaux (Tran Trong Hue, 2001).

Les investigations d'octobre 2000 réalisées par l'Institut de Géologie du Vietnam (Tran Trong Hue, 2001) montrent que : du Km 42 au Km 76 sur la route N°49, il y a eu 113 blocs glissés dont 8 très grands, 32 grands, 42 moyens et 31 petits. La masse totale de glissements de terrain le long de la route N° 49 a été estimée à environ 1,5 million de m<sup>3</sup>.

Les pluies du 18 - 20 novembre 1998 ont fait glisser, entre les Km 46 et Km 77 de cette route environ, 25903 m<sup>3</sup> de matériau. Les positions qui sont les plus graves: Km 67+ 500 (3.916m<sup>3</sup>); Km 68+ 225 (3.250m<sup>3</sup>); Km 71+ 100 (5.040m<sup>3</sup>). En même temps, à la route N°14 une masse totale de 15.141 m<sup>3</sup> a glissé entre le Km 65 et le 108. Les glissements de terrain plus graves ont été observés à Km 87+ 200 (5.270m<sup>3</sup>), Km 112+ 200 (1.663m<sup>3</sup>). Ce sont les endroits ayant un relief en pente de 30° - 35°, fortement érodée par un système des ravines de 1 – 2 m de profondeur, une végétation avec des buissons clairsemés, des bed-rocks de granodiorites altérés sur 7 à 12 m d'épaisseur comprenant : sables, argiles et silts jaunes friables qui se fluidifient et sont facilement lessivés en cas de forte humidification.

Au mont Chau Chu, les pluies du mois d'octobre et décembre 1999 ont causé des glissements détruisant ou remblayant des segments de l'ordre de 50 - 70m de la route N°49 (Figure 4.2). Sur une distance de 3 km de cet endroit, on a compté 2 grands, 6 moyens et plusieurs petits glissements avec une masse totale de matériaux glissée de 15.000 m<sup>3</sup>. Ce versant est en pente d'environ 30° - 35°. Les plantes dominantes sont les arbrisseaux buissonnants. Les roches mère siltites, argilites sériciteux de la formation de Tan Lam qui sont fortement fracturés. La couche d'altération est de 5 à 10 m d'épaisseur, contenant des sables, des limons et des débris de 2 – 7 cm même 60 – 70 cm en dimension.

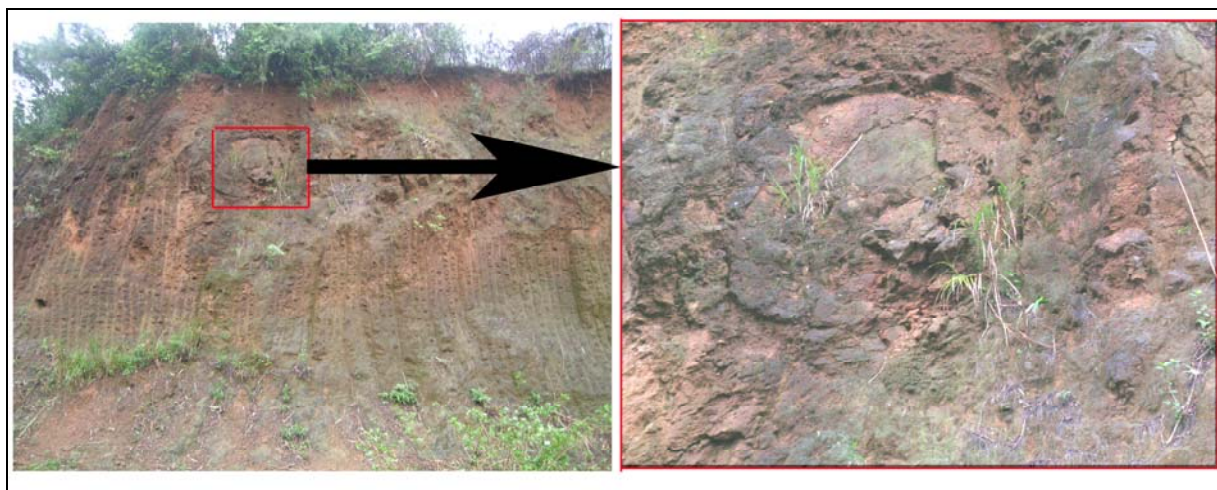


**Figure 4.2. Glissement de terrain sur la route nationale N°49 au mont Chau Chu (Thuy Bang – Huong Thuy)**

*(Photo : Phan Dong Pha., 1999)*

Pendant les pluies d'octobre et novembre 1999, le long de la route nationale N°1, une route très importante au niveau régional ainsi que national, il y a eu beaucoup de glissements,

spécialement dans le district de Phu Loc où se trouvent des hauts cols : Hai Van (col des Nuages), Phu Gia et Phuoc Tuong. Le terrain y est profondément disséqué avec des pentes raides. La roche mère granitique est fortement fracturée par des systèmes de failles et de diaclases. La couche d'altération est constituée d'argiles rouges avec une épaisseur très variable, de 3 – 5 m jusqu'à 30 – 40m. Les blocs granitiques présentant une altération concentrique en « pelure d'oignons » trouvés dans cette couche, qui proviennent soit des éboulis soit son *in situ*, peuvent se détacher des parois. Le risque d'éboulement s'ajoute donc au risque de glissements dans la région (Figure 4.3).



**Figure 4.3. Bloc de granite altéré en boule restant dans la couche d'altération**

Au nord du col de Hai Van, il y a 11 glissements le long de la route N°1 avec un total de 94450 m<sup>3</sup> de sol (Figure 4.4). Le plus grand, au Km 902+ 749, près du sommet de ce col, avec une masse de 50.000m<sup>3</sup> a interrompu la route. Le ministère des Transports a dû payer, jusqu'à la fin de l'an 2000, un montant de 16 milliards VND pour les dégâts au nord du col de Hai Van. Afin d'assurer la bonne circulation en tous cas, ce ministère a réalisé un projet de renforcement de la route avec une somme de presque 30 milliards VND (environ 2.000.000 USD)



**Figure 4.4. Glissement de terrain sur la route nationale N°1 au col de Hai Van**

(Photo : Phan Dong Pha, 1999)

Au col de Phu Gia, 18 glissements de différentes échelles ont été comptés. Un volume de terre de 8.000 m<sup>3</sup> a dû être déplacé pour assurer la circulation. Au col de Phuoc Tuong, apparaissent aussi plusieurs glissements de terrain. Le plus grand entre eux est trouvé près du sommet, il est estimé à 2.000 m<sup>3</sup>, 90 m de longueur, 35 m de hauteur de l'escarpement, 10 m de profondeur de la surface de glissement. Sur le corps principal, il y a de petits blocs en échelon. Ce glissement a détruit un tiers de la largeur la route sur une longueur de 20 m, créant un talus raide en bas de 3 m de haut, il a aussi bouché le tunnel du chemin de fer Nord - Sud en bas (Figure 4.5). Beaucoup de glissements dans la région ont aussi été observés.



**Figure 4.5. Glissement au col de Phuoc Tuong détruisant la route (gauche) et bouchant le tunnel de chemin de fer (droite)**

*(Photo : Phan Dong Pha, 1999)*

Pendant la crue historique d'octobre et novembre 1999, des glissements de terrain se sont déroulés aussi sur d'autres routes de la province de Thua Thien Hué. L'apparition continuelle de douzaines de glissements sur la route provinciale, qui relie le pied du col de Phuoc Tuong et l'embouchure de Tu Hien, a bloqué cette ligne de circulation.

Sur la route provinciale numéro 14B, apparaissent plusieurs glissements surtout sur le segment du col de La Hy (Km 14+500 - Km 15+500). Le glissement s'est passé de part et d'autre de la route avec un volume de 40.000 m<sup>3</sup> de matériau. Ce segment de route est construit sur un versant dont la pente est de 35- 40° avec une couverture végétale de jeune forêt de 5 à 7 ans. Des schistes sériciteux, schistes quartzeux de la formation de Long Dai et des granites, granodiorites du complexe de Que Son, sont les roches mère qui sont fortement fracturées par des fissures et couvertes par une couche d'altération de matériau meuble, facilement lessivée. Un grand glissement au sommet du col sur un talus haut de 15 m a une surface de glissement d'une profondeur de 20 m dans la zone de roches altérées. La masse glissée mesure 52 m de long et 41 m de large. La route y est tellement dangereuse que le Service local des Transports a dû en construire une autre de 7 km de long.

Les glissements de terrain, qui se sont produits en octobre et novembre 1999, ont non seulement bloqué le système routier et ferroviaire mais aussi causé des pertes de vies humaines et de biens dans la province de Thua Thien Hué, surtout à Phu Loc. Ce district a subi au moins 57 glissements de différentes échelles, ils ont détruit des maisons, des infrastructures, des jardins et en outre, 3 de ces glissements ont causé 16 morts (Tran Trong Hue, 2001) :

- Le glissement de terrain du 2 novembre, à 3 h du matin, au quartier 2 du bourg de Phu Loc, au sud du col de Mui Ne, a totalement détruit une maison et tué une personne.



- Le glissement de terrain du 2 novembre, à 5 h du matin, au village Da Bac 2 du bourg de Phu Loc, au nord du col de Mui Ne, a détruit une maison bien renforcée et a tué 2 enfants.
- Le grand glissement de terrain du 3 novembre, à 21 h, au village de Da Bac 1 du bourg de Phu Loc, au nord de la montagne de Mui Ne, a écrasé une maison, fait 13 morts et un blessé grave (Figure 4.6).



**Figure 4.6. Glissement de terrain qui a causé 13 morts, 1 blessé à Da Bac 1, Phu Loc**

*Photo : Phan Dong Pha 1999*

Les glissements de terrain au bourg de Phu Loc se sont passés sur des roches granitiques dans la couche d'altération dont l'épaisseur varie de 10 – 15 m à 30 - 40m. Cette couche d'altérites est composée d'argiles brunes rougeâtres avec des graviers, en état plastique à solide. Il est notable que les glissements se trouvent sur la zone faillée de Dak Rong – Hué qui peut engendrer un tremblement de terre de magnitude maximale  $M_s > 6$ . L'activité néotectonique a contribué à l'accélération de processus exogène dans la région avec la présence de cônes de déjection et de grands glissements de terrain. Les grands glissements de terrain y sont liés à la zone fortement fracturée qui est favorable au processus d'altération. En outre, c'est aussi une zone de sources d'eau. La saturation en eau en cette zone peut réduire la cohérence et la résistance du sol.

Depuis 1999, des glissements se passent chaque année aux montagnes de Thua Thien – Hué, notamment le long de la route N° 49, reliant Hué au bourg de A Luoi, et du segment du sud de la route de Hochiminh, traversant la Cordillère de Truong Son.

La route de Hochiminh est une nouvelle route trans-vietnamienne qui traverse l'ouest de la province de Thua Thien – Hué, appartenant au district de A Luoi. Ce tronçon a été construit pour améliorer la route nationale N°14 pour le secteur nord et une nouvelle construction pour le sud. Généralement, le secteur nord est disposé sur le lit d'une vallée où la pente est douce et donc les glissements y sont rares. Près du col de Peke, au nord de ce segment, sur la commune de Hong Thuy - A Luoi, il y a un vieux glissement mais déjà stabilisé. C'est une région couverte par des arbres et des buissonnets sur une couche d'altération en sables et argiles brun – rouge de 15 m d'épaisseur. Le glissement s'est passé sur le talus en haut de la route. Il

mesure 70 m de large, 40 m de long sur une pente originelle de 50°. Ce glissement avait d'abord été fixé par gabions et puis par un mur en béton de 3 m de haut quand il a été détruit lors du glissement suivant. Sur la même zone du nord, deux autres petits glissements ont aussi été observés à Hong Trung et Hong Kim sur des collines qui a une couche assez épaisse d'altération, composée d'argiles brun – rougeâtre avec une couverture végétale des herbes et de buissonnets. Notons que la région a été épandue de défoliants par les troupes américaines pendant la guerre du Vietnam.

La partie sud de la route de Hochiminh, reliant deux flancs ouest et est de la Cordillère de Truong Son, est une nouvelle construction édifiée dans une zone de forte altitude et de pente raide. C'est pourquoi il y a souvent des glissements de terrain et d'après Tran Trong Hue (2006), ils se concentrent principalement au col A Roong et à A Tep.

Il existe 3 glissements au col d'A Roong sur un versant de 30°, couvert par des buissonnets. La couche d'altération de 1 – 1,5 m d'épaisseur contient des débris rocheux de taille de quelques cm à quelques dm. La roche-mère est constituée de schistes et quartzites brun foncé, fracturés. Leur pendage presque parallèle à la surface de talus y a provoqué un glissement de terrain.

D'importants glissements se sont aussi produits à A Tep. Les versants en forte pente sont fortement ravinés par des entailles en V. Les roches-mère du Paléozoïque et du Mésozoïque présentent une couche épaisse d'altération avec l'apparition de sources d'eau. La couche d'altération de 5 – 10 m d'épaisseur contient principalement des sables et des argiles et plusieurs glissements se localisent dans cette couche.

Des études ultérieures ont montré que le nouveau segment de la route de Hochiminh, passant les communes A Dot, A Roang et Huong Nguyen (district A Luoi) a été affecté par au moins 40 glissements. En raison de sa nouveauté, la route est encore instable et les glissements se succèdent.

Sur la route nationale N°49, les glissements se passent notamment dans la partie ouest, près du col de Bot Do. Au moins 20 glissements stabilisés ou non y ont été observés. Les glissements sont également observés dans la région de Bach Ma, Nam Dong, Chan May Tay, Chan May Dong, etc.

Plus récemment, du 1er au 3 octobre 2007, influencé par le 5<sup>ème</sup> typhon de l'année (Lekima 2007), Thua Thien Hué a connu de fortes précipitations, la pluviosité en trois jours qui a atteint de 200 - 300mm en moyenne et de 657mm à Nam Dong, causant des glissements de terrain le long des routes. La route N°49 a glissé pour un total de 2.445 m<sup>3</sup>, la route de Hochiminh de 1.766 m<sup>3</sup>, et la route 14B de 2.000 m<sup>3</sup> au col de La Hy bloquant cette route pendant un jour (rapport de la Direction chargée des Inondations, Tempêtes et Sauvetage de la province de Thua Thien - Hué).

À la suite, du 13 au 17 octobre 2007, une vague d'air froid venant du nord a engendré de grandes pluies à Thua Thien – Hué, de 245 mm (station Kim Long) à 999 mm (station Khe Tre - Nam Dong). En conséquence, des glissements se sont passés le long des routes, précisément :

- De nombreux glissements sur la route de Hochiminh
- Des glissements du talus supérieur du Km 71 au Km 74 sur la route N°49
- Le glissement d'un volume de 400 m<sup>3</sup> au Km 22+300 près du bourg Khe Tre (Nam Dong) sur la route N°14B causant un embouteillage.

L'ensemble des volumes glissés est estimé à plus de 130.000m<sup>3</sup> (Rapport 113/PCLB de la Direction chargée des Inondations, Tempêtes et Sauvetage de la province de Thua Thien - Hué daté du 18 octobre 2007)

Les grandes pluies du soir du 10 au matin du 13 novembre 2007 avec des précipitations atteignant jusqu'à 1.537 mm à la station de Khe Tre (Nam Dong), 1.163 mm à la station de Thuong Nhat du fleuve Ta Trach, ont causé des glissements de terrain à Km 17, col de La Hy, de la route 14B, et ont bloqué la route unique qui relie Nam Dong et la plaine (rapport 147/PCLB de la Direction chargée des Inondations, Tempêtes et Sauvetage de la province de Thua Thien - Hué daté du 13 novembre 2007)

A partir des documents publiés en combinaison avec le travail sur le terrain, les positions de glissements de terrain, anciens et récents, fixés et non fixé, dans la province de Thua Thien – Hué sont présentés dans la carte de répartition des glissements (Figure 4.7).

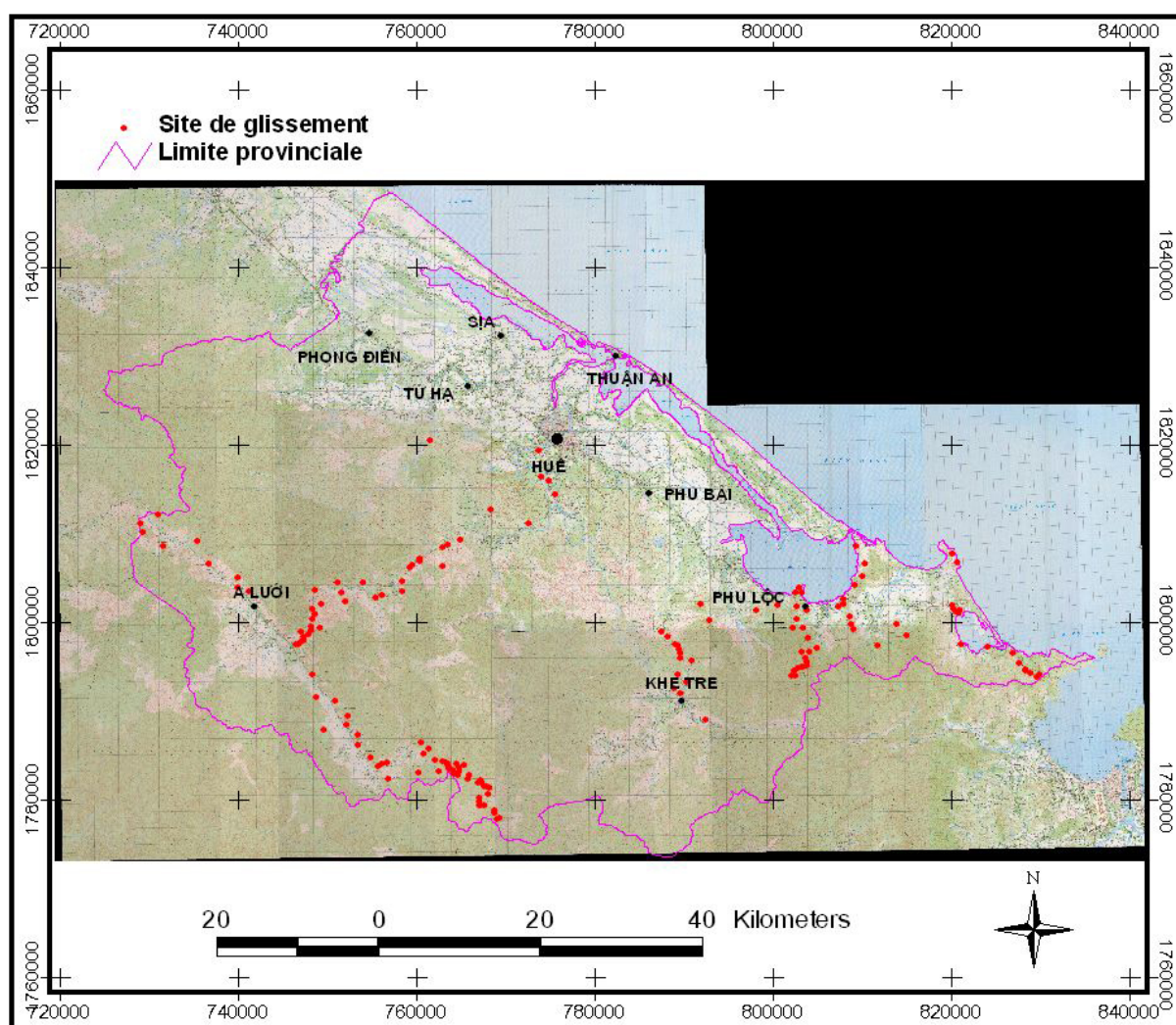


Figure 4.7. Répartition des glissements de terrain à Thua Thien Hué

À travers la situation des glissements de terrain à Thua Thien Hué, on peut constater que les glissements dépendent de plusieurs facteurs comme : climat (pluie), végétation, occupation du sol, pente, propriétés des roches (lithologie, fissure, pendage, altération), faille et activités anthropiques, spécialement le long des routes dont les versants sont déstabilisés.

Lors du travail sur le terrain, on a remarqué que les glissements de terrain apparaissent plus fréquemment sur les versants de 15 – 45°.

Les roches sédimentaires et sédimentaires métamorphiques comme schistes, schistes sériciteux sont plus favorable aux glissements d'autant plus fréquents si le versant est conforme. Les glissements de terrain peuvent aussi se produire sur les roches non stratifiées. Dans ce cas, la couche d'altération joue un rôle important. En réalité à Thua Thien – Hué, il y a 2 types d'altération granitique : faible et forte.

La couche de forte altération est souvent épaisse avec un profil typique comme suit :

- La couche de forte altération en haut dans le profil contient des argiles avec des graviers en état plastique à solide. Sa profondeur varie de quelques mètres à dizaines de mètres.
- La couche de faible altération au milieu est la couche de granites cassés, décomposés avec une épaisseur de quelques mètres à dizaines de mètres.
- La roche mère intacte plus bas est constituée de granite à deux micas, de granite à biotite, de structure massive.

La possibilité de glissement augmente en fonction de l'épaisseur d'altération. Les glissements sur la couche d'altération dans la région (Figure 4.8), ne sont pas forte étendus mais nombreux. Ces glissements ont endommagé gravement le bourg de Phu Loc.



**Figure 4.8. Glissement effectant la couche d'altération de granite le long de route reliant col de Phuoc Tuong et l'embouchure de Tu Hien**

*Photo : Mai Thanh Tan, 2005*

Pour l'altération faible, la roche qui n'est pas décomposée totalement, reste en forme de blocs dans la matrice d'argiles brun rouge de la couche d'altération. La roche mère est altérée concentriquement, enlevée d'une pelure à l'autre de l'extérieur vers l'intérieur (Figure 4.3). Dans la couche d'altération, des éboulis provenant d'autres roches sont aussi trouvés (Figure 4.9). Dans ce cas, le glissement de terrain accompagné d'éboulement rend la région plus dangereuse. Ce phénomène a été observé aux cols de Hai Van, de Phu Gia sur la route nationale N°1 et d'autres endroits.



**Figure 4.9. Les éboulis sur la surface d'altération à Chan May Dong, les éléments meubles ayant été érodés**

*Photo : Mai Thanh Tan, 2005*

Le travail sur le terrain a aussi montré que les glissements de terrain peuvent être engendrés par l'érosion régressive. Dans la région de forte érosion due au développement du système d'écoulement permanent ainsi qu'intermittent, la route pourrait être emportée par le recul du talus inférieur. Ce phénomène a été observé sur la route N°49 à une distance d'environ 1 km du col de Kim Quy vers Hué (Figure 4.10). Le glissement y est provoqué par l'érosion reculant vers le haut, prolongeant les ravines du bas.



**Figure 4.10. Glissement de terrain sur la route nationale N°49 à cause de l'érosion régressive**

*Photo : Mai Thanh Tan, 2005*

L'activité anthropique peut entraîner des glissements de terrain. Un projet non rationnel peut déstabiliser le versant et causer des glissements de terrain. La route traversant le système de ravines avec des exutoires mal dimensionnés ou la route passant en haut des sources des ravines peut être détruite par des glissements de terrain.

### 4.3. METHODE D'ANALYSE DU RISQUE DE GLISSEMENTS DE TERRAIN PAR SIG

#### 4.3.1. Sélection des paramètres

Le glissement de terrain résulte du changement d'état stable à instable de masses des matériaux. Sa cause est abordée par plusieurs auteurs (Campbell, 1975; Cannon et Ellen, 1985; Flageollet, 1989; Hansen et Franks, 1991; Wiczorek, 1996; Baillifard *et al.*, 2003; etc.). Au Vietnam, les causes de glissements de terrain sont indiquées par Nguyen Trong Yem (2001), Tran Trong Hue (2001), Le Quoc Hung (2002), Dang Vu Khac *et al.* (2007), etc. Pour le Centre du Vietnam où se trouve la province de Thua Thien – Hué, Nguyen Trong Yem (2001) a noté que les glissements de terrain se produisent à cause du relief (forte pente), de l'activité néotectonique (faille active), des caractéristiques géologiques (lithologiques et d'altération), des précipitations intensives et des activités anthropiques (construction routière, changement d'occupation du sol, etc.).

Selon Schuster (1996), de nombreux facteurs provoquant les glissements de terrain dont au moins 20 paramètres peuvent être plus ou moins utilisés pour obtenir les informations nécessaires pour étudier un glissement de terrain en fonction de l'échelle de l'étude. La précision de la susceptibilité augmente si tous les paramètres sont utilisés dans l'analyse mais ce n'est pas toujours facile de les obtenir en détail.

Dans le cadre de cette étude, une carte de susceptibilité de glissement de terrain (Figure 4.42) a été levée en utilisant 8 facteurs contrôlant (Tableau 4.1). Chaque facteur est classifié en basant sur les documents publiés ou sur la relation entre ce facteur et le glissement de terrain.

**Tableau 4.1. Paramètres sélectionnés pour analyse de la susceptibilité de risque de glissement de terrain à Thua Thien – Hué**

Facteur	Classe
Pente (°)	0° - 2,5°; 2,5° - 15°; 15° - 30°; 30° - 45°; >45°
Précipitation annuelle (mm)	2400 mm – 3000 mm; 3000 mm -3652 mm
Occupation du sol	Forêt; Lande de plaine; Lande de montagne; Résidence; Agriculture; Surface d'eau
Altération	Ferralite; Ferrosialite; Sialferrite; Saprolite; Dépôts quaternaires et roches-mère
Lithologie	Dépôts meubles; Roches terrigènes riche en aluminosilicate; Roches terrigènes riche en quartz; Roches intrusives basiques, ultrabasiques; Roches intrusives acides, intermédiaires; Roches métamorphiques riches en aluminosilicate; Roches métamorphiques riches en quartz
Pendage	Défavorable; Neutre; Favorable au glissement
Faille	Forte influence; Faible influence; Pas d'influence
Proximité de la route	Moins de 100 m; 100 m – 200 m; > 200 m

#### 4.3.2. Cartes composantes

L'analyse de risque par le SIG exige des cartes composites et toutes ces cartes sont de même taille. Ce sont des cartes reprenant les facteurs mentionnés ci-dessus mais il faut les y mettre en maille en même de taille pour faciliter le calcul. La maille (pixel) de 30 x 30m est utilisée dans ce cas.

La carte de pente est interpolée à partir du MNT qui est levé en se basant sur la carte topographique de 2001. Elle est divisée en 5 classes  $0^\circ - 2,5^\circ$ ;  $2,5^\circ - 15^\circ$ ;  $15^\circ - 30^\circ$ ;  $30^\circ - 45^\circ$  et  $>45^\circ$  en basant sur les critères de Ayalew *et al.*, (2004).

La carte de précipitation annuelle est créée en se basant sur les données des stations pluviométriques dans la région (5 stations) et ses alentours (5 stations). Ces données sont disponibles auprès de l'Institut de Géographie – Académie des Sciences et de la Technologie. Dans la carte, deux classes sont distinguées : moins de 3000 mm/an et plus de 3000 mm/an.

La carte d'occupation du sol est créée sur base de celle du Service de l'Agriculture et du Développement Rural de la province de Thua Thien – Hué en 2005, corrigée par les données de télédétection. Au point de vue des glissements de terrain, cette carte est divisée par le caractère de la couverture en 6 classes : Forêt, Lande de la plaine, Lande de la montagne, Résidence, Agriculture et Surface d'eau.

La carte d'altération de la région est un extrait de celle du Vietnam publiée par le Bureau de Géologie et des Ressources minières (Ngo Quang Toan, 2000), à l'échelle de 1:500.000, une échelle différente par rapport avec les autres cartes. Selon cette carte, la région de Thua Thien Hué est couverte par 4 types d'altération : Ferralite, Ferrosialite, Sialferrite, Saprolite et Dépôts quaternaires et roches-mère

La carte lithologique a été créée à partir des cartes géologiques au 1 :50.000 de Nam Dong (Vu Manh Dien, 1994) et de Hué (Pham Huy Thong, 1997). 19 formations stratifiées et complexes magmatiques de la région (Figure 3.15) sont groupés en 7 classes : Dépôts meubles ; Roches terrigènes riche en alumosilicate ; Roches terrigènes riches en quartz ; Roches intrusives basiques, ultrabasiques ; Roches intrusives acides, intermédiaires ; Roches métamorphiques riches en alumosilicate ; Roches métamorphiques riches en quartz.

La carte de pendage tient compte de la différence entre l'azimut de la couche et l'orientation de la pente du versant et de la différence entre l'angle d'inclinaison des roches et la pente du relief. Cette carte est créée en se basant sur :

- Les cartes de l'orientation et de la pente de terrain. Ces cartes sont interpolées à partir d'un MNT qui résulte de la carte topographique de l'échelle 1 :50.000. publié par le Département général du Cadastre du Vietnam, 2001.
- Les données de pendage des roches sont obtenues au départ des cartes géologiques et en sur le terrain.

Les pendages dans cette carte sont divisés en 3 classes : Défavorable ; Neutre ; Favorable au glissement.

La carte des failles est aussi extraite des cartes géologiques mentionnées en combinaison avec les données de télédétection et les observations de terrain. Les caractéristiques des failles et leur influence sont déterminées principalement par des documents publiés. La carte propose trois classes : forte, faible et non influence de la faille.

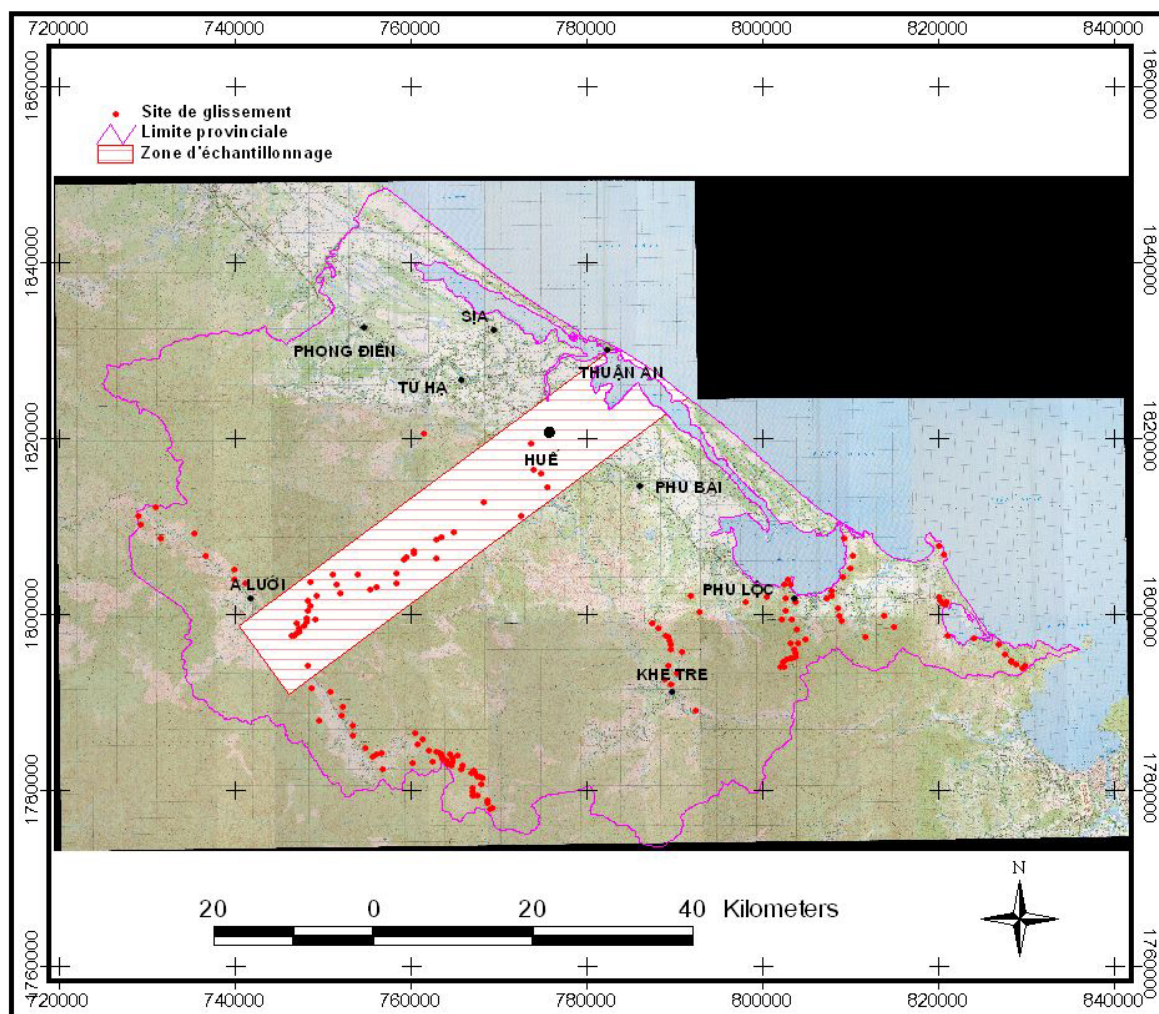
La carte de la proximité de la route est créée à partir de la carte topographique à l'échelle du 1 : 50.000. Seules les routes principales accessibles aux camions sont comptées. Le GPS est utilisé pour lever les nouvelles routes non signalées sur la carte topographique. La proximité de route se regroupe en trois classes : moins de 100 m ; de 100 m à 200 m ; plus de 200 m.

#### **4.3.3. Echantillonnage**

Des investigations incomplètes à cause de l'inaccessibilité, il résulte une présentation irrégulière et incomplète des glissements de la région (Figure 4.7). C'est un obstacle pour estimer les liens entre les glissements de terrain et les facteurs les contrôlant. Dans ce cas, un

échantillonnage par le choix d'une région clé étudiée en plus détail est une bonne solution. La région choisie doit être typique pour toute la région ensemble. Elle est plus valable si elle couvre toutes les classes composantes. C'est la base pour pondérer les classes dans chaque facteur.

La région choisie est une bande qui couvre une superficie de 606,36 km<sup>2</sup>, soit 673.731 pixels (sans compter la surface d'eau) de taille 30 m x 30 m, au milieu de la province (Figure 4.11). Elle s'étend en orientation SO – NE, principalement le long de la route nationale N°49 avec une dimension de 10 - 11 km de large (environ de 5 km des deux côtés de la route), d'environ 60 km de long. Grâce à la route N°49 et les chemins qui la rejoignent, la région clé est étudiée en détail. On y a compté 38 glissements de terrain.



**Figure 4.11. Echantillonnage pour analyse de risque de glissement de terrain**

La région d'échantillonnage traverse toutes sortes de terrain, un facteur plus décisif au glissement, de la montagne au SO via la colline jusqu'à la plaine côtière au NE. Cette région couvre aussi presque toutes les classes de tous les facteurs. La classe « saprolite » du facteur de couche d'altération et la classe « roches intrusives basiques, ultrabasiques » du facteur de lithologie ne s'y trouvent pas. Elles occupent des superficies modestes par rapport aux autres classes dans chaque facteur, 2,69% du territoire total pour la classe « saprolite » et 0,48% du total pour celle de « roches intrusives basiques, ultrabasiques ».

La statistique de glissements de terrain dans la région clé nous permet d'analyser les relations entre les classes dans chaque facteur contrôlant et les glissements. Le nombre de glissements



dans chaque classe est la base pour estimer son rôle dans les glissements de terrain. La statistique de glissements de terrain de chaque classe d'un facteur est aussi la base pour estimer l'importance de ce facteur dans les glissements de terrain.

L'estimation de signifiante des classes dans chaque facteur ainsi que des facteurs dans l'ensemble est une étape nécessaire pour construire un modèle de glissement. Elle est mentionnée dans la rubrique suivante.

#### 4.3.4. Pondération des facteurs et leurs classes

L'analyse de susceptibilité de risque est réalisée à partir de l'ensemble des facteurs qui, par expérience, sont subjectivement assignés à l'importance. Dans chaque facteur, en dépendant du niveau d'influence, les classes sont distinguées et pondérées sur une échelle locale spécifique de risque. À la suite, l'importance de chaque facteur est pondérée en l'ordonnant par sa grandeur dans l'ensemble des facteurs et en lui assignant un coefficient approprié. Le risque est déterminé, de façon plus simple, par l'opération d'addition des coefficients.

Pour le cas de Thua Thien – Hué, les classes dans chaque facteur sont pondérées sur une échelle de 1 à 9. Le poids de chaque classe est assigné en se basant sur la relation entre cette classe et le glissement de terrain. Les classes différentes dans un facteur occupent des superficies différentes où se passent un nombre différent de glissements de terrain. La comparaison d'une classe à l'autre demande une normalisation. La densité de glissement ou le nombre de glissements sur une unité de surface est une norme convenable. Les densités de classes d'un facteur sont normalisées sur une échelle de 1 à 9 et ses poids sont les résultats de cette normalisation. C'est à dire, le poids d'une classe est calculé comme suit :

$$P_i = 1 + \frac{D_i - \text{Min}(D)}{\text{Max}(D) - \text{Min}(D)} * 8$$

$P_i$  : poids de la classe numéro  $i$

$D_i$  : densité de glissement de la classe numéro  $i$

$\text{Min}(D)$  : valeur la plus basse de densité de glissement

$\text{Max}(D)$  : valeur la plus haute de densité de glissement

Les poids d'estimation sont arrondis à l'unité

Le rangement de l'importance de chaque facteur dans l'ensemble est basé sur le nombre de glissements qui pourrait être engendré dans tout territoire entier en supposant que la densité de glissement de chaque classe dans chaque facteur soit la même que celle calculée dans l'échantillonnage. Ses nombres sont aussi la base de la quantification de l'importance du facteur. Cette importance est exprimée en coefficient :

$$W_i = \frac{N_i}{\sum_1^n N_i}$$

où  $W_i$  – coefficient du facteur  $i$

$N_i$  – nombre de glissements qui pourraient être engendrés par le facteur  $i$

Le système d'informations géographiques (SIG) est un outil qui nous permet de réaliser l'analyse, la gestion et l'intégration des couches de données d'une région. Grâce au SIG, les facteurs influençant les glissements de terrain peuvent être présentés par les cartes dont leurs classes sont exprimées sous forme des valeurs pondérées. Une intégration des cartes des facteurs avec des coefficients différents peut aussi être réalisée par SIG pour estimer la susceptibilité de glissements de terrain de la région.

#### 4.3.5. Cartographie de la carte de susceptibilité de glissements de terrain

Une carte de susceptibilité de glissement de terrain est basée sur la connaissance des mouvements de terrain et des facteurs qui les contrôlent. Les zones où il n'y a jamais eu de glissement de terrain sont cartographiées en supposant que le glissement de terrain se produira dans les conditions que l'on a observées dans le passé (Guzzetti *et al.*, 1999). Le risque est délimité à partir de la probabilité de glissement de terrain en se basant sur l'information quantifiée des facteurs contrôlant. La quantification est exprimée par la susceptibilité accumulée des facteurs comme suit :

$$H = \sum_{j=1}^n W_j X_{ij}$$

où: H – indice de susceptibilité

$X_{ij}$  – Poids de la classe i dans le facteur j

$W_j$  – Coefficient du facteur j dans l'ensemble des facteurs

En effet, c'est l'intégration des cartes de facteurs pondérées par l'outil de SIG (Figure 4.12). L'addition de ces cartes fournit une carte avec des valeurs quantitatives liées au glissement de terrain. Une classification peut présenter les régions avec des niveaux de risques différents.

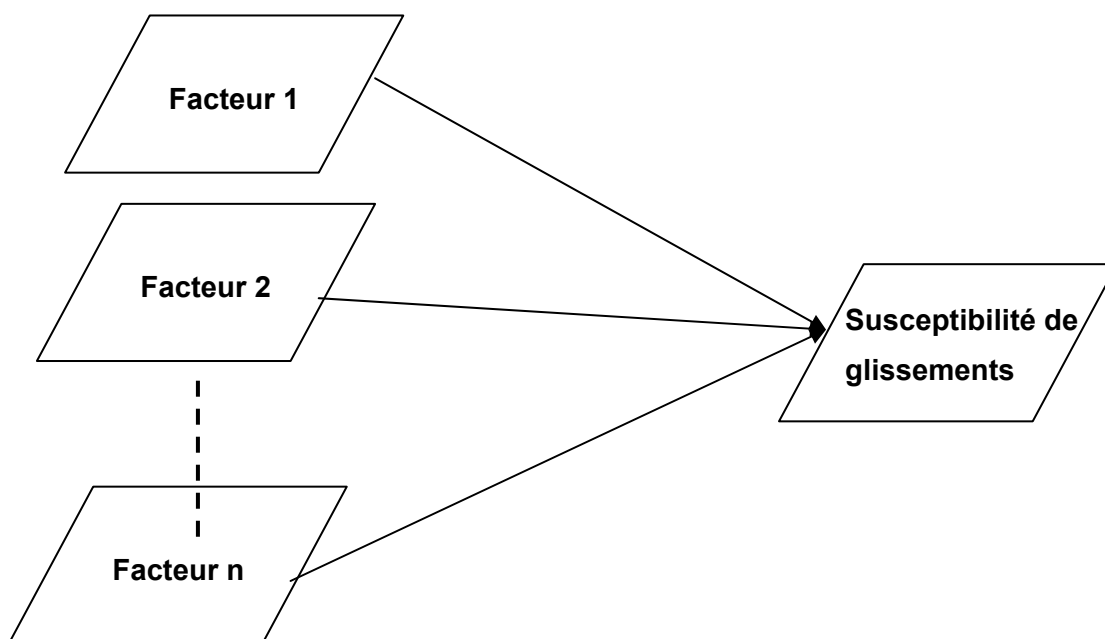


Figure 4.12. Modèle d'analyse de risque par SIG

### 4.4. RAPPORT ENTRE LES FACTEURS CONTROLANT ET LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

#### 4.4.1. Rapport entre le relief et les glissements de terrain

Le relief joue un rôle important pour les glissements de terrain. En effet, le glissement est un processus géomorphologique, autrement dit, c'est un processus de transformation du relief sous l'action des forces endogènes et exogènes. A Thua Thien Hué ainsi que dans les autres régions, le glissement se passe fortement sur des terrains de forte énergie du relief et donc à pente raide, disséqué fréquemment comme le sud et l'ouest de Thua Thien Hué,

particulièrement aux cols traversant des chaînes de montagne comme : la route Hochiminh au sud de A Luoi, les cols Hai Van, Phu Gia, Phuoc Tuong sur la route nationale N°1, le col Bot Do sur la route N°49, etc.

L'influence du relief sur les glissements de terrain est exprimée le plus nettement par la pente. Les observations sur le terrain à Thua Thien – Hué montrent que la plupart des glissements de terrain se passent sur des versants entre 15° et 45°. Tran Trong Hue (2001) a aussi trouvé un résultat similaire pour tout le Centre septentrional du Vietnam où se trouve la province de Thua Thien Hué. La classification de pente pour estimer la relation entre la pente et le glissement de terrain est proposée par plusieurs auteurs : Tran Trong Hue (2001), Donati et Turrini (2002), Ayalew *et al.* (2004), Liu *et al.* (2004), etc. Dans ce cas, nous utilisons celle de Ayalew *et al.* (2004) avec 5 classes : 0° - 2,5°; 2,5° - 15°; 15° - 30°; 30° - 45° et >45° (Figure 4.13). Cette classification a été efficacement appliquée par Dang *et al.* (2007) pour estimer les glissements à Quang Nam, une province voisine de Thua Thien Hué. La carte de pente est interpolée à partir d'un MNT qui résulte de la carte topographique à l'échelle du 1 :50.000.

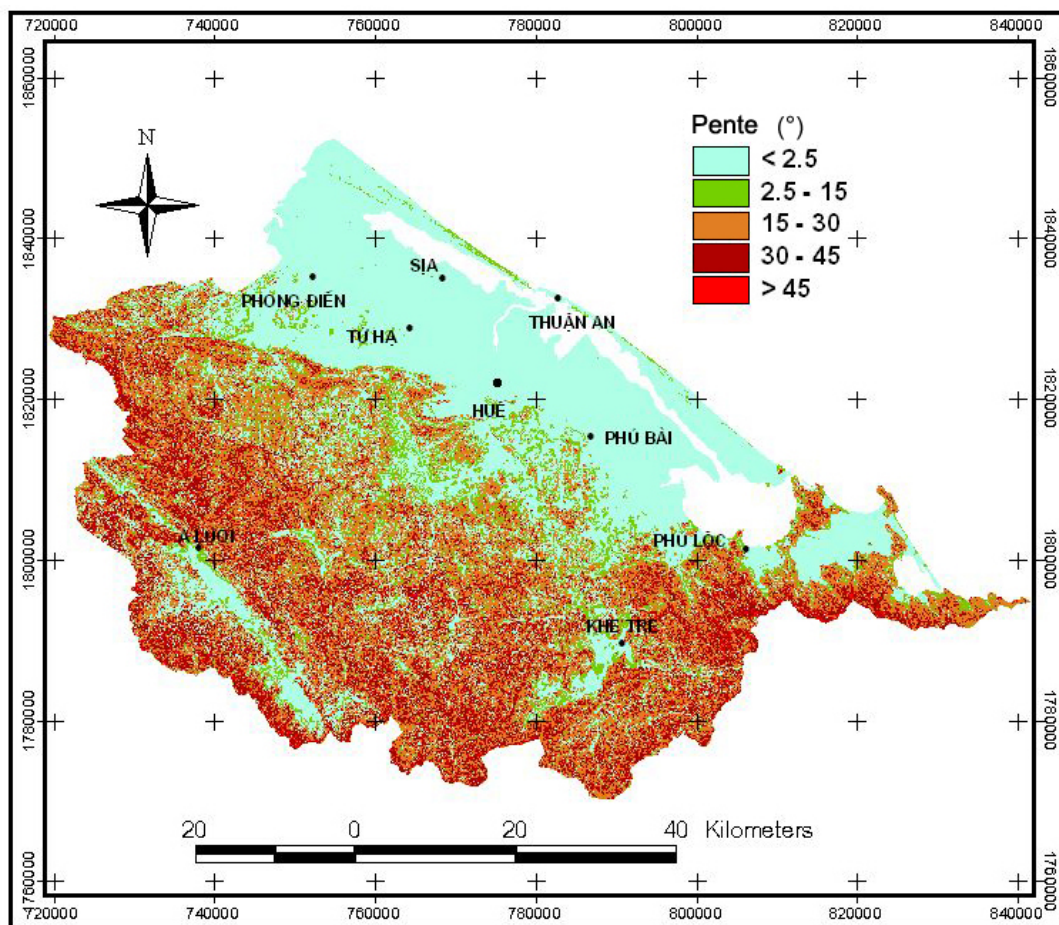


Figure 4.13. Pentes de la province de Thua Thien – Hué

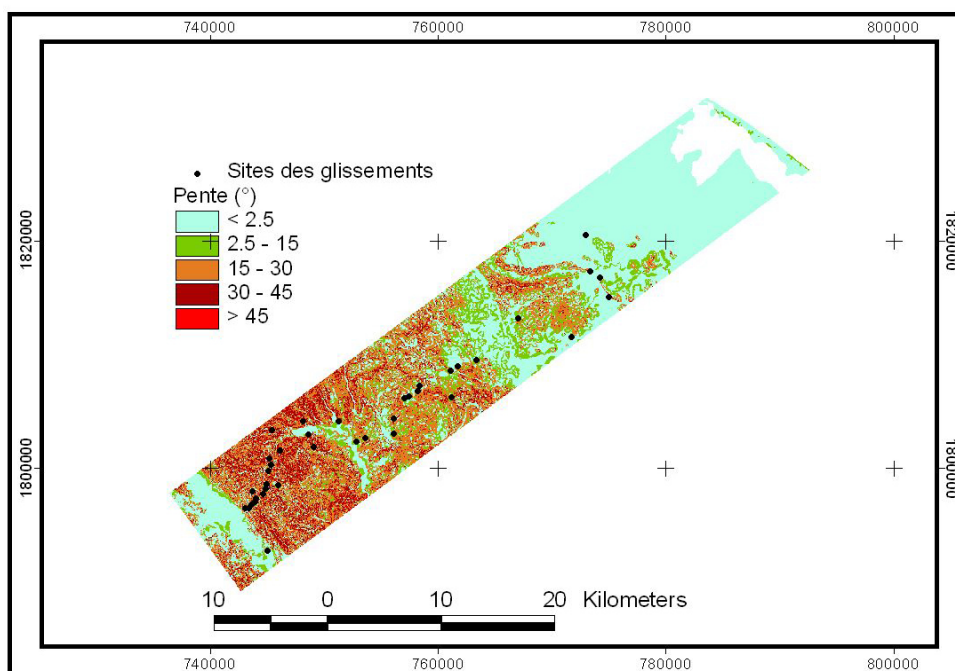
La carte montre que la superficie de la pente < 2,5° est la plus grande et occupe plus de 40% de la surface de la province (Tableau 4.2). La répartition de cette pente essentiellement couvre la plaine littorale à l'est et la vallée A Luoi à l'ouest. La pente de 2,5° - 15° est répartie souvent sur les collines, en marge de la plaine et le long des grandes vallées. La pente de 15° - 30° occupe une superficie appréciable, près de 30% du territoire total. C'est un versant fréquent en montagne à l'ouest et au sud de Thua Thien - Hué. Ici, la pente de 30° à 45° est aussi trouvée mais avec une superficie plus petite, environ 18% du total. La pente > 45°

occupe une très petite superficie (2%), répartie de façon éparse en montagne à l'ouest et au sud de la région.

**Tableau 4.2. Statistique des pentes**

Classe	Superficie (pixel)	Pourcentage
< 2,5	2216558	43
2,5 - 15	449016	9
15 - 30	1518269	29
30 - 45	912128	18
> 45	93851	2
<b>Total</b>	<b>5189822</b>	<b>100</b>

Un échantillonnage est pris pour analyser la relation entre les pentes et le glissement de terrain (Figure 4.14). Le résultat montre que les glissements de terrain sont plus nombreux dans la classe de 15° à 30° (Tableau 4.3). Si les glissements sont normalisés par la surface, la classe de 30° à 45° a la valeur la plus élevée. En utilisant ce critère de densité de glissement, les classes de pente sont pondérées de 1 pour la classe « moins de 2,5° » à 9 pour la classe « de 30° - 45° » (Tableau 4.3).



**Figure 4.14. Echantillonnage de pente**

**Tableau 4.3. Rapport entre la pente et le glissement de terrain par l'échantillonnage**

Numéro	Pente (°)	Superficie (pixel)	Nombre de glissement	Densité de glissement (glis./pixel)	de poids
1	< 2,5	343851	2	$0,58165 \cdot 10^{-5}$	1
2	2,5 - 15	82294	3	$3,64547 \cdot 10^{-5}$	2
3	15 - 30	172121	18	$10,45776 \cdot 10^{-5}$	5
4	30 - 45	69853	14	$20,04209 \cdot 10^{-5}$	9
5	> 45	5612	1	$17,81896 \cdot 10^{-5}$	8

#### 4.4.2. Rapport entre les précipitations et les glissements de terrain

En effet, les glissements se passent plus fréquemment aux endroits où les précipitations sont plus abondantes et à la saison plus pluvieuse. Les pluies successives de la fin d'octobre au début de novembre 1999 ont atteint un seuil jamais enregistré à Thua Thien Hué. La pluviosité à Hué en 6 jours du 1 au 6 novembre 1999 a atteint 2288 mm, spécialement en 24 heures de 7h:00, le 2/11/1999 à 7h:00, le 3/11/1999, on a enregistré 1384 mm, un volume de pluviosité rare en 24 heures. De hautes valeurs ont aussi été enregistrées aux autres stations pluviométriques dans la région. Cela a provoqué des glissements qui ont causé beaucoup de dégâts que nous avons mentionné dans la rubrique 4.1.

Les glissements de terrain dans la région se produisent souvent pendant la pluie. La possibilité de glissement dépend de l'intensité et de la durée de pluie. Plus la pluie est forte et plus la durée pluvieuse est longue, plus le risque de glissement de terrain est élevé. Dans le Vietnam, la région de forte pluie et de longue durée est aussi la région de précipitations annuelles élevées donc qu'il y a une certaine relation entre les précipitations et les glissements de terrain. Cette relation y est mentionnée.

La variation spatiale de précipitation annuelle est estimée sur base des données enregistrées aux stations du réseau pluviométrique national dans la province Thua Thien Hué et ses alentours (Tableau 4.4). A partir de ces données, l'interpolation IDW (Inverse Distance Weighted – en anglais) est appliquée pour calculer tous les endroits dans la région. Cette interpolation suppose que chaque point d'entrée a une influence locale qui diminue avec la distance. Elle pèse sur les points plus proches d'un donné (la station pluviométrique) des valeurs plus grandes que ceux plus éloignés. Enfin, une carte de répartition des précipitations est levée (Figure 4.15).

**Tableau 4.4. Données des précipitations annuelles moyennes aux stations pluviométriques à Thua Thien Hué et ses alentours**

Province	Station	Temps d'observation	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Précipitations (mm)
Thua Thien Hué	Hué	1928-44, 1949-2003	107.5727	16.45558	17	2834
	A Luoi	1973-2002	107.3805	16.20431	600	3473
	Nam Dong	1973-2002	107.7182	16.16469	15	3652
	Phu Oc	1980-2001	107.4559	16.53648	-	2904
Quang Tri	Quang Tri	1959-1994	107.1844	16.73612	6	2503
	Khe Sanh	1977-2001	106.7255	16.61896	367	2089
	Dong Ha	1961-62, 1973-2000	107.0841	16.82639	4	2295
Da Nang	Da Nang	1930 - 2005	108.1902	16.04052	6	2111
Quang Nam	Tam Ky	21 ans	108.5334	15.37888	15	2531
	Tra My	22 ans	108.1740	15.21722	-	3840

Source : Institut de Géographie – Académie des Sciences et de la Technologie

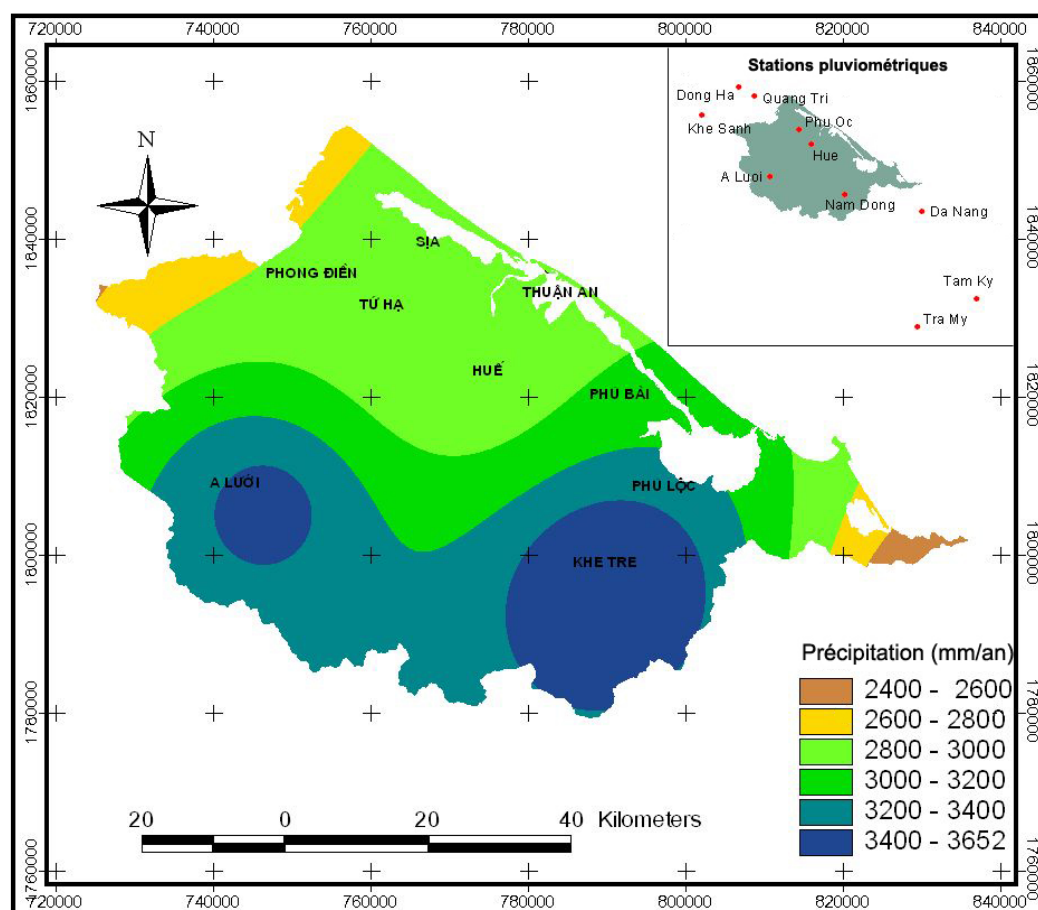


Figure 4.15. Répartition des précipitations à Thua Thien Hué

En général, Thua Thien Hué est une région pluvieuse avec des précipitations annuelles moyennes de plusieurs années de 2.400 mm à 3.600 mm. Les valeurs maximales connues en 1999 sont supérieures à 5.000 mm, plus précisément : Hué - 5123mm, Nam Dong – 5.812 mm et A Luoi – 5.911 mm. La précipitation annuelle a une tendance à augmenter de l'est à l'ouest, de la côte à l'intérieur.

Pour analyser la relation entre la précipitation et le glissement de terrain, l'échantillonnage est utilisé avec une région clé couvrant toutes les classes de précipitation. Pour la région clé qui est déjà définie (Figure 4.11), les précipitations donc doivent être classifiées pour répondre à cette condition. Dans ce cas, elles sont divisées en deux classes : inférieure et supérieure à 3.000 mm/an et puis elles sont échantillonnées dans la région clef (Figure 4.16). Le résultat montre que la densité de glissements de terrain augmente avec les précipitations. En se basant sur leur densité, les poids 1 et 9 sont assignés aux classes inférieure et supérieure à 3.000 mm/an respectivement (Tableau 4.5).

Tableau 4.5. Rapport entre les précipitations annuelles et les glissements de terrain par l'échantillonnage

Numéro	Précipitations (mm)	Surface (pixel)	Nombre de glissements	Densité de gliss. (gliss./pixel)	Poids
1	2400 - 3000	349709	7	$2,00166.10^{-5}$	1
2	3000 - 3652	324022	31	$9,56725.10^{-5}$	9

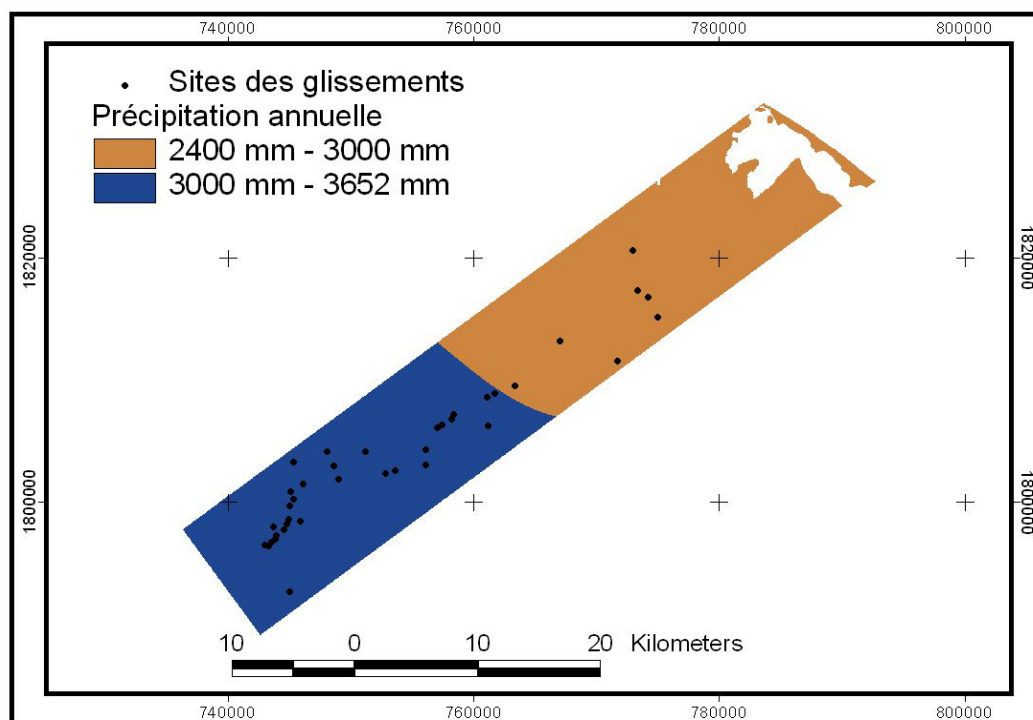


Figure 4.16. Echantillonnage de précipitation

#### 4.4.3. Rapport entre l'occupation du sol et les glissements de terrain

L'influence de l'occupation du sol sur les glissements de terrain reflète une certaine partie de l'influence anthropique au glissement. La carte publiée par le Service de l'Agriculture et du Développement Rural de la province de Thua Thien Hué en 2005 exprime que le sol est classé en 18 affectations (Tableau 4.6).

Tableau 4.6. Affectation du sol à Thua Thien - Hué

#	Type d'affectation du sol	#	Type d'affectation du sol
1	Rizière	10	Sol de construction
2	Essart	11	Vestiges historiques et culturels
3	Plantes industrielles	12	Cimetière
4	Fruitiers	13	Sol d'habitation rurale
5	Plan d'eau pour aquaculture	14	Sol urbain
6	Forêt de production	15	Sol de plaine en friche
7	Forêt de protection	16	Sol de montagne et de colline en friche
8	Forêt primitive	17	Plan d'eau naturel
9	Sol à usage défini	18	Rivière et ruisseau

Source : Service de l'Agriculture et du Développement rural de Thua Thien Hué

Pour estimer l'influence de l'affectation du sol sur les glissements, ces 19 types sont groupés par le caractère de couverture (Dai et Lee, 2001) en 6 classes suivantes :

- Forêt : Forêt de production, Forêt de protection et Forêt primitive
- Lande de plaine : Sol de plaine en friche et Cimetière
- Lande de montagne : Sol de montagne et de colline en friche.

- Résidence : Sol urbain, Sol à usage défini, Sol de construction, Sol aux vestiges historiques et culturels et Sol d'habitation rurale
- Agriculture : Rizière, Essart, Fruitiers et Plantes industrielles.
- Surface d'eau : Plan d'eau pour aquaculture, Plan d'eau naturel, Rivière et ruisseau. La grande lagune de Tam Giang – Cau Hai n'y est pas comptée comme dans toutes les autres cartes.

Une nouvelle carte d'occupation du sol en 6 classes a été levée en se basant sur son original fait en 2002 et sur les images satellitaires (Figure 4.17). Environ trois-quarts du territoire au sud-ouest est occupé par la forêt et la lande de la montagne (

Tableau 4.7). La forêt est souvent répartie dans les hautes montagnes alors que la lande occupe une grande partie des territoires à basse attitude.

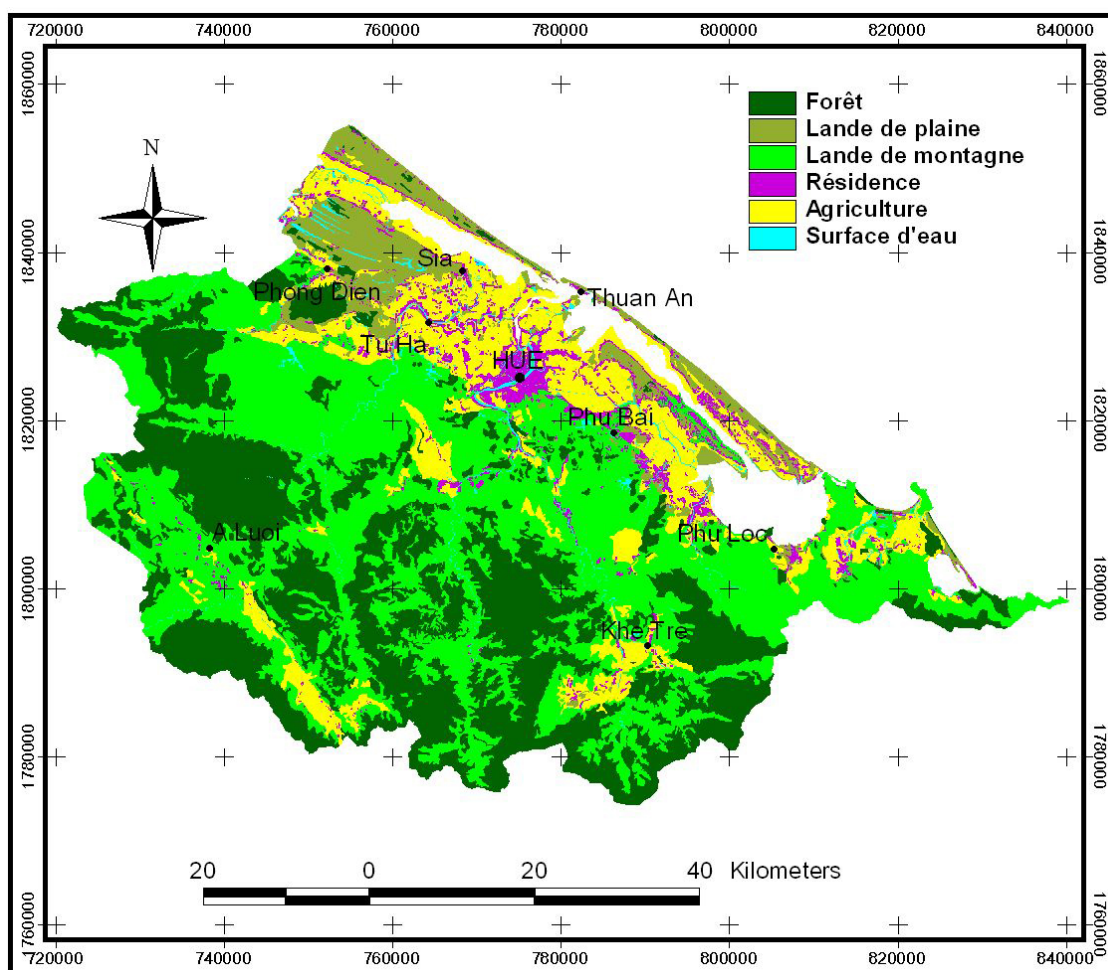


Figure 4.17. Occupation du sol à Thua Thien – Hué



La lande de la plaine occupe 7% du territoire largement au nord et au littoral sur les dunes sableuses. Le sol agricole occupe une grande surface de la plaine et se trouve aussi dans les grandes vallées, il couvre 14% de la surface du territoire. La résidence est principalement en plaine où sont concentrés les centres urbains les plus importants de la région.

**Tableau 4.7. Statistique d'occupation du sol**

<b>Classe</b>	<b>Superficie (pixel)</b>	<b>Pourcentage</b>
Forêt	1675811	32
Lande de plaine	350644	7
Lande de montagne	2135818	41
Résidence	224953	4
Agriculture	734345	14
Surface d'eau*	68251	1
<b>Total</b>	<b>5189822</b>	<b>100</b>

\*Sauf la lagune de Tam Giang – Cau Hai

L'échantillonnage (Figure 4.18) montre que, les glissements se passent plus souvent à la lande de la montagne à cause du couvert végétal clairsemé et même nul à certains endroits. Dans les landes de plaine, les glissements ne sont pas trouvés parce que le sol est composé de sables éoliens ou marins et que la pente est faible.

En se basant sur la densité de glissements, les 6 classes d'occupation du sol sont pondérées sur une échelle de 1 à 9 poids (Tableau 4.8). A la classe de densité plus basse est assignée la valeur 1 et celle de densité plus élevée la valeur 9. Le plan d'eau, évidemment n'est pas pondéré parce que le glissement de terrain ne s'y passe jamais.

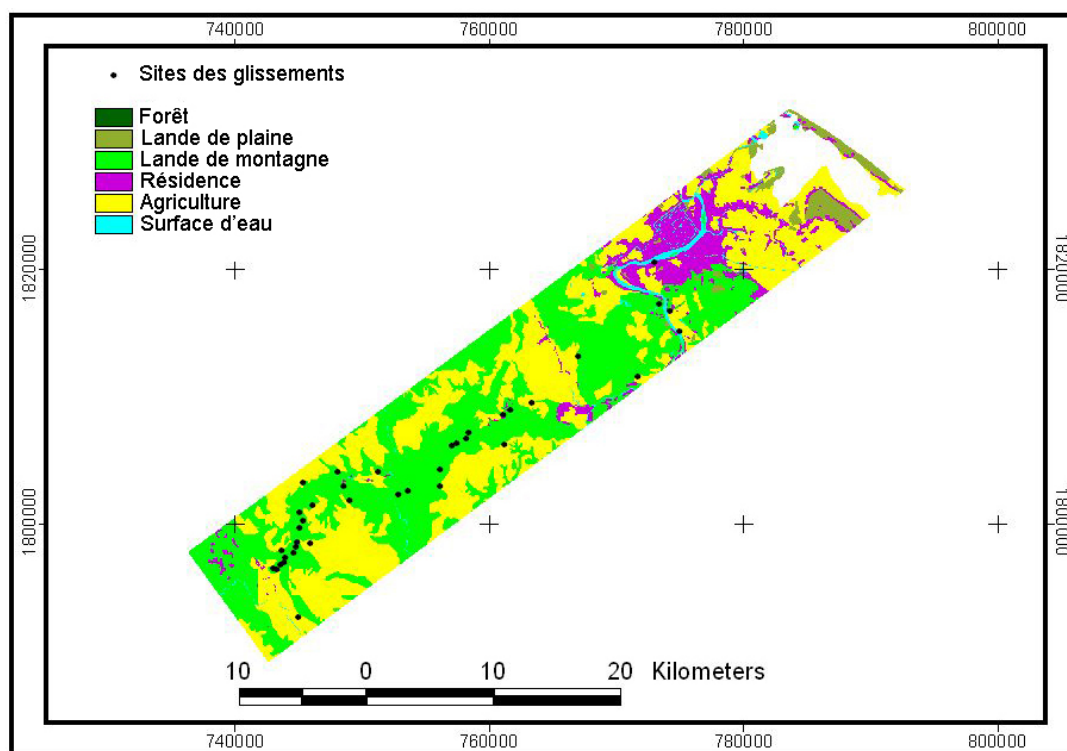


Figure 4.18. Échantillonnage d'occupation du sol

Tableau 4.8. Rapport entre l'occupation du sol et les glissements de terrain par l'échantillonnage

#	Occupation du sol	Surface (pixel)	Nombre de glissements	Densité de gliss. (gliss./pixel)	Poids
1	Forêt	155256	7	$4,50868.10^{-5}$	5
2	Lande de la plaine	22233	0	0	1
3	Lande de montagne	287663	27	$9,38598.10^{-5}$	9
4	Résidence	64141	3	$4,67720.10^{-5}$	5
5	Agriculture	131762	1	$0,75894.10^{-5}$	2
6	Surface d'eau	12676	0	0	-

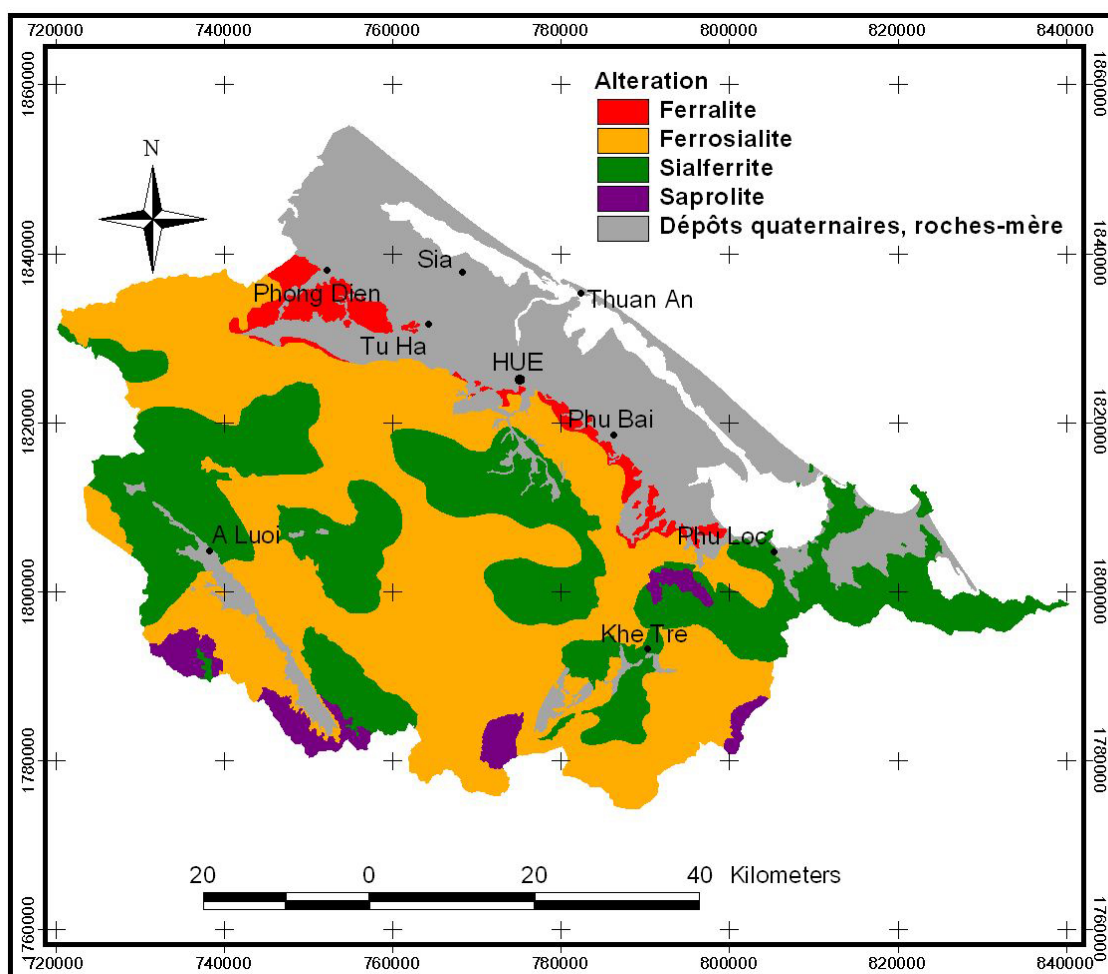
#### 4.4.4. Rapport entre l'altération et les glissements de terrain

La couche d'altération couvre les trois-quarts du territoire. Presque tous les glissements de terrain s'y sont produits. Plus la couche d'altération est épaisse, plus la probabilité de glissements est élevée. Évidemment, l'épaisseur d'altération est un paramètre important pour estimer le glissement de terrain, mais malheureusement, cette information n'est pas présente dans toutes les cartes de couche d'altération pour le Vietnam.

En basant sur le diagramme de trois composants  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , la couche d'altération du Vietnam est divisée dans les types géochimiques suivants: saprolite (pas d'altération chimique), silicite (Si), sialite (SiAl), allite (Al), sialferite (SiAlFe), alferite (AlFe), ferrosialite (FeSiAl), ferralite (FeAl) et ferrite (Fe) (Ngo Quang Toan, 2000). Cette classification reflète le niveau d'évolution à travers l'altération chimique. Chaque type d'altération est formé dans un ensemble déterminé des conditions: roche mère, terrain,

climat, végétation et il est caractérisé par des propriétés déterminées : épaisseur, composition chimique, minéraux argileux. Tout ceci indique une condition d'un type d'altération qui a une certaine sensibilité au glissement de terrain. Donc la classification de couche d'altération en type chimique peut être utilisée pour analyser le glissement de terrain. Une carte extraite de celle de **Couche d'altération et de dépôts quaternaires du Vietnam** levée par Ngo Quang Toan (2000) présente la région de Thua Thien Hué en 5 classes : Ferralite, Ferrosialite, Sialferrite, Saprolite et Dépôts quaternaires et roches-mère (Figure 4.19). La carte est à l'échelle de 1 :500.000, une échelle un peu trop petite pour analyser, ce qui peut limiter la précision du résultat.

La couche d'altération de ferralite occupe une petite surface dans la région, 3% du total (Tableau 4.9). Elle est répartie sur les collines à la marge des plaines. En gros, elle est formée sur le terrain en pente douce de 3 - 10° avec une végétation moins développée. Dans la couche ferralitique, deux types sont distingués : latéritique et de concrétion. Le profil complet du premier se compose des zones suivantes, de haut en bas : sol, concrétion, latérite, argile bariolé, saprolite et roche-mère. Le deuxième est similaire mais absent de la zone latéritique. L'épaisseur de couche ferralitique varie de 2 m jusqu'à environ 30 m. Elle se forme sur des roches terrigènes et métamorphiques dans les conditions topographique et hydrologique favorable à la ferralitisation. L'assemblage minéral y présente goéthite – kaolinite dont la kaolinite est un minéral argileux, ce qui peut provoquer le glissement de terrain.



**Figure 4.19. Couche d'altération à Thua Thien - Hué**

(Extrait de la Carte de couche d'altération et de dépôts quaternaires du Vietnam – Ngo Quang Toan., 2000 )

**Tableau 4.9. Statistiques relatives à l'altération**

Classe	Superficie (pixel)	Pourcentage
Ferralite	143905	3
Ferrosialite	2154804	42
Sialferrite	1449946	28
Saprolite	139705	3
Dépôts quaternaires et roches-mère	1301462	25
<b>Total</b>	<b>5189822</b>	<b>100</b>

La couche d'altération ferrosialitique se trouve très largement dans la région, 42% du territoire. Elle se développe sur presque toutes sortes de roches à différentes altitudes. Son profil complet comprend 5 zones, de haut en bas : sol, argile bariolée, argile claire, saprolite et roche-mère. L'épaisseur de la couche de ferrosialite varie de 3 à 40 m en fonction de la pente. Selon la nature de la roche-mère, la couche d'altération ferrosialitique présente les assemblages minéraux typiques suivants :

- Kaolinite – hydromica - goethite pour les roches effusives, intrusives acides ou intermédiaires, les roches terrigènes intercalées avec effusives.
- Kaolinite (goethite - gibbsite) pour les roches effusives basiques
- Kaolinite – goethite - montmorillonite pour les roches intrusives basiques et ultrabasiques
- Kaolinite - goethite - hydromica pour les roches terrigènes et métamorphiques

La couche d'altération de sialferrite occupe une grande superficie, 28% du territoire. Elle se trouve sur les granites, schistes, schistes quartzeux et feldspath. Son profil complet comprend 5 zones : sol, argile bariolée, argile claire, saprolite et roche-mère. Les minéraux principaux de cette couche sont kaolinite, hydromica, goethite sur les roches acides et hydromica, kaolinite, goethite sur les roches ultrabasiques.

Le saprolite est un produit détritique formé par la décomposition de la roche-mère. Sa superficie est modeste, seulement 3% du territoire total. De plus elle est disséminée sur les hautes montagnes, dont la pente est de plus de 40°. Le profil exprime seulement une zone détritique sur la roche-mère. Le saprolite conserve encore la nature de la roche-mère. La composition chimique ou minérale ne change presque pas. On y trouve fréquemment des éboulements et rarement des glissements de terrain.

Les dépôts du Quaternaire et les roches affleurantes sont un cas spécial de couche d'altération. Les dépôts couvrent une grande surface à la plaine côtière et le long des grandes vallées. L'affleurement de roche-mère est insignifiant dans la région.

Dans la zone d'échantillonnage, les glissements de terrain sont plus nombreux sur la couche d'altération ferrosialitique et, à la suite, sialferritique (Figure 4.20, Tableau 4.10). Mais pour la densité de glissement, celle ferralitique est la plus élevée. On trouve aussi que le risque de glissement augmente en fonction du niveau d'altération chimique : Sialferrite → Ferrosialite → Ferralite. La pondération pour chaque classe par la normalisation de densité sur l'échelle de 1 à 9 est présentée dans le Tableau 4.10. La classe de saprolite, qui ne se trouve pas dans la région d'échantillonnage et, en réalité, le glissement s'y passe rarement, est pondérée à 1, le poids minimum.

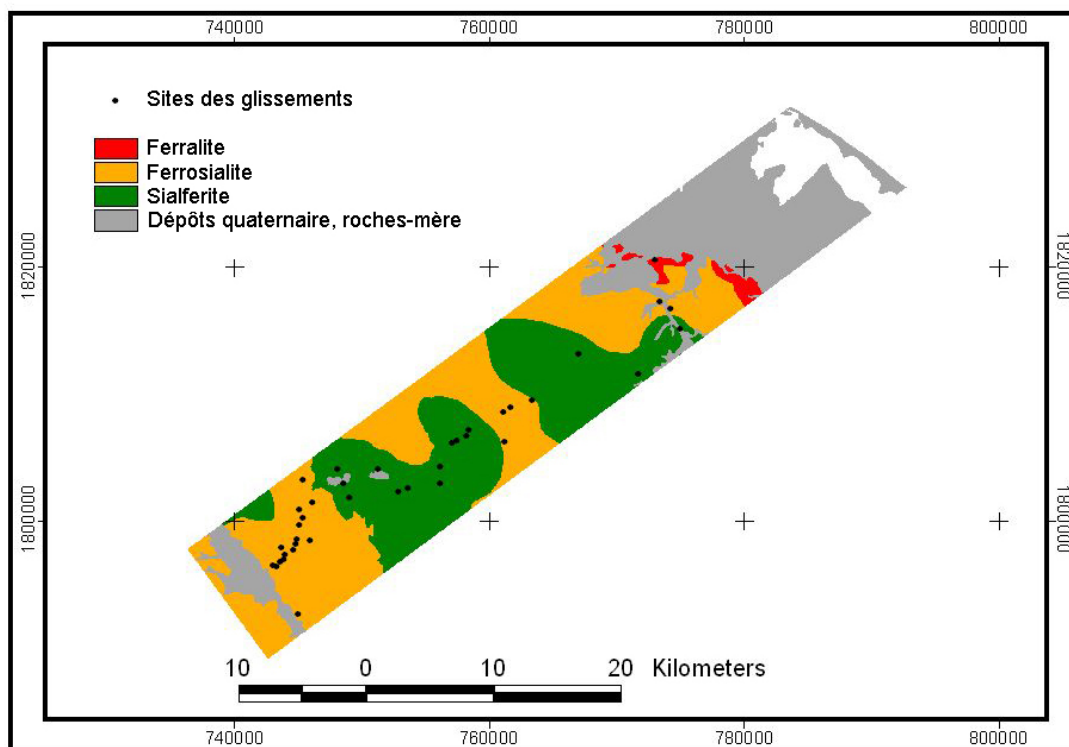


Figure 4.20 Echantillonnage d'altération

Tableau 4.10. Rapport entre l'altération et les glissements de terrain par l'échantillonnage

#	Couche d'altération	Surface (pixel)	Nombre de glissements	Densité de gliss. (gliss./pixel)	Poids
1	Ferralite	10193	1	$9,81065.10^{-5}$	9
2	Ferrosialite	259583	22	$8,47513.10^{-5}$	8
3	Sialferrite	210285	15	$7,13318.10^{-5}$	7
4	Saprolite*	0	0	-	1
5	Dépôts quaternaires, roches-mère	193670	0	0	1

\* La classe « saprolite » ne se trouve pas dans la région d'échantillonnage, donc elle est pondérée à 1, le poids minimum.

#### 4.4.5. Rapport entre la lithologie et les glissements de terrain.

La géologie de Thua Thien Hué a déjà été cartographiée à l'échelle de 1 :50.000 (Vu, 1994 ; Pham, 1997). Elle comprend 18 formations stratigraphiques et complexes intrusifs du Protérozoïque au Quaternaire (Figure 3.15). Leur influence sur les glissements de terrain est exprimée par les caractéristiques lithologiques notamment les propriétés physico-mécaniques. En se basant sur les caractéristiques lithologiques et la résistance au glissement de terrain (Ho et Doan, 1985), ces 18 formations et complexes géologiques peuvent être regroupés en 7 classes (Figure 4.21) dont une (classe 1) pour les dépôts meubles, les autres pour les roches dures avec 2 pour les roches sédimentaires non métamorphiques (classe 2 et 3), 2 pour les roches intrusives (classe 4 et 5) et 2 pour les roches métamorphiques (classe 6 et 7). Les superficies des classes sont présentées dans Tableau 4.11.

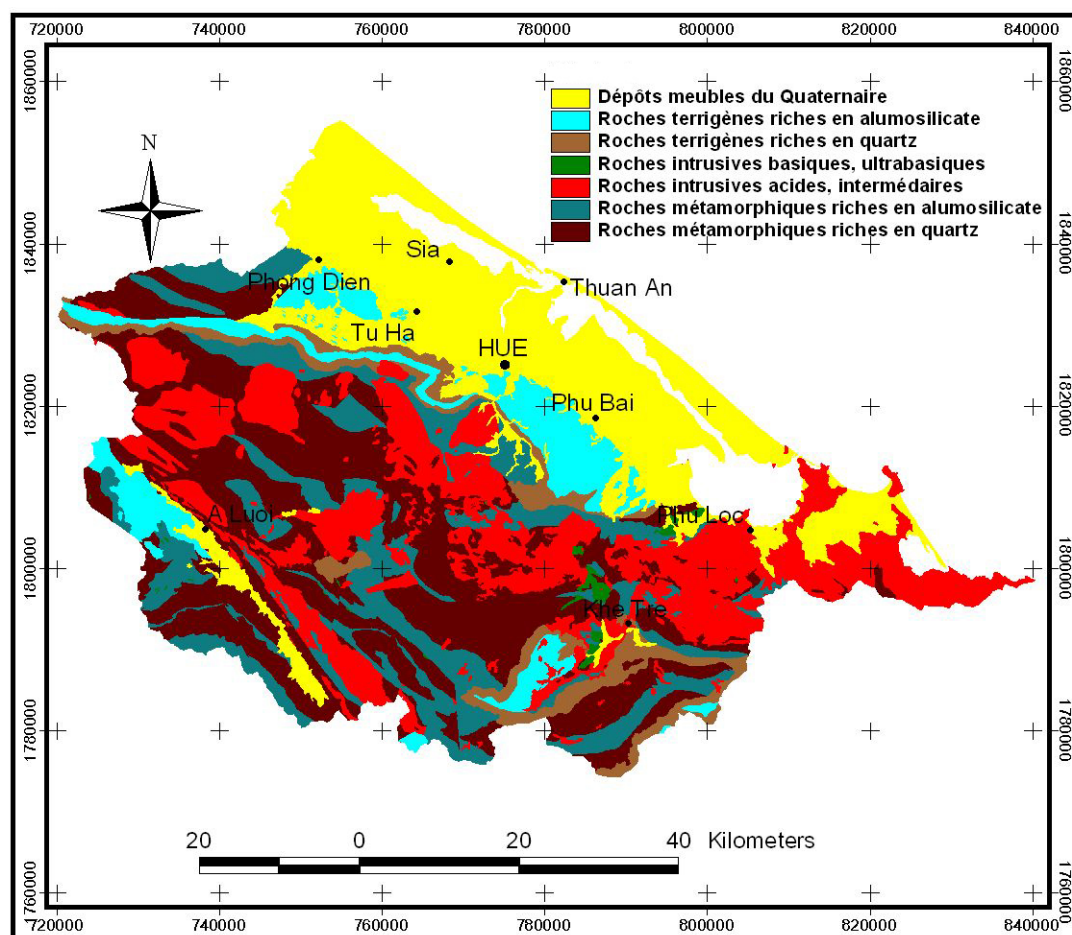


Figure 4.21. Lithologie de la région de Thua Thien Hué

Tableau 4.11. Statistique des classes lithologique

Classe	Superficie (pixel)	Pourcentage
Dépôts meubles	1281074	24,68
Roches terrigènes riches en alumosilicate	392719	7,57
Roches terrigènes riches en quartz	282727	5,45
Roches intrusives basiques, ultrabasiques	24712	0,48
Roches intrusives acides, intermédiaires	1142921	22,02
Roches métamorphiques riches en alumosilicate	739485	14,25
Roches métamorphiques riches en quartz	1326184	25,55
<b>Total</b>	<b>5189822</b>	<b>100,00</b>

*Classe 1 : Dépôts meubles du Quaternaire.* Elle comprend des dépôts appartenant aux formations suivantes :

- Formation de Quang Dien du Pléistocène moyen – supérieur
- Formation de Phu Xuan du Pléistocène supérieur
- Formation de Phu Bai de l’Holocène inférieur – moyen
- Formation de Phu Vang de l’Holocène moyen – supérieur
- Dépôts du Quaternaire non différenciés

Ces dépôts occupent environ 25% de la surface du territoire (Tableau 4.11). Ils se trouvent principalement sur la plaine littorale mais aussi le long des vallées notamment le long de la

vallée de A Luoi, la plus importante de la région. Ils sont composés de cailloux, graviers, sables, limons, argiles et matériaux organiques.

*Classe 2 : Roches terrigènes riches en alumosilicate.* Cette classe comprend des roches terrigènes riches en alumosilicate, les roches sédimentaires, les roches sédimentaires calcaires et les roches carbonatées qui se trouvent principalement à la marge de la plaine, au NO de A Luoi et au SO de Khe Tre et qui appartiennent aux formations suivantes.

- Formation de Tan Lam : les membres 2, 3 et 4 du Dévonien
- Formation de Phong Son du Dévonien supérieur - Carbonifère inférieur
- Formation de A Lin du Permien

*Classe 3 : Roches terrigènes riches en quartz.* comprennent des roches sédimentaires terrigènes riches en quartz, conglomérats, grès quartzeux, quartzites et schistes siliceux. Ce sont les roches du membre 4 de la Formation de Tan Lam de Dévonien qui se trouvent au sud de Khe Tre et à l'ouest de Phong Dien - Hué

*Classe 4 : Roches intrusives basiques, ultrabasiqes.* Elles sont trouvées à Khe Tre et à l'ouest de Phu Loc sur une superficie insignifiante, moins de 1% du total du territoire. Elle appartiennent aux :

- Complexe de A Bung du Paléozoïque inférieur
- Complexe de Cha Van du Trias supérieur

*Classe 5 : Roches intrusives acides, intermédiaires.* Ces roches se répartissent sur une grande superficie, 22 % de la région, à la montagne : SO Hué – Phu Loc, Nam Dong (Khe Tre), A Luoi. Ce sont les complexes suivants

- Complexe de Tra Bong du Paléozoïque supérieur
- Complexe de Dai Loc du Dévonien
- Complexe de Que Son du Permien supérieur – Trias inférieur
- Complexe de Hai Van du Trias supérieur
- Complexe de Ba Na du Crétacé

*Classe 6 : Roches métamorphiques riches en alumosilicate* occupe 14% de la superficie du territoire. Les formations suivantes appartiennent à cette classe.

- Formation de Nui Vu du NéoProtérozoïque - Cambrien, sub-formation inférieure
- Formation de A Vuong du Cambrien moyen – Ordovicien inférieur, sub-formation supérieure
- Formation de Long Dai de Ordovicien inférieur – Silurien inférieur, sub-formation 3 et 4.

*Classe 7 : Roches métamorphique riches en quartz* intercalées avec celles riches en alumosilicate. Sa répartition est liée étroitement à la classe 6. Elle est trouvée sur une grande superficie, 26% du total, dans la région entre Hué – A Luoi – Khe Tre. Les roches de cette classe appartiennent aux formations suivantes

- Formation de Nui Vu du NéoProtérozoïque - Cambrien, sub-formation supérieure
- Formation de A Vuong du Cambrien moyen – Ordovicien inférieur, sub-formation inférieure – moyenne.
- Formation de Long Dai de l'Ordovicien inférieur – Silurien inférieur, sub-formation 1 et 2.

Les statistiques d'un échantillonnage (Figure 4.22) montrent que les glissements de terrain sont trouvés plus nombreux sur la classe des Roches métamorphiques riches en aluminosilicate, et qu'il n'y a aucun glissement de terrain dans la classe de dépôts meubles (Tableau 4.12). La pondération sur base de la normalisation de la densité sur l'échelle de 1 à 9 donne une valeur plus élevée (9) pour la classe des Roches métamorphiques riches en aluminosilicate et une valeur plus basse (1) pour la classe des Dépôts meubles. La classe des Roches intrusives basiques et ultrabasiques, qui a une faible répartition dans la région (0,48% du territoire entier), n'est pas trouvée dans la région d'échantillonnage. Elle est alors pondérée à 1, le poids minimum.

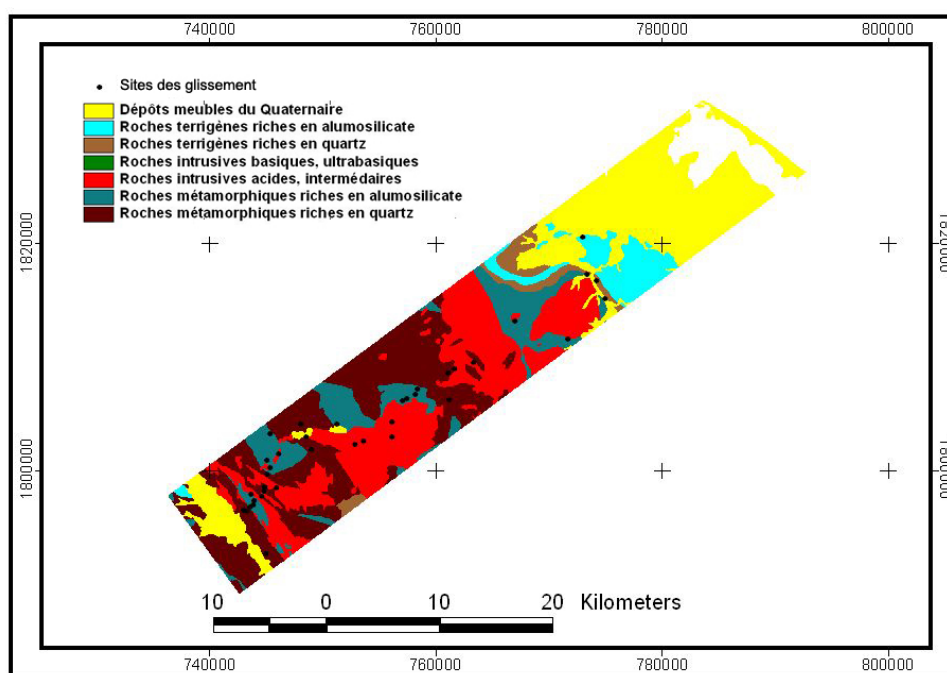


Figure 4.22. Echantillonnage lithologique

Tableau 4.12. Rapport entre la lithologie et le glissement de terrain par l'échantillonnage

No	Lithologie	Surface (pixel)	Nombre glissement	Densité de gliss. (gliss./pixel)	Poids
1	Dépôts meubles du Quaternaire	193670	0	0	1
2	Roches terrigènes riches en aluminosilicate	40740	1	$2,45459 \cdot 10^{-5}$	2
3	Roches terrigènes riches en quartz	20232	3	$14,82800 \cdot 10^{-5}$	8
4	Roches intrusives basiques, ultrabasiques*	0	0	-	1
5	Roches intrusives acides, intermédiaires	173497	12	$6,91655 \cdot 10^{-5}$	4
6	Roches métamorphiques riches en aluminosilicate	77970	13	$16,67308 \cdot 10^{-5}$	9
7	Roches métamorphiques riches en quartz	167622	9	$5,36922 \cdot 10^{-5}$	4

\* La classe de Roches intrusives basiques, ultrabasiques ne se trouve pas dans la région d'échantillonnage, donc elle est pondérée à 1, le poids minimum



#### 4.4.6. Rapport entre le pendage et les glissements de terrain

Les données de structure géologique ont été utilisées dans les modèles de glissement par Lee *et al.* (2002) et Donati et Turrini (2002). Au Vietnam, le rôle de la structure géologique dans les glissements de terrain est abordé mais, pour le moment, il n'y a aucun modèle tenant compte de ces données. La structure géologique est liée aux roches stratifiées, c'est-à-dire les sédimentaires ou les sédimentaires métamorphisées. La probabilité de glissement dépend de la relation entre la structure géologique ou le pendage et la surface de terrain.

Les roches sédimentaires, à cause des mouvements tectoniques, sont déformées, plissées avec des couches aux différents pendages qui sont caractérisées par:

- L'azimut : l'angle entre la projection sur la surface horizontale et le nord. L'azimut variant de  $0^{\circ}$  -  $360^{\circ}$  indique l'orientation d'une couche géologique.
- L'angle d'inclinaison : l'angle entre la ligne de plus grande inclinaison ou de plus grand pente d'une couche géologique et la surface plane horizontale. Cet angle varie de  $0^{\circ}$  à  $90^{\circ}$ .

Pour la surface de terrain, il y a aussi deux indications similaires :

- L'orientation du versant déterminée par l'angle entre la projection sur la surface horizontale et le nord. Elle varie de  $0^{\circ}$  à  $360^{\circ}$
- La pente du relief déterminée par l'angle entre la ligne de plus grande inclinaison du relief et la surface plane horizontale. Cet angle varie de  $0^{\circ}$  à  $90^{\circ}$ .

Les relations entre l'azimut de la roche et l'orientation du relief et entre l'inclinaison de la roche et la pente du relief jouent un rôle important pour le glissement de terrain dans la région des roches stratifiées. Les glissements se produisent plus facilement si l'azimut de la strate est de même sens que l'orientation du versant (Figure 4.23) et autant plus si l'inclinaison de la couche géologique est égale à la pente du relief. La possibilité de glissement décroît avec l'augmentation des différences entre l'azimut de la strate et l'orientation du versant et entre l'inclinaison de la couche géologique et la pente du relief.



**Figure 4.23. Glissement de terrain sur un plan de stratification**

(Photo : Phan Dong Pha, 2000)

Les roches stratifiées sont trouvées principalement au sud-ouest de Thua Thien Hué (Figure 4.24). Elles appartiennent aux 6 formations :

- Nui Vu du NéoProtérozoïque - Cambrien,

- A Vuong du Cambrien moyen – Odovicien inférieur,
- Long Dai du Ordovicien inférieur – Silurien inférieur,
- Tan Lam du Dévonien inférieur,
- Phong Son du Dévonien supérieur - Carbonifère inférieur et
- A Lin du Permien.

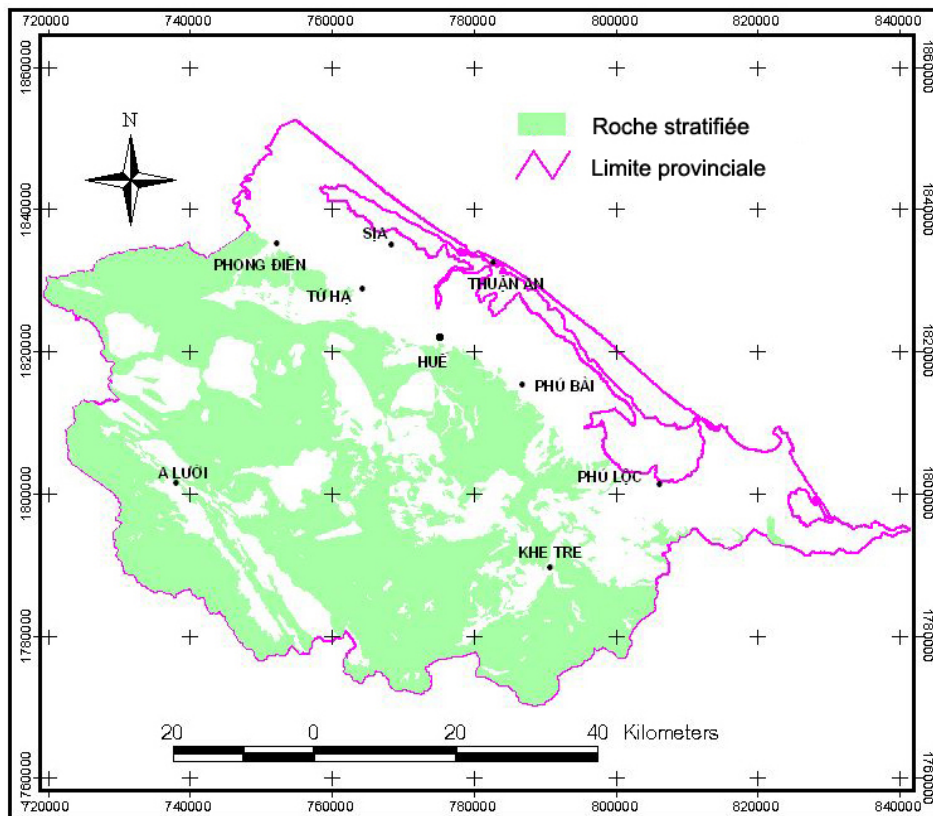


Figure 4.24. Répartition des roches stratifiées

L'analyse du rapport entre le pendage des roches et les glissements de terrain est donc basée sur les données suivantes :

- La pente du relief
- L'orientation du relief
- Le pendage des roches ou l'inclinaison
- L'azimut du pendage ou l'orientation de la pente de la couche

Les données de pente (Figure 4.13) et de l'orientation du relief (Figure 4.25) peuvent être obtenues à partir de MNT qui est créé en digitalisant les cartes topographiques à l'échelle de 1 :50.000. Pour analyser le rapport entre les orientations du relief et celles de la roche, les régions plates dans la carte d'orientation du relief sont éliminées (Figure 4.26).

Les cartes de l'inclinaison et de l'azimut d'orientation de la pente de roche sont levées en se basant sur les données présentées dans les cartes géologiques aux échelles 1 :200.000 et 1 :50.000 publiées par le Bureau de Géologie et des Ressources Minérales du Vietnam (Vu Manh Dien, 1994 ; Nguyen Xuan Duong, 1996 ; Nguyen Van Trang, 1996 ; Pham Huy Thong, 1997) et les données collectées lors du travail sur le terrain. Ce sont des données ponctuelles au nombre de 1005 points (Annexe 8).

La formation géologique est une unité stratigraphique de base qui comprend des couches (strates) géologiques successives. Chaque formation représente un événement géologique

spécifique (dépôt de tel sédiment à telle époque suivi d'un autre dépôt à une autre époque, etc.) ce qui permet de mieux comprendre l'histoire géologique d'un lieu. Donc les pentes dans une formation peuvent être regardés qu'ils varient d'un point à l'autre de façon continue. Les formations se distinguent par des discordances donc avec des pentes qui changent brusquement d'une formation à l'autre.

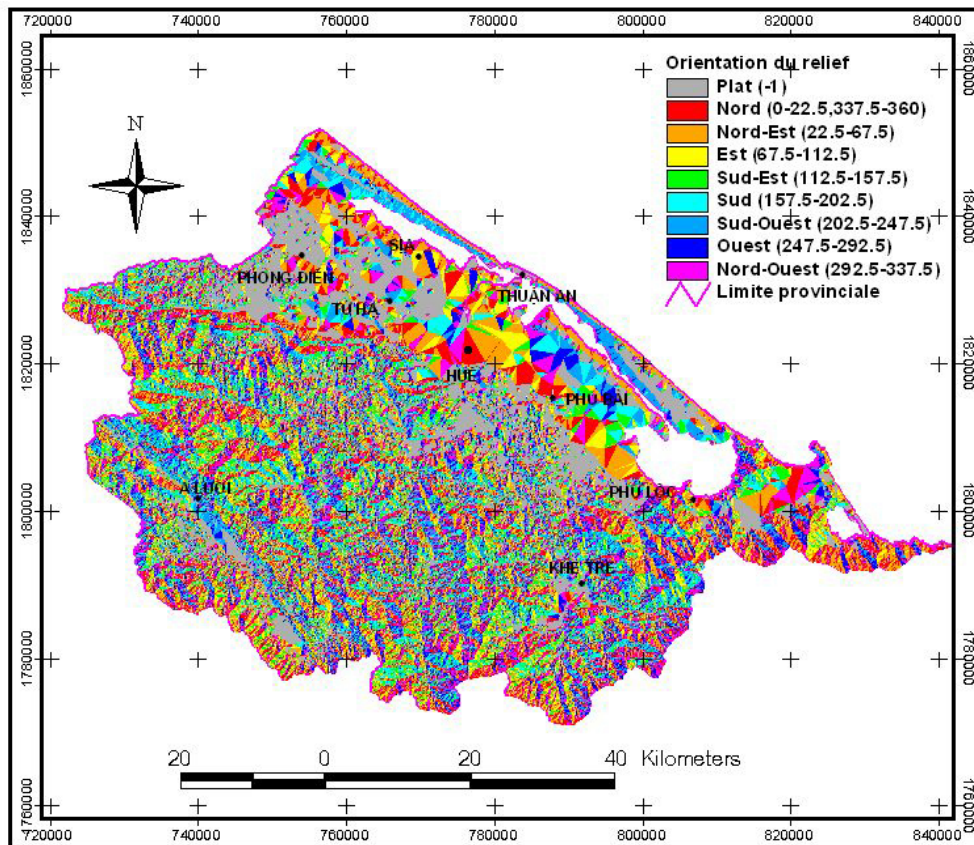


Figure 4.25. Orientation du relief à Thua Thien Hué

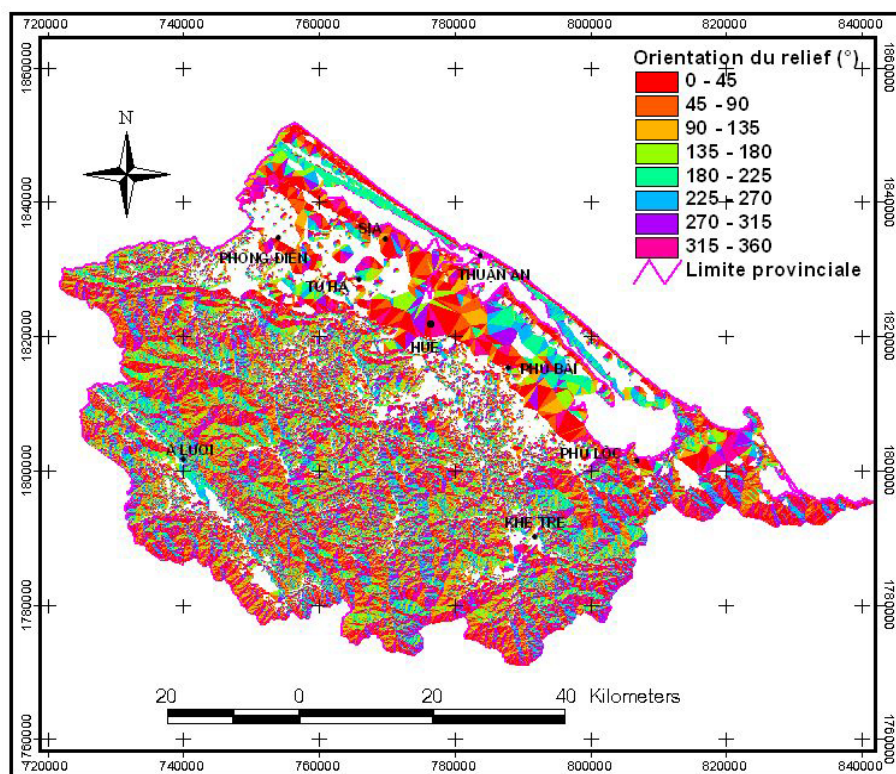


Figure 4.26. Orientation du relief sans compter les régions plates

Dans chaque formation, à partir des données ponctuelles du pendage, l'interpolation IDW est appliquée pour calculer tous les endroits en supposant que ces données varient continuellement. Les cartes d'inclinaison (Figure 4.27) et d'orientation (Figure 4.28) des roches stratifiées sont les intégrations des cartes respectives de six formations dans la région qui sont créées de cette façon.

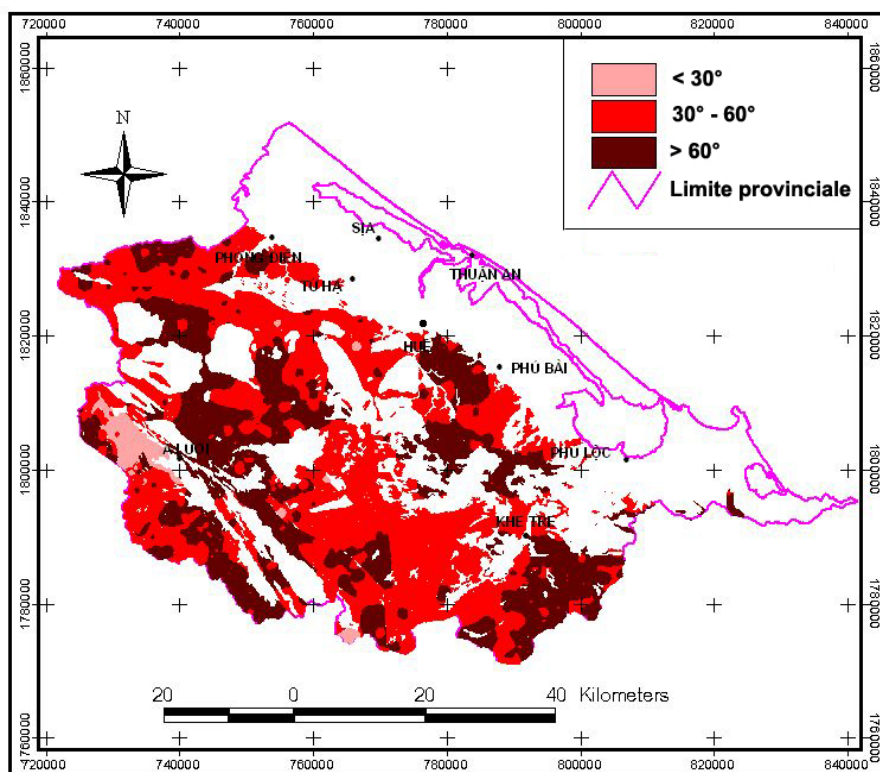


Figure 4.27. Inclinaison des couches dans les roches stratifiées

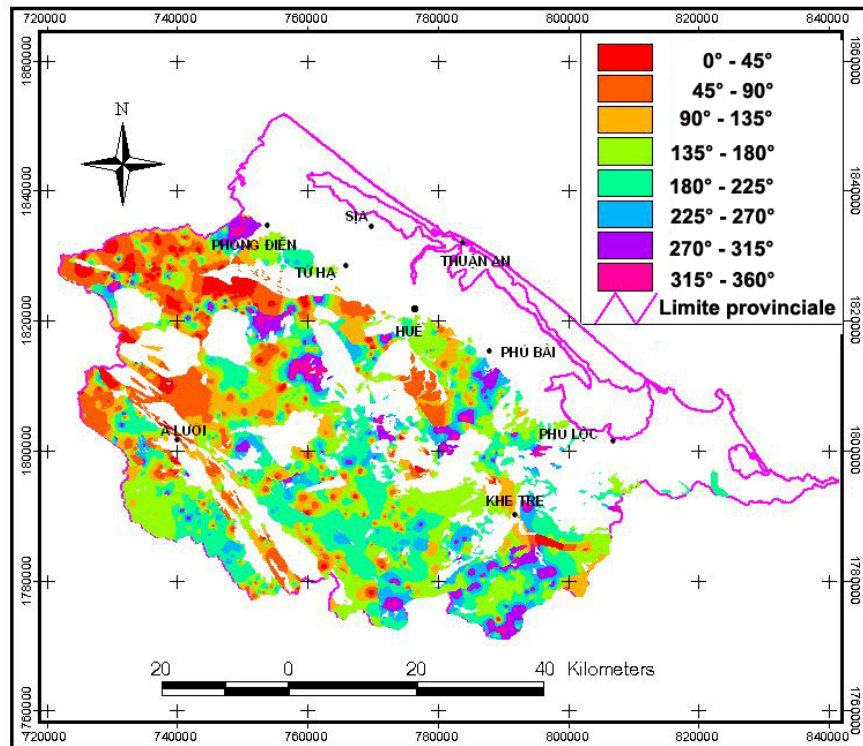


Figure 4.28. Azimut de l'orientation de la pente de la couche dans les roches stratifiées

La différence entre l'orientation penchée des roches et celle du relief est calculée par la Carte d'**orientation penchée** (Figure 4.28) moins la Carte d'**orientation du relief sans compter les régions plates** (Figure 4.26). Les valeurs dans ces deux cartes varient de  $0^\circ$  à  $360^\circ$ , donc la différence varie de  $-360^\circ$  à  $360^\circ$ . La valeur négative ou positive de la différence ne change pas la nature de la relation entre les orientations de pentement et du relief en glissement de terrain. Il est possible de convertir les valeurs de l'échelle  $[-360^\circ, 360^\circ]$  en  $[0^\circ, 360^\circ]$  pour la carte de différence de ces orientations en utilisant la fonction "ABSOLUTE" c'est à dire :

$$[\text{Différence}] = \text{Abs} ([\text{orientation penchée des roches}] - [\text{orientation du relief}])$$

Il y a des logiciels de SIG pour la réalisation, mais ARCVIEW est utilisé avec des données maillées en taille de 30 m. Dans ce cas, la seule intersection entre la surface d'orientation de relief non plat et celle des roches stratifiées est calculée, le reste est connu comme « non données » (Figure 4.29).

La possibilité de glissement diminue si cette différence varie de  $0^\circ$  à  $180^\circ$  et elle augmente si la différence continue à augmenter de  $180^\circ$  à  $360^\circ$ . Le glissement de terrain se produit plus facilement si la différence est  $0^\circ$  ou  $360^\circ$  et plus difficilement si la différence est  $180^\circ$ . Cette relation peut être exprimée en fonction du cosinus de la différence - **cos  $\alpha$**

$\cos \alpha = 1$ , si  $\alpha = 0^\circ$  ou  $360^\circ$ , plus favorable au glissement

$\cos \alpha > 0$ , si  $\alpha [0^\circ, 90^\circ]$  ou  $[270^\circ, 360^\circ]$ , favorable au glissement

$\cos \alpha = -1$ , si  $\alpha = 180^\circ$ , plus défavorable au glissement

$\cos \alpha < 0$ , si  $\alpha [90^\circ, 270^\circ]$  défavorable au glissement

$\cos \alpha = \cos (360^\circ - \alpha)$

La carte du cosinus des angles de différence entre les orientations des roches et du relief (Figure 4.30) peut être créée à partir de la carte de différence par une expression dans Arcview: **[cosinus différence] = ([Différence] \* 3.14159.AsGrid / 180.AsGrid).Cos**

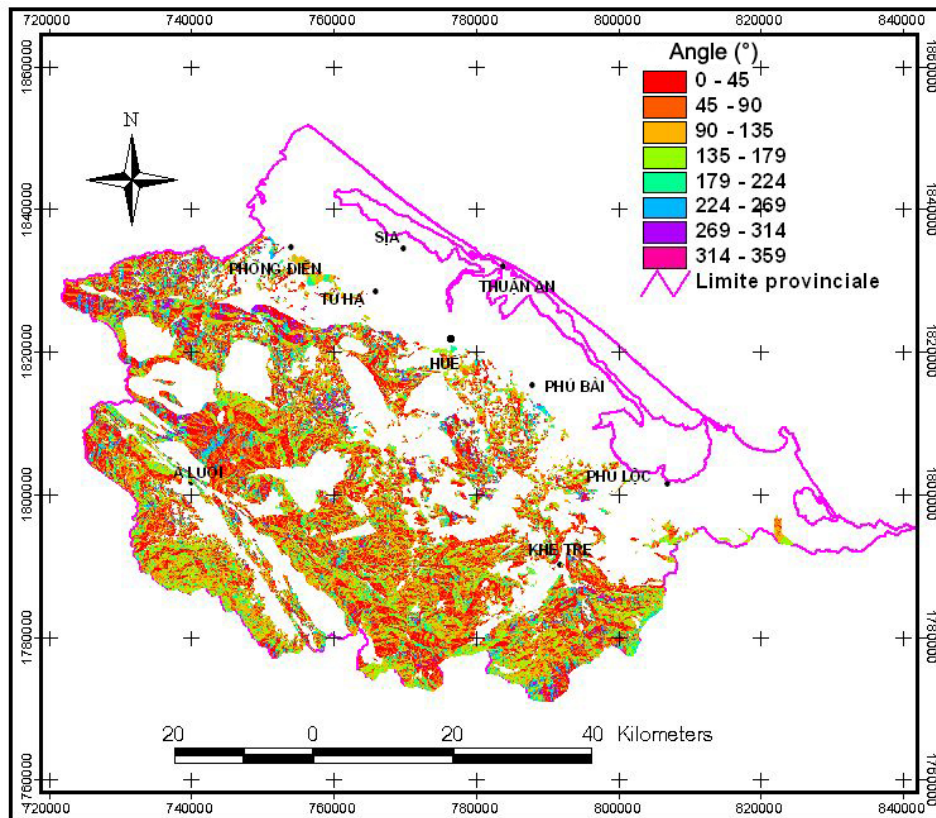


Figure 4.29. Différence entre les orientations des roches et du relief

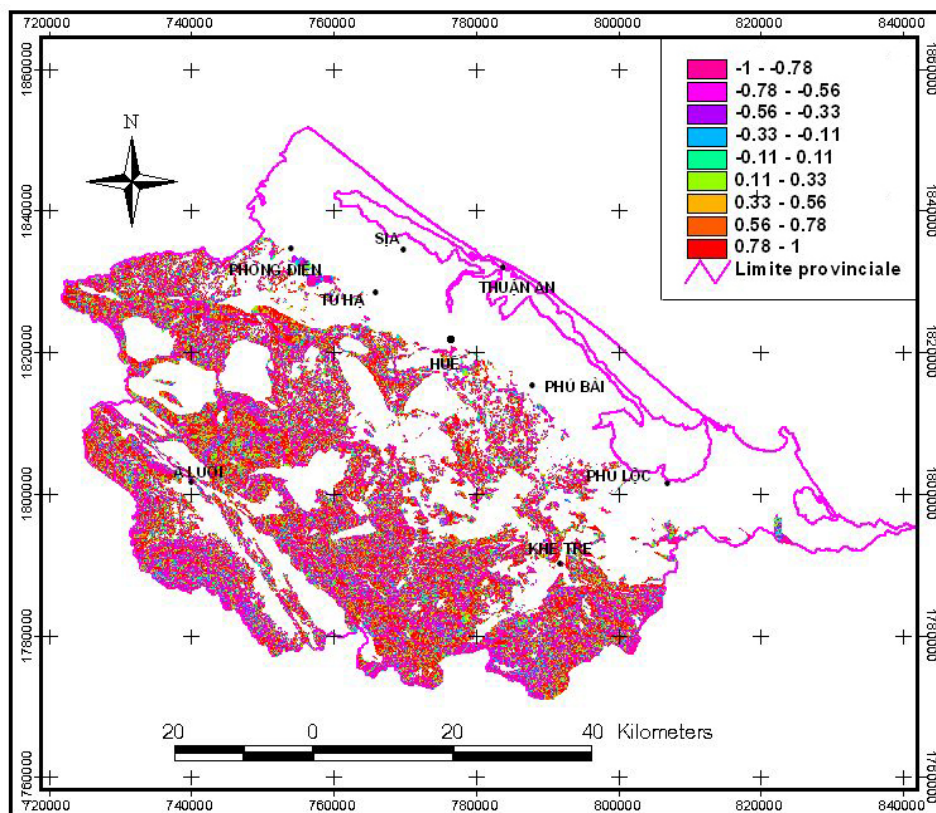


Figure 4.30. Cosinus des angles de différence entre les orientations des roches et du relief

Le rapport entre l'inclinaison des strates de roche et la pente du relief est estimé par la différence entre eux et est présentée par l'expression suivante :

$$[\text{Différence}] = [\text{Inclinaison des roches}] - [\text{Pente du relief}]$$

La valeur négative ou positive de la différence ne change pas la nature de cette relation donc qu'il est possible d'utiliser la fonction ABSOLUTE et l'angle de différence varie entre 0 et 90° (Figure 4.31). Il est aussi possible d'utiliser les données du cosinus de l'angle de différence entre l'inclinaison des roches et la pente du relief. Ces valeurs varient de 0 à 1 (Figure 4.32).

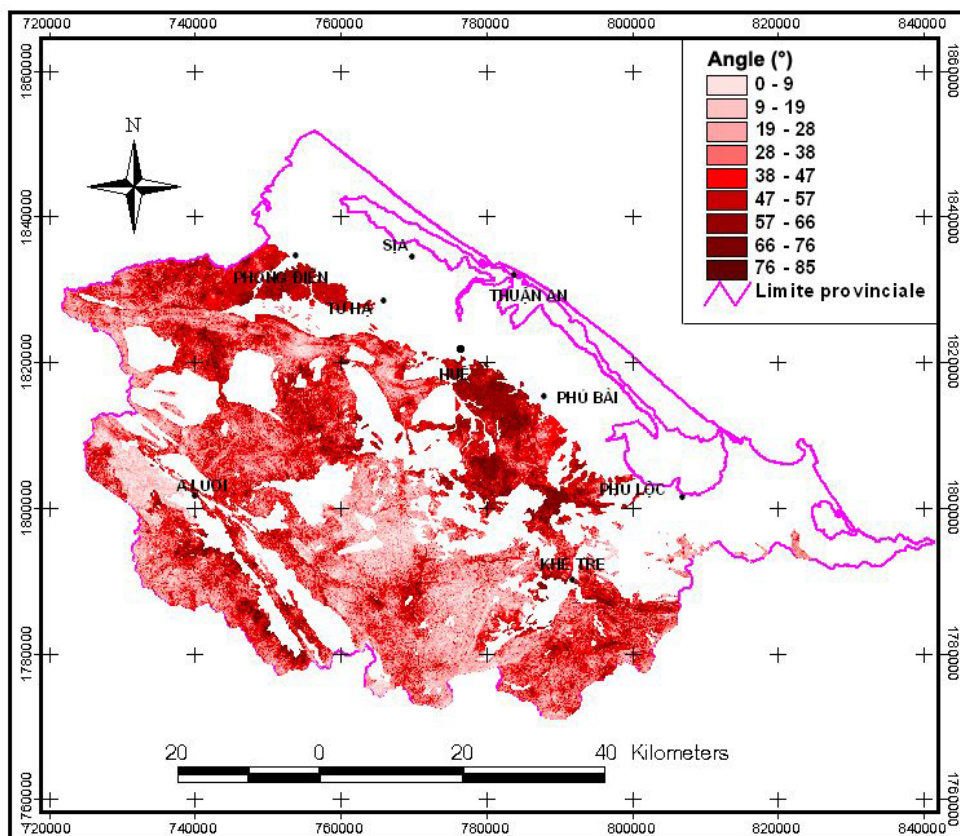


Figure 4.31. Différence entre l'inclinaison des roches et la pente du relief

En supposant que les orientations des roches et du relief sont dans le même sens, la condition est plus favorable au glissement de terrain si l'angle  $\beta$  de différence entre l'inclinaison des roches et la pente du relief est zéro ou  $\cos\beta = 1$ ; la plus défavorable si cet angle est 90° ou  $\cos\beta = 0$ . Donc la relation entre l'angle de différence  $\beta$  et le glissement de terrain peut être exprimée en  $\cos\beta$ .

En intégrant la différence  $\alpha$  entre l'orientation penchée des roches et celle du relief et la différence  $\beta$  entre l'inclinaison des roches et la pente du relief, la relation entre le pendage des roches et le glissement de terrain peut être exprimée en  $\cos\alpha \cdot \cos\beta$ . Cette valeur qui varie de 1 à -1 peut être utilisée comme l'indice d'influence du pendage sur le glissement (Figure 4.33).

- $\cos\alpha \cdot \cos\beta > 0$ , favorable au glissement de terrain
- $\cos\alpha \cdot \cos\beta < 0$ , défavorable au glissement de terrain
- $\cos\alpha \cdot \cos\beta = 0$ , neutre au glissement de terrain

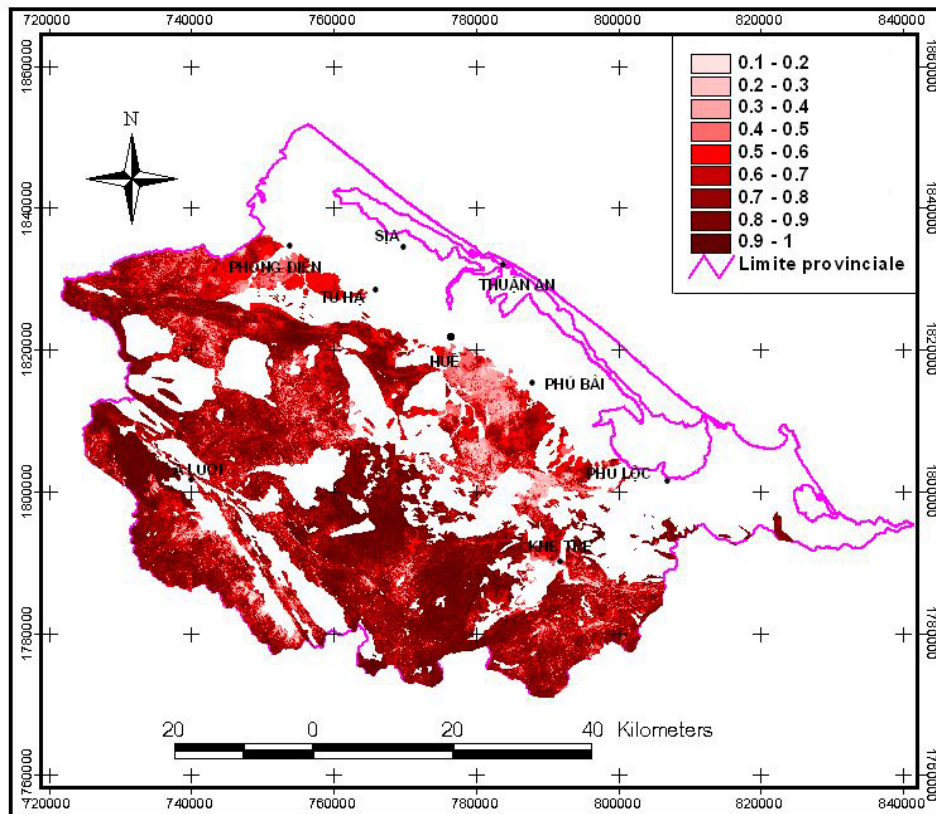


Figure 4.32. Cosinus de l'angle de différence entre l'inclinaison des roches et la pente du relief

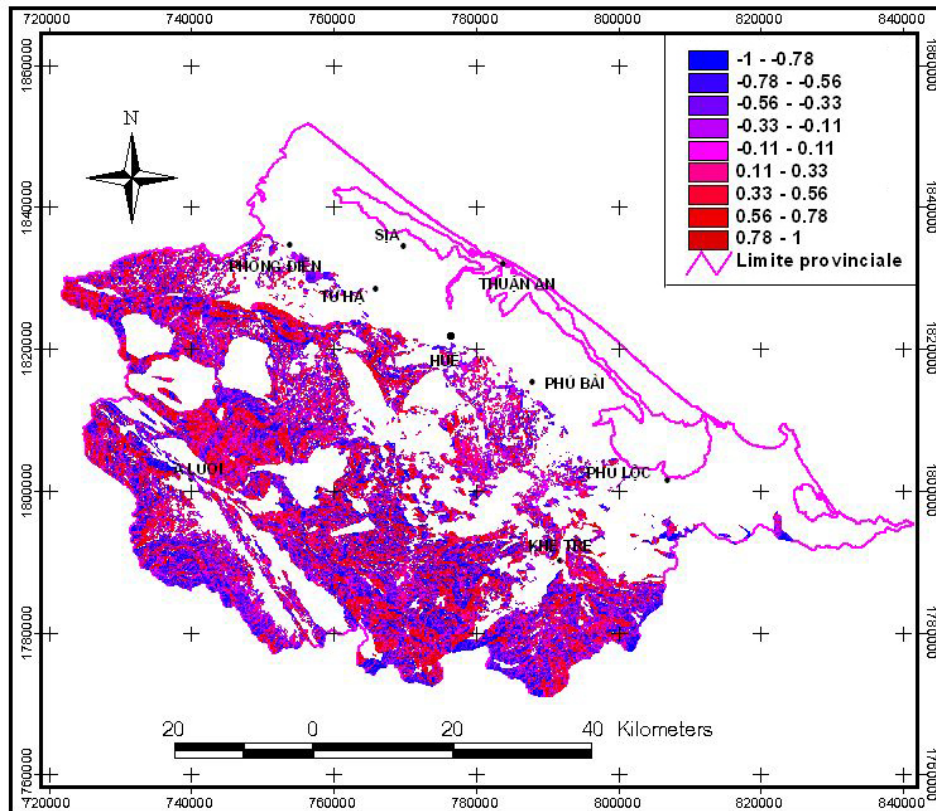


Figure 4.33. Influence du pendage sur le glissement de terrain



Les zones « no data », ce sont la région de roches non stratifiées (dépôts meuble, roches intrusives) ou la région de roches stratifiées mais le terrain plat et déjà éliminé dans le calcul, peuvent être considérées comme neutres au glissement de terrain ( $\cos\alpha \cdot \cos\beta = 0$ ). Cette conception permet d'élargir la couche de données de l'influence du pendage sur tout le territoire (Figure 4.34).

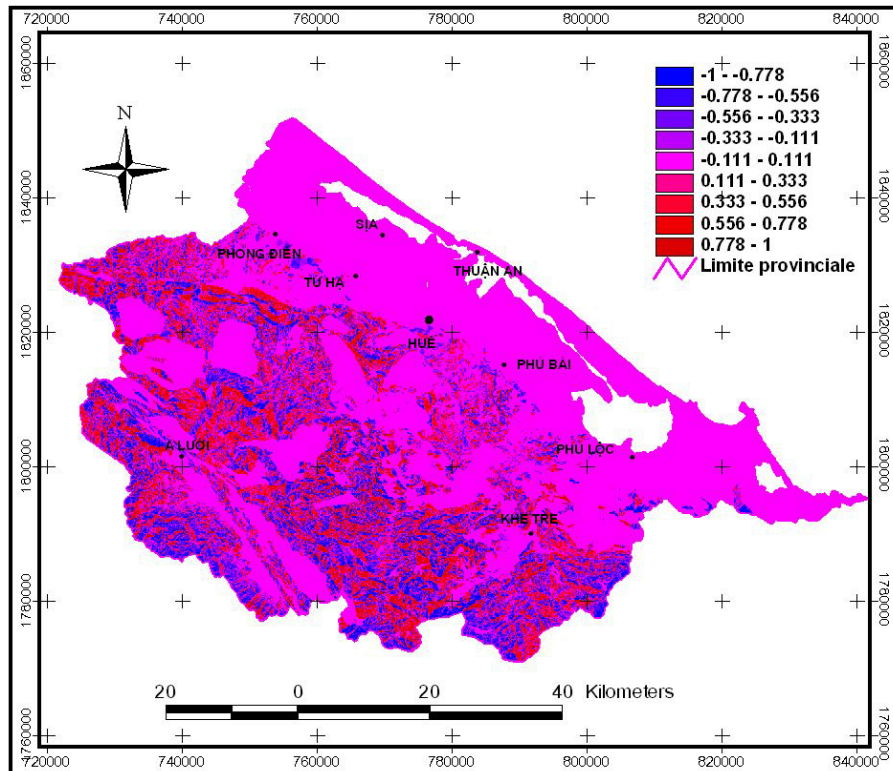


Figure 4.34. Influence du pendage sur le glissement de terrain en tenant compte des roches non stratifiées

Les données de l'influence du pendage sur le glissement sont classées en trois groupes : Défavorable, Neutre et Favorable et puis sont échantillonnées pour analyser ce rapport dans les deux cas : sans compter les roches non stratifiées (Figure 4.35) et en comptant les roches non stratifiées (Figure 4.36).

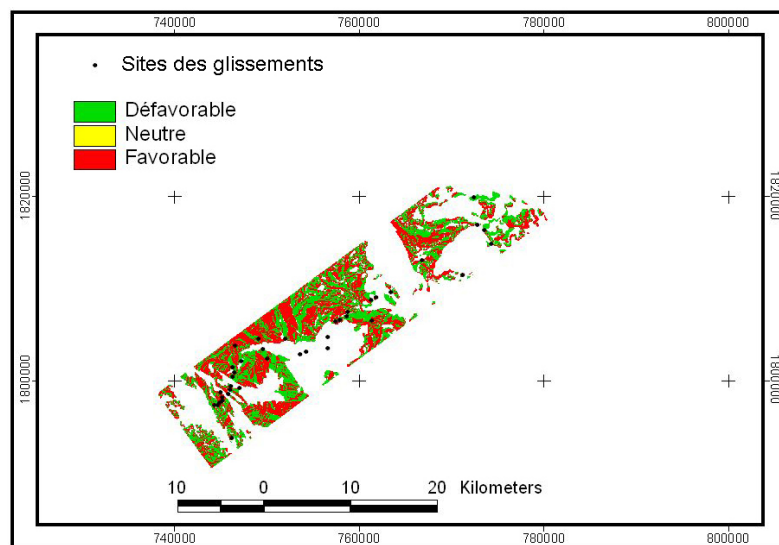
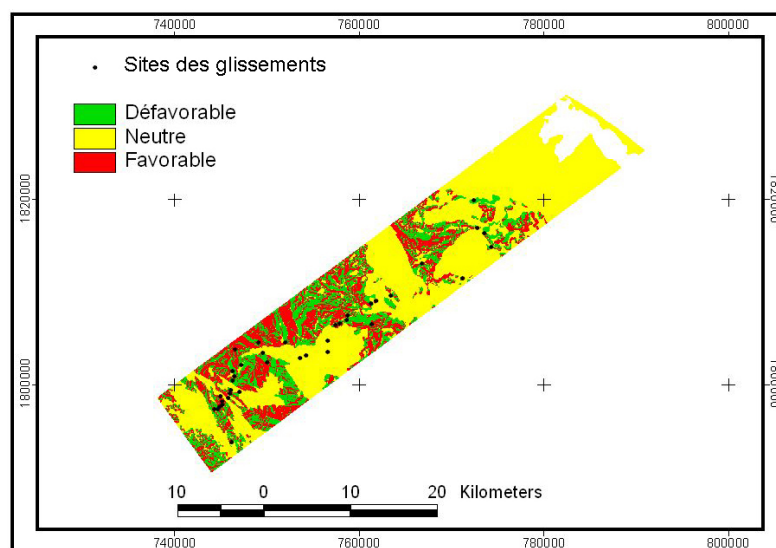


Figure 4.35. Echantillonnage de pendage sans compter les roches non stratifiées



**Figure 4.36. Echantillonnage de pendage en comptant les roches non stratifiées**

Dans tous les deux cas, le résultat montre que la densité de glissement de la classe de « Défavorable » est plus élevée que celle « Neutre » (Tableau 4.13). Il est impossible de l'expliquer par l'influence du pendage de roches. Peut-être, le pendage des roches y joue un rôle insignifiant à cause de la forte altération en pays tropical humide. En effet, les glissements de terrain sur le plan de stratification ont été observés dans certains cas particuliers. Pour la plupart des cas, la stratification des roches est cachée par une couche épaisse d'altération et le glissement s'y passe souvent.

**Tableau 4.13. Rapport entre le pendage et le glissement de terrain par l'échantillonnage**

#	Classe	Sans roches non stratifiées				Avec roches non stratifiées			
		Surface	# glis.	Densité	Poids	Surface	# glis.	Densité	Poids
1	Défavorable	130101	10	$7,68634.10^{-5}$	6	130101	10	$7,68634.10^{-5}$	5
2	Neutre	230	0	0	1	406011	12	$2,95558.10^{-5}$	1
3	Favorable	137964	16	$11,59723.10^{-5}$	9	137964	16	$11,59723.10^{-5}$	9

#### 4.4.7. Rapport entre les failles et les glissements de terrain

Les caractéristiques tectoniques sont un des facteurs qui provoquent le développement de glissements. Les activités tectoniques ont influencé la roche en la cassant et favorisant l'altération. Les faces faillées facilitent la pénétration de l'eau, forment des zones sensibles aux activités exogènes et anthropiques. De plus, la néotectonique cause des mouvements ou déséquilibre des blocs dans la roche.

Les failles à Thua Thien – Hué peuvent être distinguées en trois grades I, II et III, ordonnées en importance décroissante. Les failles de grade I sont les plus grandes. Ce sont les failles régionales à savoir : la faille Huong Hoa – A Luoi et la faille Dak Rong – Hué. Les largeurs de zone rompue des failles de grade I, II et III sont de 2 - 3 km, 1- 2 km et de centaines mètres respectivement (Vu Manh Dien, 1994; Pham Huy Thong, 1997). En utilisant ces indications, la région peut être divisée en des zones influencées et non influencées de la faille. La zone influencée, à son tour, est classée en 2 niveaux de forte et de faible influence en fonction de la distance à la faille.

Sans tenir compte du pendage de la faille, la zone influencée est délimitée par des lignes des deux côtés de la faille à une distance qui est la moitié de la largeur de la zone rompue. Par exemple, pour les failles de grade I, qui ont une zone rompue de 3 km de large, la zone d'influence est délimitée par des lignes à une distance de  $3 \text{ km} / 2 = 1,5 \text{ km}$  de la faille.

Dans la zone influencée par la faille, les lignes médianes entre la faille et les lignes limitant cette zone, c'est-à-dire que les lignes à distance de la faille d'une valeur d'un quart de largeur de la zone rompue, séparent cette zone en deux parties de forte et de faible influence. L'exemple pour le cas mentionné auparavant, les lignes à distance de  $3 \text{ km} / 4 = 0,75 \text{ km}$  divisent la zone d'influence en deux parties : la forte influence à l'intérieur et la faible influence à l'extérieur.

De cette façon, ces zones sont concrètement indiquées comme suit :

La zone de forte influence est déterminée par des lignes distantes de 0,75 km, 0,5 km et 0,25 km respectivement pour les failles de grade I, II et III.

La zone de faible influence est limitée par les lignes de 0,75 km et de 1,5 km pour la faille de grade I, les lignes de 0,5 km et de 1 km pour la faille de grade II et les lignes de 0,25 km et de 0,5 km pour la faille de grade III.

Les segments de faille en dessous de dépôts meubles du Quaternaire ne s'expriment pas sur le terrain, donc ils n'ont aucune influence sur le glissement. La zone de dépôts meubles est considérée comme non – influencée par des failles.

En utilisant ces critères, la région peut être divisée par le niveau d'influence de faille (Figure 4.37). Les zones influencées par des failles occupent 22 % de la superficie de la région (Tableau 4.14). Le reste est la zone non influencée.

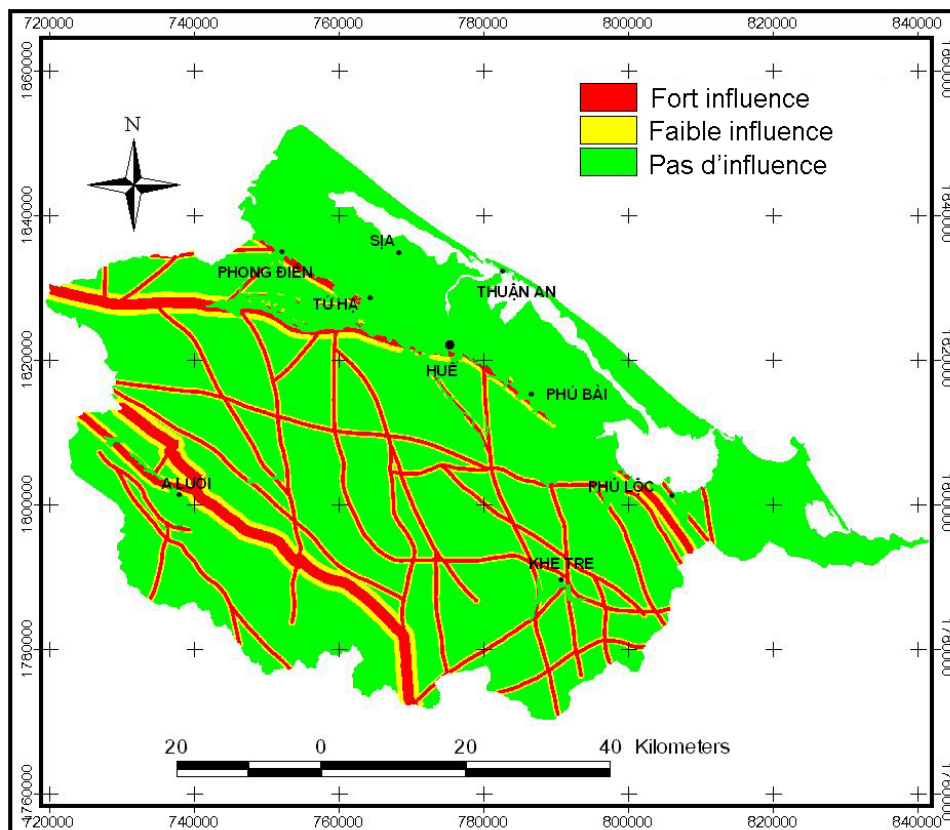
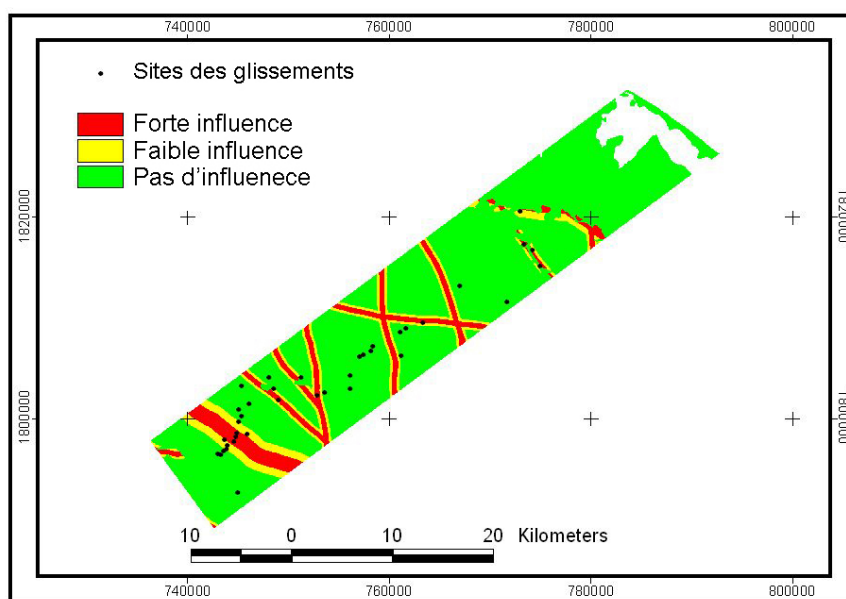


Figure 4.37. Zonage de d'influence des failles à Thua Thien Hué

**Tableau 4.14. Statistique des classes d'influence de faille**

Classe	Superficie (pixel)	Pourcentage
Forte influence	578724	11
Faible influence	550037	11
Pas d'influence	4061061	78
<b>Total</b>	<b>5189822</b>	<b>100</b>

L'analyse du rapport entre la faille et le glissement de terrain par un échantillonnage (Figure 4.38) montre que la densité de glissement est plus élevée dans la zone influencée fortement et plus faible dans la zone non influencée (Tableau 4.15). C'est-à-dire qu'il y a une bonne relation entre les failles et les glissements de terrain. En se basant sur la normalisation de densité sur l'échelle 1 – 9, la pondération des zones est 1, 6 et 9 respectivement pour les zones non influencées, influencées faiblement et influencées fortement.

**Figure 4.38. Echantillonnage de l'influence des failles****Tableau 4.15. Rapport entre l'influence de failles et les glissements de terrain par l'échantillonnage**

#	Influence des failles	Surface (pixel)	Nombre de glissements	Densité de gliss. (gliss./pixel)	Poids
1	Forte influence	63287	8	$12,64080 \cdot 10^{-5}$	9
2	Faible influence	63290	6	$9,48017 \cdot 10^{-5}$	6
3	Pas d'influence	547154	24	$4,38633 \cdot 10^{-5}$	1

#### 4.4.8. Rapport entre la route et les glissements de terrain

Les investigations de Tran Trong Hue (2001) et de notre travail sur le terrain montrent que la plupart des glissements se répartissent près de la route. La construction de la route a déstabilisé le versant en y créant des talus artificiels qui provoquent le glissement. Les routes les plus vulnérables sont les routes nationales et provinciales qui sont tellement larges que des camions peuvent y passer. En étudiant les glissements le long de la route de Hochiminh,

Nguyen Huu Tri (2003), Dang Vu Khac *et al.* (2007) notent que la distance de talus à l'axe de route parfois atteint 70 m à 100 m. Donc, la valeur de 100 m est utilisée comme limite de la zone fortement influencée par la route et la valeur doublée, celle de 200 m, est la limite de la zone faible influencée (Dang Vu Khac *et al.*, 2007). Ce critère est aussi appliqué dans le cas de Thua Thien Hué en analysant le rapport entre la route et le glissement de terrain. C'est-à-dire la région est divisée en trois zones : fortement influencée, faiblement influencée et non influencée en fonction de la proximité des routes principales : moins de 100 m, de 100 m à 200 m et au-delà de 200 m respectivement (Figure 4.39). La surface influencée de la route (moins de 200 m) prend une petite valeur, 4 % du total (Tableau 4.16). Le reste est la zone non influencée, plus de 200 m de la route.

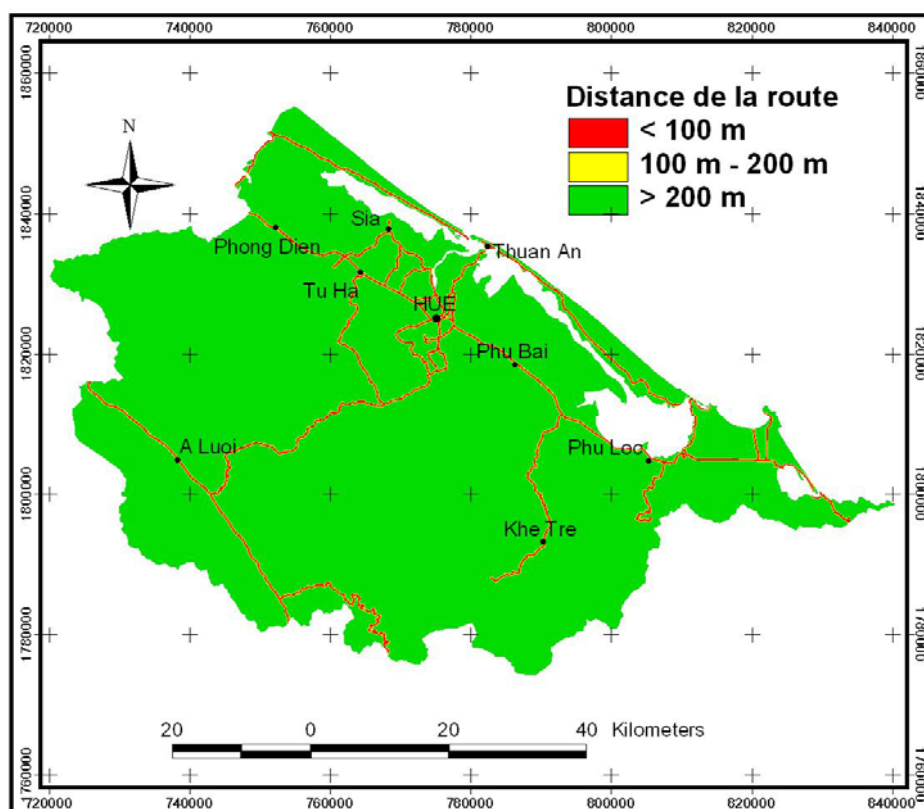


Figure 4.39. Zonage de la distance de la route principale dans la région Thua Thien Hué

Tableau 4.16. Statistique des classes de proximité de la route

Classe	Superficie (pixel)	Pourcentage
< 100 m	117520	2
100 m - 200 m	110557	2
> 200 m	4961745	96
<b>Total</b>	<b>5189822</b>	<b>100</b>

L'échantillonnage (Figure 4.40) montre qu'il y a une bonne relation entre le glissement de terrain et la route principale. Plus proche est la route, plus la densité de glissement est élevée (Tableau 4.17). En se basant sur la normalisation de la densité, la zone de moins de 100 m est pondérée à 9, la zone entre 100 m et 200 m est 4 et 1 pour la zone non influencée au-delà de 200 m.

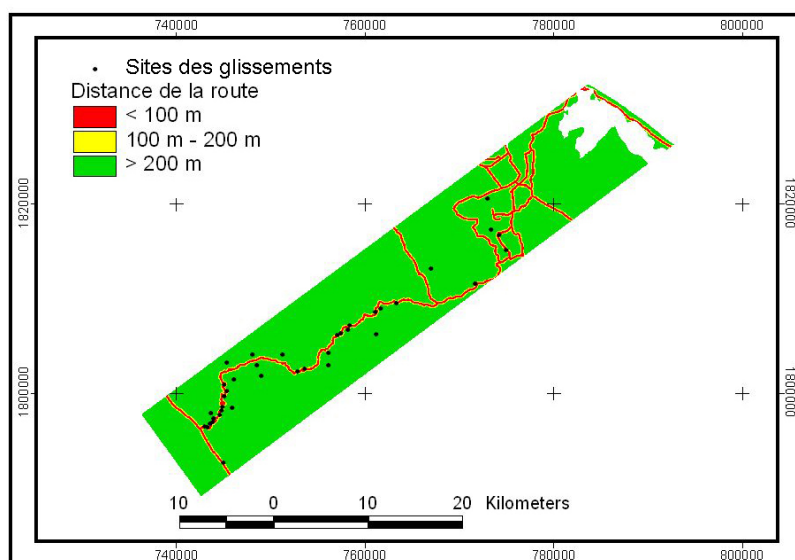


Figure 4.40. Echantillonnage d'influence de la route principale

Tableau 4.17. Rapport entre la proximité de la route et le glissement de terrain par l'échantillonnage

#	Proximité de route	Surface (pixel)	# glissement	Densité de gliss. (gliss./pixel)	Poids
1	< 100 m	34715	17	$49,00 \cdot 10^{-5}$	9
2	100 m – 200 m	32561	6	$18,40 \cdot 10^{-5}$	4
3	> 200 m	606455	15	$2,47 \cdot 10^{-5}$	1

#### 4.5. L'IMPORTANCE DES FACTEURS CONTROLANT LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

Le glissement dépend de nombreux facteurs : pente, pluie, occupation du sol, lithologie, pendage, faille, altération, proximité de la route. L'influence de chaque facteur est abordée dans les paragraphes précédents. Mais comment est leur rôle dans l'ensemble ? Quel facteur joue un rôle plus important que l'autre ? Cela dépend probablement de chaque région.

En estimant le risque de glissement de terrain le long de la route Hochiminh à Quang Nam, une province voisine qui a des conditions similaires à Thua Thien Hué, Dang *et al.* (2007) a pris une échelle de 1 à 9 pour pondérer l'importance relative d'un facteur à l'autre aussi bien que son importance dans l'ensemble des facteurs causant le glissement de terrain. 8 facteurs utilisés sont ordonnés en importance croissante : Proximité de faille (4,5%) Altitude (6,8%), Lithologie (9%), Proximité de la route (11,5%), Affectation du sol (13,6%), Pluviosité (15,9%), Altération (18,2%) et Pente (20,5%).

Dans la région de Thua Thien Hué, les paramètres similaires sont aussi pris en compte : Pente, Pluviosité, Occupation du sol, Altération, Lithologie, Faille, Pendage, Proximité des routes pour modéliser les glissements de terrain sur un grand territoire. L'estimation de l'importance des classes dans chaque facteur est réalisée dans les rubriques précédentes. Il s'agit de pondérer l'influence de chaque facteur dans l'ensemble. Le pendage de roches est exclu parce qu'il n'influence pas sur les glissements (Rubrique 4.4.6). Les autres facteurs sont estimés par le nombre de glissements qui pourrait être engendré dans toute la région en supposant que la densité de glissement de chaque classe dans chaque facteur soit la même que celle calculée dans l'échantillonnage (Tableau 4.18)

Tableau 4.18. Nombre de glissements dans la région de Thua Thien - Hué

Facteur	Classe	Surface (pixel)	Densité gliss. (glis./pixel)	Nombre gliss.
Pente	< 2,5	2216558	$0,58165.10^{-5}$	13
	2,5 - 15	449016	$3,64547.10^{-5}$	16
	15 - 30	1518269	$10,45776.10^{-5}$	159
	30 - 45	912128	$20,04209.10^{-5}$	183
	> 45	93851	$17,81896.10^{-5}$	17
	<b>Total</b>	<b>5189822</b>		<b>387</b>
Précipitation	2400 - 3000	1899401	$2,00166.10^{-5}$	38
	3000 - 3652	3290421	$9,56725.10^{-5}$	315
	<b>Total</b>	<b>5189822</b>		<b>353</b>
Occupation du sol	Forêt	1675811	$4,50868.10^{-5}$	76
	Lande de plaine	350644	0	0
	Lande de montagne	2135818	$9,38598.10^{-5}$	200
	Résidences	224953	$4,67720.10^{-5}$	11
	Agriculture	734345	$0,75894.10^{-5}$	6
	Surface d'eau	68251	0	0
	<b>Total</b>	<b>5189822</b>		<b>292</b>
Croûte d'altération	Ferralite	143905	$9,81065.10^{-5}$	14
	Ferrosialite	2154804	$8,47513.10^{-5}$	183
	Sialferrite	1449946	$7,13318.10^{-5}$	103
	Saprolite*	139705	0	0
	Dépôts quaternaires et roches-mère	1301462	0	0
	<b>Total</b>	<b>5189822</b>		<b>300</b>
Lithologie	Dépôts meubles	1281074	0	0
	Roches terrigènes riche en alumosilicate	392719	$2,45000.10^{-5}$	10
	Roches terrigènes riche en quartz	282727	$14,80000.10^{-5}$	42
	Roches intrusives basiques, ultrabasiqes*	24712	0	0
	Roches intrusives acides, intermédiaires	1142921	$6,92000.10^{-5}$	79
	Roches métamorphiques riches en alumosilicate	739485	$16,70000.10^{-5}$	123
	Roches métamorphiques riches en quartz	1326184	$5,37000.10^{-5}$	71
	<b>Total</b>	<b>5189822</b>		<b>325</b>
Influence de faille	Influencé fortement	578724	$12,64080.10^{-5}$	73
	Influencé faiblement	550037	$9,48017.10^{-5}$	52
	Non influencé	4061061	$4,38633.10^{-5}$	178
	<b>Total</b>	<b>5189822</b>		<b>303</b>
Proximité de route	< 100 m	117520	$49,00000.10^{-5}$	58
	100 m – 200 m	110557	$18,40000.10^{-5}$	20
	> 200 m	4961745	$2,47000.10^{-5}$	123
	<b>Total</b>	<b>5189822</b>		<b>200</b>

Note : Le nombre de glissement est arrondi

Ces nombres décident l'ordre d'importance des facteurs. Ils sont aussi la base pour le coefficient ou l'importance de facteur dans l'ensemble (Tableau 4.19).

**Tableau 4.19. Coefficient des facteurs contrôlant le glissement de terrain**

Facteur	Nombre de glissement	coefficient
Proximité de route	200	0.09
Occupation du sol	292	0.14
Couche d'altération	300	0.14
Influence de faille	303	0.14
Lithologie	325	0.15
Précipitation	353	0.16
Pente	387	0.18
Total	2160	1.00

Les résultats qui calculent le poids de chaque classe (i) dans chaque facteur ainsi que le coefficient de chaque facteur (j) dans l'ensemble peuvent être résumés comme suit (Tableau 4.20):

**Tableau 4.20. Poids des classes i dans le facteur j et coefficient W<sub>j</sub> de facteur j dans l'ensemble**

Classe i	Facteur (j)						
	R	O	A	F	Li	Pr	Pt
1	9	5	9	9	1	1	1
2	4	1	8	6	2	9	2
3	1	9	7	1	8		5
4		5	1		1		9
5		2	1		4		8
6		-			9		
7					4		
Coefficient W <sub>j</sub>	0.09	0.14	0.14	0.14	0.15	0.16	0.18

Note: R – Proximité de la route principale ; O – Occupation du sol; A – Croûte d'altération;

F – Influence de faille; Li – Lithologie; Pr – Précipitation; Pt - Pente

Classe i correspond à celles de même numéro dans chaque facteur j dans : Tableau 4.17(R) ;

Tableau 4.8 (O); Tableau 4.10 (A); Tableau 4.15 (F); Tableau 4.12 (Li); Tableau 4.5 (Pr); Tableau 4.3 (Pt).

#### 4.6. RISQUE DE GLISSEMENTS DE TERRAIN A THUA THIEN HUÉ

La susceptibilité de glissement est estimée par une intégration de 6 cartes des facteurs composants : Occupation du sol (O), Croûte d'Altération (A), Influence de Faille (F), Lithologie (Li), Précipitation (Pr) et Pente (Pt) avec des coefficients différents (Figure 4.41) :

$$[\text{Glissement}] = 0.09[\text{R}] + 0.14[\text{O}] + 0.14[\text{A}] + 0.14[\text{F}] + 0.15[\text{Li}] + 0.16[\text{Pr}] + 0.18[\text{Pt}]$$

Les cartes composantes sont maillées sous forme de matrices digitales avec des valeurs entre 1 et 9, assignées aux poids de classe. Le traitement est réalisé sur ARCVIEW. La carte produite (Figure 4.42) est aussi en forme de maille avec des valeurs de 1 à 9. Plus la valeur est grande, plus le risque de glissement est élevé.



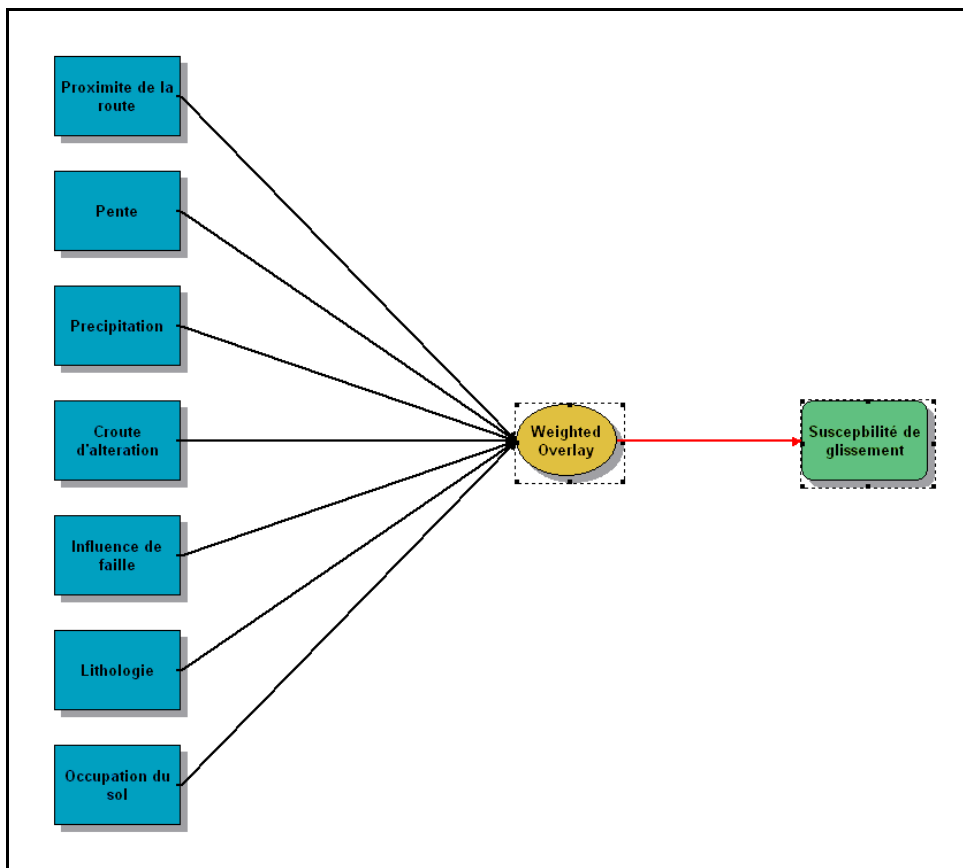


Figure 4.41. Modèle d'estimation de la susceptibilité de glissements de terrain à Thua Thien Hué

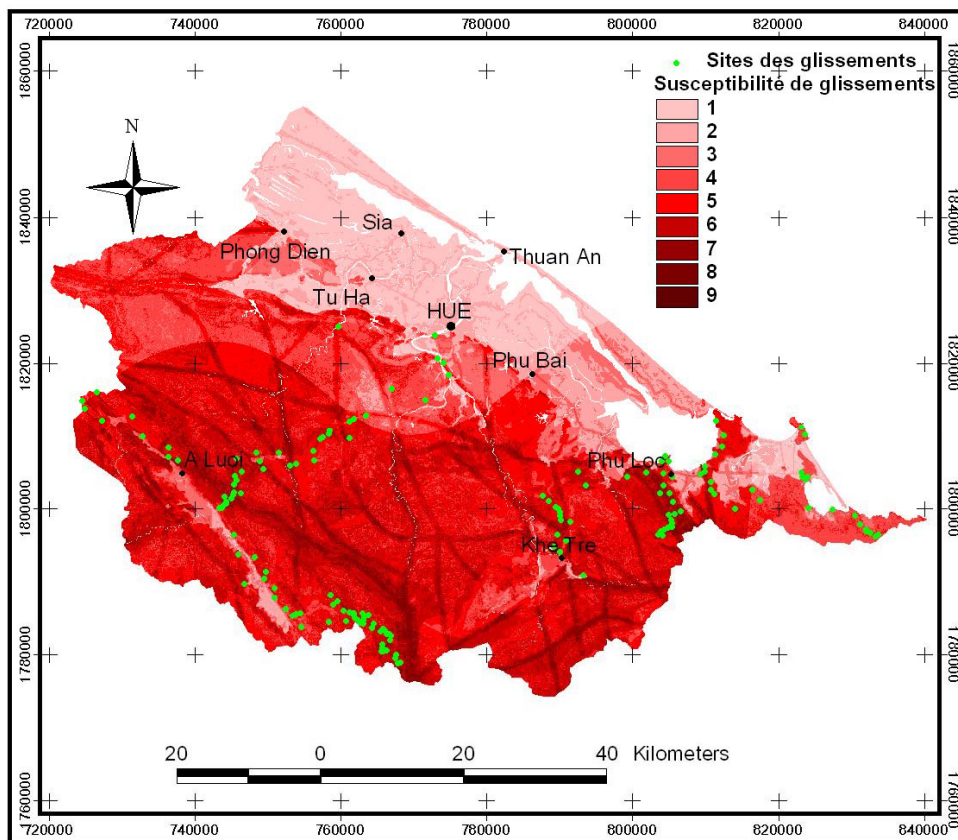


Figure 4.42. Indice de susceptibilité de glissements de terrain

Cette carte d'indice de susceptibilité concorde bien avec les glissements de terrain dans la région. Bien que la répartition de glissements de terrain soit irrégulière à cause de l'investigation incomplète, il y a une tendance claire que plus l'indice est élevé, plus la densité est élevée (Tableau 4.21). Cette tendance montre que le modèle proposé pour l'estimation de la susceptibilité de glissement dans la région est acceptable.

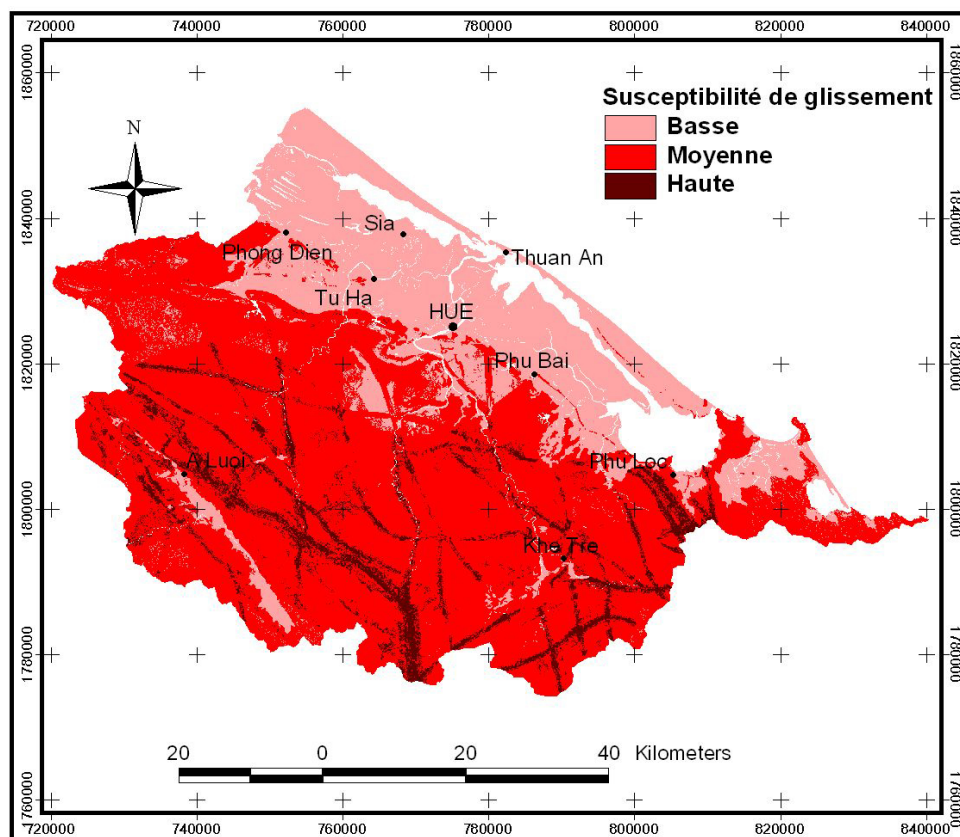
**Tableau 4.21. Rapport parmi la susceptibilité, le glissement et la densité de glissement**

Susceptibilité	Surface (pixel)	Nombre de glissement	Densité (gliss/pixel)	Densité (gliss./1000 km <sup>2</sup> )
1	628146	0	0	0
2	448813	1	$0,22281.10^{-5}$	2
3	337063	2	$0,59336.10^{-5}$	7
4	765516	15	$1,95946.10^{-5}$	22
5	1267128	46	$3,63026.10^{-5}$	40
6	1282940	54	$4,20908.10^{-5}$	47
7	350075	31	$8,85525.10^{-5}$	98
8	41826	14	$33,47200.10^{-5}$	372
9	64	1	$1562,50000.10^{-5}$	17361

Note : 1 pixel = 30m x 30m = 900m<sup>2</sup> = 9.10<sup>-4</sup> km<sup>2</sup>

Pour une estimation plus générale, les indices de susceptibilité sont classés en trois niveaux en se basant sur la densité (Figure 4.43).

- Indice de 1 à 3 : Susceptibilité basse
- Indice de 4 à 6 : Susceptibilité moyenne
- Indice de 7 à 9 : Susceptibilité haute



**Figure 4.43. Risque de glissement de terrain à Thua Thien - Hué**

Selon ce mode de classification, la zone de basse susceptibilité au glissement de terrain se trouve sur la plaine littorale au nord-est de Thua Thien Hué, ou le long de la vallée de A Luoi. Sa superficie occupe environ 28% du territoire. C'est une zone plate, composée de dépôts meubles, utilisée pour l'agriculture, la résidence (les centres urbains) et aussi les landes sur les sables.

La zone de moyenne susceptibilité occupe une superficie plus grande, 65% du total territorial. Elle se situe essentiellement à la montagne. C'est la zone caractérisée par une pente de plus de 15°, la roche mère avec différente couche d'altération, la couverture de forêt et de lande.

La zone de haute susceptibilité occupe une superficie de 8% du total territorial. Sa répartition est principalement en montagne à l'ouest et au sud de la province. Elle est caractérisée par une pente raide, une couverture de forêt ou de lande montagnaise, des précipitations abondantes et surtout une influence de failles qui explique sa répartition en ligne le long des failles.

Généralement deux tiers de superficie de la province de Thua Thien Hué est en risque de glissement au niveau moyen et haut. C'est la montagne appartenant aux districts A Luoi, Nam Dong et Phu Loc. C'est un des inconvénients pour le développement économique à l'ouest et au sud de la province qui est la région la plus pauvre non seulement au niveau provincial mais aussi national.

#### 4.7. CONCLUSION

Thua Thien Hué est une province où le risque de glissement de terrain est élevé. Les glissements de terrain y ont causé, chaque année, beaucoup de dégâts de biens et de pertes humaines. À travers la situation actuelle, on peut constater que le glissement dépend de plusieurs facteurs comme : Pente, Précipitation, Occupation du sol, Altération, Lithologie, Pendage, Faille, Proximité de la route. Ces facteurs sont intégrés pour lever une carte de susceptibilité de glissement de terrain avec l'aide de SIG.

Une région au milieu de la province couvre presque toutes les classes de tous les facteurs est choisie pour l'échantillonnage. La statistique de glissement de terrain dans chaque classe en région d'échantillonnage est la base pour pondérer l'importance de chaque classe dans chaque facteur ainsi que le coefficient de chaque facteur dans l'ensemble pour construire un modèle de glissement.

Les classes dans chaque facteur sont pondérées en normalisant ses densités sur une échelle de 1 à 9. L'influence de chaque facteur dans l'ensemble est basée sur le rapport entre le nombre de glissements qui pourrait être engendré dans tout territoire entier et le total engendré par tous les facteurs, en supposant que la densité de glissement de chaque classe dans chaque facteur soit la même que celle calculée dans l'échantillonnage.

Au départ de l'analyse des glissements de terrain, l'échantillonnage montre que :

- Le risque est plus élevé avec une pente  $> 30^\circ$ , spécialement dans la classe de  $30^\circ$  à  $45^\circ$
- La densité de glissements augmente avec les précipitations
- Les glissements se passent plus souvent sous un couvert de landes en montagne à cause du couvert végétal clairsemé alors qu'on ne le trouve pas dans la lande de plaine parce que le sol y est sableux.
- Le risque de glissement augmente en fonction du niveau d'altération chimique : Sialferrite  $\rightarrow$  Ferrosialite  $\rightarrow$  Ferralite. Aucun glissement de terrain n'est trouvé dans la classe de dépôts meubles et roches mère.
- Les glissements sont plus nombreux sur la classe de Roches métamorphiques riches en alumosilicate, et il n'y a aucun glissement de terrain dans la classe de dépôts meubles

- Le pendage des roches joue un rôle insignifiant pour les glissements à cause de la forte altération du pays tropical humide.
- Il y a une bonne relation entre la faille et le glissement de terrain, la densité de glissement est plus élevée dans la zone fortement influencée et plus faible dans la zone non influencée.
- Le glissement est aussi lié à la route principale. Plus proche de la route, la densité de glissements est plus élevée
- Les influences de 7 facteurs contrôlant le glissement de terrain sont rangées en ordre croissant comme suit : Proximité de route, Occupation du sol, Couche d'altération, Influence de faille, Lithologie, Précipitation, Pente.

La susceptibilité de glissement est estimée par une intégration de 6 cartes des facteurs composants avec des coefficients différents. La tendance est que plus l'indice est élevé, plus la densité est élevée, montre que ce modèle est acceptable.

La zone de faible susceptibilité occupe la plaine littorale et la dépression des grandes vallées. C'est une accumulation des poids bas dans presque tous les facteurs. La zone de susceptibilité moyenne couvre environ deux tiers du territoire. C'est la région de montagnes et de collines. La zone de haute susceptibilité a une distribution limitée mais en ligne reflétant la forte influence de failles.

Le risque de glissement au niveau moyen et haut est un des inconvénients pour le développement économique de la montagne à l'ouest et au sud de la province qui reste encore la région la plus pauvre non seulement au niveau provincial mais aussi national.

La gestion du risque de glissement de terrain pourrait être réalisée en principe de bien gérer les facteurs contrôlant, de limiter des activités humaines qui provoquent le glissement de terrain par une utilisation rationnelle du territoire. Au niveau provincial, le plan d'aménagement du territoire devrait prendre en compte le risque de glissement de terrain. La carte de ce risque serait une bonne base pour l'aménagement. Généralement, les zones de risque bas sont faciles à utiliser sous plusieurs formes. Pour les zones de haut et très haut risque, la sylviculture y est la priorité de développement. Le reboisement peut limiter les conditions qui provoquent le glissement. Dans le cas obligatoire d'utiliser les zones fortement risquées pour le génie civil, il faut des solutions géotechniques. Dans la zone de risque moyen, les formes d'usage de terre sont assez diversifiées mais il ne faut pas accélérer les activités des facteurs causant le glissement de terrain.

Les solutions géotechniques peuvent être appliquées pour la construction aux endroits très risqués de glissement de terrain. Les techniques les plus souvent appliquées sont :

- L'amélioration du versant par le déchargement du haut du versant, l'adoucissement de la pente, l'échelonnement de la pente ou l'alourdissement du pied par des murs.
- La construction d'un système de drainage
- La diminution du processus d'altération par la couverture de gazon, de bitume ou de béton sur le talus
- Le renforcement de la résistance des talus par la cimentation des fissures, l'ancrage du talus

Les mesures techniques pour la prévention de glissements de terrain sont assez nombreuses. Elles sont souvent appliquées dans la construction des routes, des barrages, des bâtiments etc. Mais il est notable que ces mesures sont très coûteuses.

## CONCLUSION GENERALE

Le Centre septentrional du Vietnam est une région au milieu du Vietnam qui est caractérisée par un terrain dont l'altitude diminue fortement de la montagne à l'ouest vers la mer à l'est, un climat tempétueux et pluvieux, une grande densité de cours d'eau courts et raides, des propriétés géologiques compliquées avec des failles actives, des activités anthropiques de plus en plus fortes. De ces particularités, il résulte de nombreux géorisques pour cette région dont les plus importants sont : le risque sismique, la fissuration du sol, les glissements de terrain, les crues subites, les inondations, l'érosion subaérienne, l'érosion de rive et de rivage.

La télédétection et le système d'information géographique sont des outils efficaces pour étudier les géorisques. Ils sont utilisés pour analyser le risque sismique, l'érosion côtière et le glissement de terrain.

Le risque sismique dans la région est engendré par sept grandes failles actives : Son La, Song Ma, Song Ca, Rao Nay, Khe Giua - Vinh Linh, Dak Rong – Hué, Huong Hoa - A Luoi. La magnitude maximale des tremblements de terre y est estimée à 7. Les risques sont analysés en détail pour les barrages hydrauliques : Huong Dien, Ban La et Ban Uon. La télédétection est appliquée pour identifier les failles actives et leurs paramètres. La magnitude maximale et l'accélération maximale du sol sont estimées par plusieurs méthodes. La modélisation de la déformation et du changement de contrainte lors du séisme maximum proposé par Okada est aussi utilisée. Les résultats montrent que ces barrages pourraient être frappés par des tremblements de terre de magnitude de 5,7 à 6,9 selon le cas. Les accélérations maximales du sol au barrage varient de 0,246g à 0,3363 g. Les modèles de déformation et du changement de contrainte montrent que les barrages se situent sur des positions qui ne sont pas dangereuses. En général, l'analyse du risque à partir des segments de failles actives est très efficace pour dimensionner les barrages ainsi que les autres grands travaux. L'apport de télédétection peut faciliter cette analyse en déterminant les paramètres de faille. Les magnitudes estimées dans cette analyse concordent relativement avec les études publiées. Les accélérations maximales du sol calculées pour les cas particuliers devraient être évaluées dans les projets.

L'érosion côtière est étudiée pour le littoral de Thua Thien Hué. Les techniques utilisées principalement sont : la fusion, la composition colorée, le tracé de la côte. Généralement, sur la côte de Thua Thien Hué, le cordon devant la lagune de Tam Giang - Cau Hai présente des changements compliqués, spécialement aux passes où s'opère l'échange d'eau entre la lagune et la mer. Le changement aux passes (Thuan An - Hoa Duan et Tu Hien) comprend : le déplacement, l'ouverture et la fermeture de la passe. Sauf les passes, le reste de ce littoral n'a pas fortement changé mais de façon compliquée. L'érosion et l'accumulation s'intercalent temporellement et spatialement. En général, de 1952 à 2004, l'accumulation est dominante sur le segment NO (de Dien Huong à Thuan An) et l'érosion est dominante sur le SE (Thuan An - Tu Hien). Le changement de cette côte est le résultat du rapport entre la dynamique fluviale et celle de la mer principalement des vagues et de la dérive littorale. Le changement se produit beaucoup lors des tempêtes, des grandes pluies ou des grandes vagues du nord. La côte de Chan May est en progression grâce à la protection de deux promontoires Chan May Dong et Chan May Tay. La côte de Lang Co est érodée au NO et engraisée au SE à cause d'une dérive littorale de direction NO - SE. Généralement les passes qui relient la lagune de Tam Giang – Cau Hai et la mer sont les plus sensibles à l'érosion.

Thua Thien Hué est aussi la province où les risques de glissements de terrain sont les plus élevés par rapport aux autres du Centre septentrional du Vietnam. Les glissements de terrain y ont causé beaucoup de dégâts matériels et de pertes en vies humaines chaque année. Les facteurs qui contrôlent ce risque à savoir : la pente, la précipitation, l'occupation du sol,

l'altération, la lithologie, le pendage, la faille et la proximité de la route sont à analyser et intégrer dans un SIG. Une région clé est étudiée en détail pour une pondération de ces facteurs. L'échantillonnage montre que le pendage des roches joue un rôle insignifiant pour les glissements. Ils résultent peut-être de la forte altération dans un pays tropical humide. Les autres peuvent être rangés en importance croissante comme suit : la proximité d'une route, l'occupation du sol, la couche d'altération, l'influence d'une faille, la lithologie, la précipitation et la pente. L'importance de chaque classe dans les facteurs ainsi que l'influence de chaque facteur dans l'ensemble sont déterminées sur base de la densité de glissement et sur base du nombre de glissements qui pourrait être engendré dans le territoire entier en supposant que la densité de glissement de chaque classe dans chaque facteur soit la même que celle calculée dans l'échantillonnage. La susceptibilité de glissement estimée par cette méthode avec une tendance d'indice de même sens que la densité de glissement prouve que ce modèle est acceptable. Selon cette carte, la plupart du territoire de Thua Thien Hué appartient à la zone de susceptibilité moyenne. Le risque de glissement de niveau moyen et haut est un des inconvénients pour le développement économique à la montagne à l'ouest et au sud de la province qui reste encore la région la plus pauvre non seulement au niveau provincial mais aussi national.

Généralement la gestion des géorisques pourrait être réalisée en principe si on gère bien les facteurs qui les contrôlent, et si on limite les activités humaines qui les provoquent. Les mesures dans cette gestion peuvent être réparties en trois domaines :

- Prévoir, surveiller et prédire les géorisques
- Aménager le territoire en tenant compte des géorisques
- Gérer les activités humaines : l'exploitation des forêts, des minerais, la construction des travaux civils, etc.

Pour chaque type de géorisque, il y a des mesures concrètes. L'érosion côtière peut être résolue par la construction de digues, d'épis ou, par l'aménagement du territoire, par une stratégie de repli calculée en fonction de la vitesse d'érosion littorale. Pour le risque sismique, la magnitude maximale et l'accélération maximale doivent être prises en compte dans les projets de grands travaux. Les glissements de terrain sont limités par les géotechniques comme suit :

- L'amélioration du versant par le déchargement du haut du versant, l'adoucissement de la pente, l'échelonnement de la pente ou l'alourdissement du pied par des murs.
- La construction d'un système de drainage pour assurer la maîtrise de l'eau
- La diminution du processus d'altération par des couvertures herbacées, de bitume ou de béton sur les talus
- Le renforcement de la résistance des talus par la cimentation des fissures, l'ancrage de talus.

Pour une bonne gestion des géorisques, il est nécessaire de sensibiliser les autorités, les décideurs à ces mesures et d'introduire dans les administrations, la télédétection et les SIG.

## BIBLIOGRAPHIE

- Ambraseys N. N., 1995, The Prediction of Earthquake Peak Ground Acceleration in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 24, 467-490
- Ayalew L., Yamagishi H. and Ugawa N., 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *Landslides*, 1, 73-81.
- Baeza C. & Corominas, J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(12), 1251-1263.
- Baillifard F., Jaboyedoff M., and Sartoric M., 2003. Rockfall hazard mapping along a mountainous road, in "Switzerland using a GIS-based parameter rating approach". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3 (5), 431-438.
- Bilrgmann R., Rosen P. A., and Fielding E. J., 1999. SAR Interferometry to measure earth's surface topography and its deformation, 1-57.
- Binaghi E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F. & Rampini, A., 1998. Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy Dempster-Shafer approaches. *Natural Hazards*, 17(1), 77-97.
- Blaes X. & Defourny P, 2003. Retrieving crop parameters based on tandem ERS ½ interferometry coherence image. *Remote sensing of Environment*, 374 - 385.
- Bui Danh Luu, 1979. Renforcement de la stabilité de talus de travaux routier par la technique de l'ancre. *Bulletin de l'Institut de techniques de transport*, 9 (2), 27-35. (vietnamien)
- Bui Van Thom, 2001. Caractéristiques actives de la faille Dakrong – Hué. *Geologie*, 267, 98-111 (vietnamien)
- Bui Van Thom, 2002. Quelques caractéristiques des failles néotectoniques au Centre septentrional du Vietnam. Thèse de doctorat. Institut des Sciences géologiques - Académie des sciences et de la technologie du Vietnam. 124p. (vietnamien).
- Busch C., 1997. Wavelet based texture segmentation of multi-modal tomographic images. *Comput. & Graphics*, 21(3), 347–358.
- Çakir Z., Barka A. & Evren E., 2003. Coulomb Stress Interactions and the 1999 Marmara Earthquakes. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12, 91-103.
- Campbell K.W., 1977. The use of seismotectonics in Bayesian estimation of seismic risk, report No. UCLA, School of Engineering and applied sciences, University of California, Los Angeles.
- Campbell K.W., 1981. Near-Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration. *B. Seism. Soc. Am*, 71(6), 2039 – 2070
- Campbell K.W., 1997. Empirical near source attenuation relationship of horizontal and vertical component of peak ground acceleration, peak ground velocity and pseudo absolute acceleration response spectra. *Seismo. Research Letters*, 68 (1).
- Campbell R.H. (dir. pub.). 1975. Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, southern California. Coll. « Final report », no 851, California: VLB éditeur, 51 p.
- Cao Dang Du (dir.pub), 1995. Étude sur les causes des crues subites et les contre-mesures. *Projet d'Etat*. Hanoi. (vietnamien).
- Carper, W.J., Lillesand T.M., Kiefer R.W., 1990. The use of IHS transformations for merging SPOT pan and multispectral data. *Photogrammetric Engineering and Remote sensing* 56(4), 459-467.
- Carrara A., Cardinali M., Guzzetti F. and Reichenbach P., 1995. GIS technology in mapping landslide hazard. In: Carrara, A., Guzzetti, F. Eds., *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 135–175.

- Chau K.T., Sze Y.L., Fung M.K., Wong W.Y., Fong E.L. & Chan L.C.P., 2004. Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS. *Computers & Geosciences*, 30(4): 429-443.
- Chavez P.S., Sides S.C., Anderson J.A., 1991. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat and SPOT panchromatic. *Photogrammetric Engineering and remote sensing* 57(3):294-303.
- Chung C.F. & Fabbri, A.G., 1993. The representation of geoscience information for data integration. *Nonrenewable Resources*, 2(2): 122-139.
- Chung C.F. & Fabbri, A.G., 1995. Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation. In: Carrara, A., Guzzetti, F. Eds. , *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, pp. 107–142.
- Chung C.F. & Fabbri, A.G., 1998. Three Bayesian prediction models for landslide hazard. In: A. Buccianti, G. Nardi & R. Potenza (Editors), *Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology (IAMG 1998)*, Naples, 204-211.
- Chung C.F. & Fabbri, A.G., 2001. Prediction models for landslide hazard using a fuzzy set approach. In: M. Marchetti & V. Rivas (Editors), *Geomorphology and Environmental Impact Assessment*. A. A. Balkema, Rotterdam, 31-47.
- Chung C.F. & Fabbri, A.G., 2003. Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, 30(3), 451-472.
- Chung C.F., 2006. Using likelihood ratio functions for modeling the conditional probability of occurrence of future landslides for risk assessment. *Computers & Geosciences*, 32, 1052-1068.
- Cornell C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis, *Bul. Seis. Soc. Am.* 58, 1583-1606.
- Dai F.C. & Lee C.F., 2001. Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: a case study. *Canadian geotechnical journal*, 38(5), 911-923.
- Dang Van Bao, 1996. Caractéristiques géomorphologiques de la zone des plaines côtières de Hué – Quang Ngai. Thèse de doctorat. Université de Hanoi. (vietnamien)
- Dang Vu Khac., Nguyen Thi Khang, Nguyen Phi Hung et Ha Xuan Thu, 2007. Apport de SIG pour évaluer la susceptibilité de glissement de terrain. Cas de la route Hochiminh dans la province de Quang Nam. Rapport. 97p. Institut de Géologie. Hanoi. (vietnamien)
- De Graff, J.V., 1985. Using isopleth maps of landslides deposits as a tool in timber sale planning. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 22(4), 445-453.
- Demoulin A., Chung C.J., 2007. Mapping landslide susceptibility from small datasets: A case study in the Pays de Herve (E Belgium). *Geomorphology* 89, 391–404.
- Dewitte O., 2006. Cinématique de glissements de terrain et prédiction de leur réactivation : approche probabiliste dans la région d'Oudenaarde. Thèse de doctorat, 213p. Université de Liège.
- Dietrich E.W., Reiss, R., Hsu, M.-L., Montgomery, D.R., 1995. A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data. *Hydrological Process.* 9, 383–400.
- Dikau R., Brunsden D., Schrott L., Ibsen M.L., 1996. *Landslide recognition. Identification, movements and causes*. Wiley, Chichester, England, 251 pp.
- Dinh Van Toan (dir.publ), 2001. Zonage de risque de glissements menaçant directement la vie de habitants après la crue subite le 7/6/2001 à Trung Khanh - Lang Ha, comme une base pour la prévention efficace, y compris la migration des habitants. Rapport final, 32p. Institut de Sciences géologiques. Hanoi. (vietnamien)
- Doan Minh Tam 2001. Flood with collapse situation for roads in Vietnam. In *Saving our water and protecting our land*, sous la dir. De Fredlund, p.178-182. University of Mining and Geology. Hanoi.



- Donati L. and Turrini M.C., 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). *Engineering Geology* 63: 277– 289.
- Duman T.Y., Can, T., Emre, O., Kecer, M., Dogan, A., Ates, S. & Durmaz, S., 2005. Landslide inventory of northwestern Anatolia, turkey. *Engineering Geology*, 77(1-2): 99-114.
- Dunne T., 1991. Stochastic aspects of the relations between climate, hydrology and landform evolution. *Transaction Japanese Geomorphological Union* 12, 1–24.
- Duong Ngoc Hai & Ho Chat, 1986. Prévention des destructions routières en montagne. Edition de Sciences et Technique. Hanoi. 160p. (vietnamien)
- Ehlers M., 1991. Multisensor image fusion technique in remote sensing, *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 46, 19-30.
- Fabbri A.G., Chung, C.F., Napolitano, P., Remondo, J. & Zêzere, J.L., 2002. Prediction rate functions of landslide susceptibility applied in the Iberian Peninsula. In: C.A. Brebbia (Editor), *Risk analysis III. Management Information System*. WIT Press, Southampton, 703-718.
- Fausto Guzzetti, Alberto Carrara, Mauro Cardinali, Paola Reichenbach, 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31, 181–216.
- Findlay and Phan Trong Trinh, 1997. The structural setting of the Song Ma region, Vietnam and the Indochina-South China plate boundary problem, *Gondwana Research* V.1 (1), 11-33.
- Flageollet J. C., 1989. Les mouvements de terrain et leur prévention. Paris: Masson, 224 p.
- Ganas A, Sokos E., Agalos A., Leontakianakos G. , Pavlides S., 2006. Coulomb stress triggering of earthquakes along the Atalanti Fault, central Greece: Two April 1894 M6+ events and stress change patterns. *Tectonophysics* 420 (2006) 357–369
- GIEC, 2007. Changement climatique. Rapport de synthèse. 103p. Group d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat.
- Glade T. & Crozier M.J., 2005. A review of scale dependency in landslide hazard and risk analysis. In: T. Glade, M.G. Anderson & M.J. Crozier (Editors), *Landslide hazard and risk*. Wiley, Chichester, 75-138.
- Godefroy P. et Humbert M., 1983. La cartographie des risques naturels liés aux mouvements de terrain et aux séismes. *Hydrogéologie - Géologie de l'Ingénieur*, 2, 69-90
- GOS, 2007. Les données démographiques et socioéconomiques en 2006 du Centre Septentrional du Vietnam. Vietnam General Statistics Office.
- Grasso D.N., 1993. Application of IHS Color transformation for 1:24000 Sclae geological mapping: a low cost Spot alternative, *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, 59, 73-80.
- Guyenne T., 1988. Fusion des données SPOT et Landsat TM pour améliorer la représentation des détails de surface. *Observation de la Terre*. No 23/24, 4-5.
- Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M. & Reichenbach P., 1999. Landslide hazard evaluation : a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31, 181–216.
- Guzzetti F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M. & Ardizzone, F., 2005. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 72(1-4): 272-299.
- Hall R., 2002. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and te SW Pacific: computer-based reconstruction, model and animations. *J. Asian Earth Sciences*, 20, 353-431.
- Hallada W. and Cox S., 1983. Image sharpening for mixed spatial and spectral resolution satellite systems. 17<sup>th</sup> International symposium on remote sensing of the environment. Ann Arbor, vol. 1, 300-310. Michigan.USA.
- Hanks T.C. and Kanamori H., (1979), A moment magnitude scale, *J. Geopgys. Res.*, 84, 2981-2987.

- Hansen A., 1984. Landslide hazard analysis. In: Brunsten, D., . Prior, D.B. Eds., Slope Instability. Wiley, New York, 523–602.
- Hansen A., and Clive A.M. 1991. Characterisation and mapping of earthquake triggered landslides for seismic zonation. In Conference on seismic zonation. California: Stanford University
- Ho Chat & Doan Minh Tam, 1985. Manuel de protection de la route. Edition de Transport. Hanoi. 183p (vietnamien)
- Hollingsworth R. and Kovacs G.S., 1981. Soil slumps and debris flows: prediction and protection. Bulletin American Association of Engineering Geologists, 18 (1), 17–28.
- Humbert M., 1977. La cartographie ZERMOS. Modalités d'établissement des cartes des zones exposées a des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol. Bulletin Bureau Recherche Géologique et Minière 3, 5–8.
- Hutchinson J.N., 1988. General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology. 5th International Symposium on Landslides, Lausanne 1, 3–35.
- Hutchinson J.N., 1995. Keynote paper: landslide hazard assessment. In: Bell Ed., Landslides. Balkema, Rotterdam, pp.1805–1841.
- Kanamori H (1977) The Energy Release in Great earthquake. J. Geophys. Res., 82, 2981-2987
- King G.C.P. , Hubert-Ferrari A., Nalbant S., Meyer B, Armijo R., Bowman D., 2001. Coulomb interactions and the 17 August 1999 Izmit, Turkey earthquake. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes / Earth and Planetary Sciences 333, 557–569.
- Krobicki M., Golonka J., Khuong The Hung, 2008. Major tectonic events and plate of the Northwest Vietnam. Proceeding of the International Symposia on Geoscience Resources and Environment of Asia Terranes, 4<sup>th</sup> IGCP 516 and 5<sup>th</sup> APSEG, Bangkok, Thailand, 111-104.
- Lacassin R, Tapponnier P., Leloup H. Ph., Phan Trong Trinh, Nguyen Trong Yem, 1994. Morphotectonic evidence for active movement along the Red river fault zone. Proceed. Inter. Seis. Haz. South. Asia, 66 - 71.
- Le Bac Huynh (dir.pub.), 1999. Évaluer la situation d'inondations au Vietnam; les stratégies de prévention et de réduction des dommages. Projet VIE/97/002 du PNUD. Centre national de prévision hydrométéorologique. Hanoi. (vietnamien)
- Le Duy Bach, Ngo Gia Thang, 1982. Tectonique du Viet Nam. Travaux de recherche de l'Institut des Sciences de la terre. Ha Noi. (vietnamien)
- Le Duy Bach, Ngo Gia Thang, 1990. Zonage tectonique de la plate-forme continentale du Viet Nam et ses alentours. Sciences de la terre (Travaux de recherche 1986-1990), Hanoi. (vietnamien)
- Le Duy Bach, Ngo Gia Thang, Nguyen Ba Nhuan, 1999. Etude pour établir les bases scientifiques et techniques pour la prévention et mitigation de risque d'inondation au Centre septentrional du Vietnam. Centre national des sciences naturelles et de technologie. (vietnamien)
- Le Quoc Hung (dir.pub.), 2002. Etude de risque des glissements de terrain dans les provinces côtières de Quang Binh à Phu Yen. Rapport de synthèse. 107p. Institut de Géologie et des ressources minérales. Hanoi (vietnamien)
- Lee C. And D. Landgrebe D., 1993. Analyzing high-dimensional multispectral data. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 31(4), 388–400.
- Lee S., Chwae U. and Min K., 2001. Landslide susceptibility mapping by correlation between topography and geological structure: the Janghung area, Korea. Geomorphology. 46, 149-162.
- Lee S., Ryu, J.H., Min, K.D. & Won, J.S., 2003. Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network. Earth Surface Processes and Landforms, 28(12): 1361-1376.
- Lee S. & Choi, J., 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of-evidence model. International Journal of Geographical Information Science, 18(8): 789-814.

- Lee S., Nguyen Tu Dan, 2005 Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides. *Environ Geol.* 48, 778–787
- Leloup H. Ph., Lacassin R., Tapponnier P., Schärer U., Zhong Dalai, Liu Xiaohan, Zhangshan, Ji Shaocheng and Phan Trong Trinh, 1995. The Ailao Shan - Red river shear zone ( Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina, *Tectonophysics*, V.251, 3 -84.
- Leloup P.H., N. Arnau, R. Lacassin, J.R. Kienast, T.M. Harrison, Phan Trong Trinh, A. Replumaz and P. Tapponnier, 2001. New constraints on the structure, thermochronology and timing of the Ailao Shan – Red river shear zone, SE Asia, *J. G. R.*, 106, 6657-6671.
- Lepvrier C., Nguyen Van Vuong, Maluski H., Phan Truong Thi, Vu Van Tich, 2007. Indosinian tectonics in Vietnam. *C.R. Geoscience*, 340, 94-111.
- Liu J.G., Mason P.J., Clerici N., Chen S., Davis A., Miao F., Deng H. and Liang L., 2004. Landslide hazard assessment in the Three Gorges area of the Yangtze river using ASTER imagery: Zigui–Badong. *Geomorphology*, 61(1-2), 171-187 .
- Luoto M. & Hjort J., 2005. Evaluation of current statistical approaches for predictive geomorphological mapping. *Geomorphology*, 67(3-4), 299-315.
- Manduca A, 1996. Multispectral image visualization with non-linear projections. *IEEE Transactions on Image Processing*, 5(10), 1486–1490.
- Marquínez J., Duarte R.M., Farias, P. & Sanchez, M.J., 2003. Predictive GIS-based model of rockfall activity in mountain cliffs. *Natural Hazards*, 30(3): 341-360.
- McGuire R. K., 1976. FORTRAN computer program for seismic risk analysis, U.S. Geol. Survey open - File Rept. 76-67.
- Mejia-Navarro M., Wohl, E.E., Oaks, S.D., 1994. Geological hazards, vulnerability and risk assessment using GIS: model for Glenwood Springs, Colorado. *Geomorphology* 10, 331-354.
- Montgomery D.R., Wright R.H., Booth T., 1991. Debris flow hazard mitigation for colluvium-filled swales. *Bulletin Association of Engineering Geologists* 28 3 , 303–323.
- Montgomery D.R., Dietrich W.E., 1994. A physically based model for the topographic control of shallow landsliding. *Water Resources Research* 30(4), 1153–1171.
- Montgomery D.R., Schmidt K.M., Greenberg H.M. & Dietrich W.E., 2000. Forest clearing and regional landsliding. *Geology*, 28(4): 311-314.
- Moreiras S.M., 2005. Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza valley, Argentina. *Geomorphology*, 66(1-4), 345-357.
- Muechika C.K., Warnick J.S., Salvaggio C., and Schott J., 1993. Resolution enhancement of Multispectral image to Improve classification accuracy, *Photogrammetric Engineering and remote sensing* 59, 67-72.
- Neeley M.K. and Rice R.M., 1990. Estimating risk of debris slides after timber harvest in northwestern California. *Bulletin American Association of Engineering Geologists* 27 3 , 281–289.
- Nghiem Huu Hanh, Tran Minh Dan, Le Xuan Thu, Kieu Kim Truc, 2001. Ground water and landslides at some coal open pit mines in Hongai – Campha area. In *Saving our water and protecting our land, sous la dir. De Fredlund*, p.320-323. University of Mining and Geology. Hanoi.
- Ngo Quang Toan (dir.pub) 2000. Couches d'altération et dépôts quaternaires au Vietnam. Département de Géologie et des ressources minérales du Vietnam. (vietnamien).
- Nguyen Chu Hoi, Tran Duc Thanh, Nguyen Huu Cu, 1995. Etude pour l'utilisation rationnelle de la lagune de Tam Giang. *Projet d'état KTDL 95-09*. (vietnamien).
- Nguyen Dich Dy (dir.pub), 1996. Géologie du Quaternaire et les minerais concernants. Rapport de synthèse. *Projet KT 01 - 07*. Institut des sciences géologiques – Centre des sciences naturelles et des technologies. Hanoi. (vietnamien)

- Nguyen Dinh Xuyen (dir.pub.), 1985. Les tremblements de terre dans le territoire du Vietnam. Institut des sciences du Vietnam. Hanoi. (vietnamien)
- Nguyen Dinh Xuyen, Nguyen Ngoc Thuy, 1997. Sismicité et risque sismique au Vietnam. Dans Les travaux d'études géophysiques de 1987-1997, 36-91. Edition de Sciences et Technique. Hanoi.
- Nguyen Huu Cu, 1996. Condition dynamique de formation et de développement de la lagune de Tam Giang - Cau Hai. Les travaux d'étude sur la géologie et la géophysique de la mer, 2 :234-240. Edition de Sciences et Technique. Hanoi. (vietnamien)
- Nguyen Huu Cu (dir.pub.) 2006. Etude des dynamiques environnementales des lagunes au Centre du Vietnam. Rapport de synthèse. Projet 14EE5 (2004 - 2006). 202p. Institut des Ressources et Environnement maritime – Académie des sciences et des technologies. Haiphong (vietnamien)
- Nguyen Huu Tri (dir.pub), 2003. Etude de glissements de terrain le long de la route Hochiminh et les solutions à traiter. Rapport de synthèse. 157p. VLB éditeur. Hanoi. (vietnamien)
- Nguyen Khanh Van, Nguyen Thi Hien, Phan Ke Loc, Nguyen Tien Hiep, 2000. Bioclimatic diagrams of Vietnam. Vietnam National University publishing house. 126p
- Nguyen Lap Dan (dir.pub), 2004. Bases scientifiques pour les solutions générales pour prévoir et prévenir les inondations au Centre du Vietnam. Rapport de synthèse. Projet KC-08-12. Institut de Géographie - Académie des sciences et des technologies du Viet Nam. (vietnamien)
- Nguyen Ngoc Thuy, 1993. Tendance de montée du niveau de la mer au Vietnam. Journal de Marines Sciences. 1, 1-2. (vietnamien)
- Nguyen The Tuong (dir.pub), 2000. Caractéristiques hydrométéorologiques sur la plateforme continentale du Vietnam. Editeur d'agriculture. Hanoi. (vietnamien)
- Nguyen Trong Yem, 1996. Champ des contraintes tectoniques cénozoïque au Vietnam. Sciences de la Terre. N°3,193-197. Hanoi. (vietnamien)
- Nguyen Trong Yem (dir.pub.), 1997. Glissements de terrain à la montagne au Vietnam. Rapport de progress. Hanoi. 34p. (vietnamien)
- Nguyen Trong Yem (dir.pub.), 2000. Investigation des glissements de terrain aux districts montagneux de la province de Quang Nam. Rapport de synthèse. Hanoi. VLB, 118p. (vietnamien)
- Nguyen Trong Yem (dir.pub.), 2001. Investigations, évaluations et propositions de traitement pour les glissements de terrain en montagnes du Vietnam : la région côtière du Centre. Rapport de synthèse. Projet 96/QD-UBDTMN. 271p. Hanoi.
- Nguyen Van Cu et Pham Huy Tien, 2003. L'érosion au Centre du Vietnam. Edition des Sciences et de Technique. 200p. (vietnamien)
- Nguyen Van Pho, 1983. Les rivières du Vietnam. Edition des Sciences et de Technique. Hà Nội. (vietnamien)
- Nguyen Van Trang (dir. pub.), 1996. Géologie et Ressources minérales de Huong Hoa - Hué - Da Nang, Cartes et rapport, échelle 1:200.000. Département de Géologie du Vietnam. (vietnamien)
- Nguyen Xuan Duong (dir. pub.), 1996. Géologie et Ressources minérales de Le Thuy – Quang Tri, Cartes et rapport, échelle 1 :200.000. Département de Géologie du Vietnam. (vietnamien).
- Nilsen T.H., Wright R.H., Vlasic C. and Spangle W.E., 1979. Relative slope stability and land-use planning in the San Francisco Bay region, California. US Geological Survey Professional Paper 944, 104 pp.
- Nunez J., Otazu X. and Ardiol R., 1999. Multiresolution-Based Image Fusion with Additive Wavelet composition," IEEE Trans. Geosciences and Remote Sensing, Vol. 37(3), 1204-1211.
- Okada Y., 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bulletin of the Seismological Society of America, 82, 1018-1040

- Ozer A., Phan Trong Trinh, Jaspar A. and Risak S., 1999. Study of the Hai-Phong Bay coastal evolution over a sixty year period using remote sensing data. *Journal of Geology*, serie B, No13-14, 226.
- Pham Huy Thong. (dir.pub.), 1997. Géologie et Ressources minérales, Série de feuilles de Hué, échelle 1 :50.000. Rapport et carte. Département de Géologie et des Ressources minérales du Vietnam. (vietnamien)
- Pham Huy Tien (dir.pub.), 2005. Prévoir l'érosion et l'accumulation de la côte, de l'embouchure et les mesures de prévention. Institut de Géographie - Académie des sciences et de la technologie du Vietnam. (vietnamien).
- Pham Van Ninh., 1991. Surcôte au Vietnam. 3<sup>ème</sup> colloque national sur la science marine. Vol 2, 81-87. Hanoi. (vietnamien)
- Phan Trong Trinh, 1993. An inverse problem for the determination of the stress tensor from polyphased fault sets and earthquake focal mechanisms. *Tectonophysics*. V.224,p.393-411.
- Phan Trong Trinh, 1994. Cenozoic stress field in the Northwestern region of Vietnam. *J.Geology*, Hanoi, serie B, n3-4, p.12-18.
- Phan Trong Trinh, Nguyen Trong Yem, Leloup H. P., Tapponnier P., 1994. Late cenozoic stress field in North Vietnam from microtectonic measurement. *Proceed. Inter. Seis. Haz. South. Asia*,p. 182 - 186.
- Phan Trong Trinh, 1995. Influence des failles actives sur les réservoirs de Hoabinh et Song Chay (Nord Vietnam). *Téledétection des Ressources en eau*. Presss des universités francophones, Québec, 31 - 42.
- Phan Trong Trinh, 2001. Remote sensing and GIS for warning of geological hazards: Example in Vietnam, in "Early warning systems for Natural hazards reduction", 753-762. Edited by Jochen Zchau and Andreas N Kupperts. Springer-Verlag Publisher. Berlin, 900p.
- Phan Trong Trinh, Hoang Quang Vinh, Bui Thi Thao, 2002. Actual geodynamics of the Red river fault zone and surrounding areas. *Proceeding of Scientific seminars on RED-YUAN river basin economic development & Environmental protection*, Publishing house of Science and Technology, 18-27.
- Phan Trong Trinh, Hoang Quang Vinh, Ozer André, Mai Thanh Tan, 2003. Fusion of multiresolution and multisensor imagery in Cat Hai, Hai phong. *J. Geology*. 21, 101-108. Hanoi.
- Phan Trong Trinh (dir.pub.), 2004. Etude de néotectonique et son influence sur les géorisques dans le Nord du Centre du Vietnam. Institut de Sciences géologiques - Académie des sciences et de la technologie du Vietnam. 188p (en vietnamien)
- Phan Trong Trinh, Hoang Quang Vinh, 2004. Active tectonics, seismotectonics and Coulomb stress change modelling in Sonla Hydropower dam. *Proceeding of International symposium on shallow geology and geophysics*, p. 116-127.
- Phan Trong Trinh, Mai Thanh Tan, Ngo Van Liem, Hoang Quang Vinh, Nguyen Van Huong, Dinh Van The, Closson D. et Ozer A., 2007. Apport de la télédétection à l'étude des failles actives et des risques sismiques au nord du Viêt Nam. *Téledétection*, vol 7(1-2-3-4), 465-481.
- Phan Trong Trinh, Tran Van Tri, Nguyen Can, Dang Van Bat, Pham Huy Tien, Van Duc Chuong, Hoang Quang Vinh, Le Thi Lai, Doan Van Tuyen, Tran Trong Hue, Nguyen Van Hung, Nguyen Dich Dy, Tran Dinh To, Nguyen Tran Hung, Doan Kim Thuyen and Huynh Tuoc, 1999. Active tectonics and seismic hazards in Son La hydropower dam (North Vietnam). *Journal of Geology* (Hanoi), serie B, n<sup>o</sup>13-14, p.19-32.
- Phan Truong Thi, 1997. Métamorphisme et orogénèse du Truong Son. *Science de la terre*, 3, Hanoi. (vietnamien)
- Phan Van Quynh, Vo Nang Lac, Tran Ngoc Nam, 1995. Certaines caractéristiques de la déformation tectonique du Paléozoïque inférieur - Cénozoïque au territoire du Vietnam et ses alentours. *Géologie, Ressources minérales et Pétrole du Vietnam*. 1, 171-183. (vietnamien)
- Phan Vi Thuy, 1991. Cyclones et travaux routiers. *Construction*. Hanoi. 79p.(vietnamien)

- Phan Xuan Dai & Nguyen Chinh Bai, 2001. Solutions contre les glissements de terrain le long des routes. Transport. Hanoi. 154p.(vietnamien)
- Rakotoniaina S., Collet C., Ratsimbazafy J.B., 1999. Fusion d'image de télédétection à l'aide de l'analyse multirésolution par ondelettes, dans " La télédétection en Francophonie : analyse critique et perspective", 85-94. Agence universitaire de la Francophonie.
- Ranchin T., 1993. Application de la transformée en ondelette et de l'analyse multirésolution au traitement des images de télédétection. Thèse de doctorat. Université de Nice-Sophia Antipolis, 146p.
- Replumaz A., Lacassin R., Tapponier P. and Leloup P.H., 2001. Large river offsets and Plio-Quaternary dextral slip rate on the Red River Fault (Yunnan, China). *J. Geophysical research*, 106 (B1), 819-836.
- Robin M., 2002. Télédétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique. Dans « Le littoral, regards, pratiques et savoirs ». p 95-115. édité par Baron-Yelles N, Goeldner-Gianella L. & Velut S. Edition Rue d'Ulm, 376p.
- Roger F., Leloup P.H., Jolivet M., Lacassin R., Phan Trong Trinh, M. Brunel, D. Seward, 2000. Unravelling a long and complex thermal history by multi-system geochronology: example of the SongChay metamorphic dome, North Vietnam. *Tectonophysics*, 321, 449-466.
- Roth J.F., 2006. Etude diachronique, à l'aide de la télédétection, de l'évolution de la plaine côtière de Châm Mây (Vietnam). Mémoire de Licencié. Université de Liège.
- Roth R.A., 1983. Factors affecting landslide susceptibility in San Mateo County, California. *Association of Engineering Geologists Bulletin* 20 4 , 353–372.
- Schuster R.L., 1996. Socioeconomic significance of landslides. In *Landslides: investigation and mitigation*, 12-35. Edited by A.K. Turner, R.L. Schuster. National Academy Press. Washington
- Seeley M.W. and West D.O., 1990. Approach to geologic hazard zoning for regional planning, Inyo National Forest, California and Nevada. *Bulletin American Association of Engineering Geologists* 27(1), 23–35.
- Sharifi M.A., Van Den Toorn W., A. Rico, and Emmanuel M., 2003. Application of GIS and multicriteria evaluation in locating sustainable boundary between the Tunari National Park and Cochabamba City (Bolivia). *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 11(3), 151-164.
- Shettigara V., 1992. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set. *Photogram. Eng. Remote Sens.*, 58, 561–567.
- Slemmons D.B., 1977. State of the art for assessing earthquake hazards in the United States, report 6: faults and earthquake magnitudes 73-1, 129 p.
- Slemmons D.B., 1982. Determination of design earthquake Magnitude for Microzonation. *Proc. Third international Earthquake Microzonation Conf.*, v .1, 119-130
- Stein R., 2003. Conversations entre séismes. *Pour la Science*, 306, 26-33.
- Süzen M.L. & Doyuran V., 2004. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71(3-4): 303-321.
- Tapponier P., Lacassin R., Leloup P.H., Schärer U., Zhong Dalai, Wu Haiwei, Liu Xiaohan, Ji Shaocheng, Zhang Liangshang & Zhong Jiayou, 1990. The Ailao Shan left-lateral shear between Indochina and South China. *Nature*, 343, 431-437.
- Terlien M.T.J., van Westen, C.J., van Asch, Th.W.J., 1995. Deterministic modelling in GIS-based landslide hazard assessment. In: Carrara, A., Guzzetti, F. Eds. , *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, pp. 57–77.
- Tran Duc Luong, Nguyen Xuan Bao, 1988. Carte géologique du Vietnam, échelle 1 :500.000. Département de Géologie du Vietnam. Hanoi.

- Tran Duc Thanh, 1997. L'impact environnemental de la fermeture et le déplacement des passes de la lagune Tam Giang - Cau Hai. *Resources et Environnement maritime*. 4, 185-196. (vietnamien)
- Tran Huu Tuyen, 2003. Etude sur le processus d'accumulation - érosion au littoral de Binh Tri Thien. Thèse de doctorat. Université de Mine et de Géologie. Hanoi. 142p. (vietnamien)
- Tran Minh Dan, 1980. Etude de la stabilité de talus des mines ouvertes sous le climat tropical du Vietnam. Edition de Sciences et Technique. Hanoi. 150p (vietnamien)
- Tran Tan Van (dir.pub.), 2001. Géorisques dans les provinces côtières de Quang Binh à Phu Yen – situation, cause, prévision et contre-mesures. Institut de Géologie et des Ressources minérales - Ministère de l'Industrie (vietnamien)
- Tran Trong Hue (dir.pub.), 2001. Etude et estimation générale de géorisques au Vietnam et contre-mesures. Phase 1 : la partie du Centre septentrional. Projet indépendant d'Etat. Institut des Sciences géologiques- Centre national des Sciences naturelles et de la Technologie du Vietnam.(vietnamien)
- Tran Trong Hue (dir.pub.), 2006. Estimation de l'impact de géorisques sur quelques travaux socioéconomiques plus importants et proposition des contre-mesures. Rapport de synthèse. Institut des Sciences géologiques – Académie des sciences et des technologies. (vietnamien)
- Tran Van Tu (dir.pub.), 2000. Etudier les bases de la formation et le développement des crues en montagneuses (y compris les crues subites); proposer des solutions d'alerte, de prévision et de mitigation d'intensité de crue et de dommages. Centre nationale des Sciences naturelles et de Technologie. Ha Noi. (vietnamien)
- Van Duc Chuong, 1996. Impact des mouvements néotectoniques et géodynamiques récents sur les travaux culturels et habitations à Hué. *Géologie et Ressources*, 1, 68-79. Edition de Sciences & Technique. Hanoi. (vietnamien)
- van Westen, C.J., 1993. Application of Geographical Information System to landslide hazard zonation. ITC Publication no. 15, ITC, Enschede, the Netherlands, 245 pp.
- van Westen, C.J., 1994. GIS in landslide hazard zonation: a review with examples from the Colombian Andes. In: Price, M.F., Heywood, D.I. (Eds), Taylor and Francis, London, pp.135–165.
- Varnes D.J., 1978. Slope movements, type and processes. In: \_ . Schuster, R.L., Krizek, R.J. Eds. , *Landslide Analysis and Control*. Transportation Research Board, National Academy Sciences, Washington, DC, pp. 11–33, Special report 176.
- Vu Manh Dien (dir.pub.), 1994. Géologie et Ressources minérales, Série de feuilles de Nam Dong, échelle 1 :50.000. Rapport et carte. Département de Géologie et des Ressources minérales du Vietnam. (vietnamien).
- Walter H. and Leith H., 1967. *Klimadiagram-Weltatlas*. VEB Gustav Fisher Verlag. Jena.
- Wan Y.G., Z.L. Wu Z.L., Zhou G.W., 2004. Focal mechanism dependence of static stress triggering of earthquakes. *Tectonophysics* 390 (2004) 235– 243
- Wells D. L. and Coppersmith K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 974-1002
- Wieczorek G.F., 1996. Landslide triggering mechanisms. In *Landslide: investigation and mitigation*, 76-87, edited by A. Keith Turnaer, R. L. Schuster. National Academy Press. Washington.
- Winter Th., Phan Trong Trinh, Lacassin R., Nguyen Trong Yem, and Costaz J., 1994. Advantage of a deterministic approach of seismic risk for dam design: the Hoa Binh dam case (Vietnam), pp 249-254 in Taponnier and Nguyen Dinh Xuyen (réd.), *Proceedings of the International Workshop on Seismic Harzards in South East Asia*. Hanoi 1er – 4 février 1994, UNESCO, Hanoi, 276p.
- Woodward - Clyde Consultants, 1983. *Seismic Exposure Study, offshore, Southern California*. Report to Texaco USA, new Orleans

- Wright R.H., Campbell R.H. & Nilsen T.H., 1974. Preparation and use of isopleth maps of landslide deposits. *Geology*, 2(10): 483-485.
- Wyss. M. 1979. Estimating Maximum Expectable Magnitude of Earthquakes from Fault Dimensions. *Geology*, v 7, no. 7, 336-340
- Xiang Jianguang and Gao Dong, 1994. The strong ground motion records obtained in Lancang-Gengma earthquake in 1988, China, and their application, Rept. at International Workshop on Seismotectonics and Seismic Hazard in Southeast Asia, Hanoi, 1994.
- Yin K.L., Yan T.Z., 1988. Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. 5th International Symposium on Landslides, Lausanne 2, 1269–1272.
- Yocky D.A., 1996. Multiresolution wavelete decomposition image merger of Landsat Thematic Mapper and Spot panchromatic data. *Photogrammetric Engineering and remote sensing* 64, 1067-1074.
- Zhou G., Esaki, T., Mitani, Y., Xie, M. & Mori, J., 2003. Spatial probabilistic modeling of slope failure using an integrated GIS Monte Carlo simulation approach. *Engineering Geology*, 68(3-4): 373-386.
- Zhou J., D. L. Civco and J.A. Silander, 1998. A wavelete transform method top merge Landsat TM and Spot Panchromatic data. *International J. Remote Sensing*, 19(4), 743-757.
- Zimmerman M., Bichsel M. and Kienholz H., 1986. Mountain hazards mapping in the Khumbu Himal, Nepal, with prototype map, scale 1:50,000. *Mountain Research and Development* 6(1) , 29–40.

### Les sites consultés

- <http://en.wikipedia.org/wiki>. Free encyclopedia on line.
- <http://pclb.thuathienHué.gov.vn>. Direction chargée d'Inondation, Tempête et Sauvetage de Thua Thien Hué
- <http://www.ccfsc.org.vn/DMU> En Disaster Management Unit - Vietnam Central Committee for Flood and Storm control – CCFSC)
- <http://www.gso.gov.vn> Vietnam General Statistics Office.
- <http://www.hoahocVietnam.com> Chimie du Vietnam
- <http://www.ipcc.ch> Group d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC)
- <http://www.thuathienHué.gov.vn> Comité du Peuple de la province de Thua Thien Hué.
- <http://www.vacne.org.vn> Vietnam Association for Conservation of Nature and Environmen
- <http://www.vava.org.vn>. Vietnam Association of Victim of Agent Orange/Dioxin
- <http://www.vnexpress.net> Journal électronique géré par le Ministère des Sciences et de Technologie
- <https://metocph.nmci.navy.mil/> . Naval Maritime Forecast Center/Joint Typhoon Warning Center – U.S. Navy



## ANNEXE

**Annexe 1. CALCUL DE RISQUE SISMIQUE POUR LE BARRAGE HYDROELECTRIQUE DE BAN LA****Magnitude maximum de séisme engendré par la faille de Nam Chu, à la profondeur de 12 km**

Longueur (km)	Profondeur (km)	Pendage (°)	Déplacement (m)	Etat de contrainte
50	12	90	0,973	Décrochement

Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :	6,897
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :	7,063
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :	6,814
Magnitude estimée par Wyss (1979) utilisant la surface de faille :	6,928
Magnitude estimée par Woodward-clyde (1983) utilisant la surface de faille :	6,888
Magnitude estimée par Hanks- Kanamori utilisant le moment sismique :	6,796
Déplacement (m) estimé par Slemmons (1982) :	0,802
Vitesse (mm) estimée par Woodward-Clyde (1983) :	0,543
Déplacement maximal (m) estimé par Well-Coppersmith (1994) :	0,973
Déplacement moyen (m) estimé par Well-Coppersmith, (1994) :	0,649

Pondération :

Coefficient de méthode de moment sismique :	8
Coefficient de méthode de surface de faille :	2
Coefficient de méthode de longueur de faille :	1

Magnitude moyenne	Variance	Magnitude maximale
6,849	0,075	6,924

**PGA de séisme engendré par la faille de Nam Chu, à la profondeur de 12 km pour le site à 0,8 km de la faille**

Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
6,924	0,800 km	12 km	90°

## ACCELERATION AU SOL

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,2509	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,2545	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,2545	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,2526	Coefficient : 4,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,3020	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,2550	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,2747	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,3416	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence) :	0,4997	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence) :	0,6477	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,5372	Coefficient : 0,0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0,2719	0,0246	0,2966

**MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1548	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1693	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1693	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1681	Coefficient : 4,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,2443	Coefficient : 1,0

PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1703	Coefficient : 1,5	
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,1871	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,2197	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,2549	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,3227	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,2872	Coefficient : 0,0	
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type
145 ans	6,1412	0,1857	0,0234

**MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,2218	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,2311	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,2311	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,2274	Coefficient : 4,0	
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,2872	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,2287	Coefficient : 1,5	
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,2536	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,3032	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,4167	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,5366	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,4537	Coefficient : 0,0	
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type
950 ans	6,7127	0,2467	0,0251

**PGA de séisme engendré par la faille de Nam Chu, à la profondeur de 12 km  
pour le site à 5,2 km de la faille**

Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
6,924	5,2 km	12 km	90°

**ACCELERATION AU SOL**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,2371	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,2418	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,2418	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,2354	Coefficient : 4,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,2862	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,2417	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,2614	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,3134	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence) :	0,4752	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence) :	0,5872	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,5161	Coefficient : 0,0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0,2547	0,0223	0,2770

**MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1447	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1576	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1576	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1552	Coefficient : 4,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,2290	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1614	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,1753	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,2015	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,2424	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,2926	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,2759	Coefficient : 0,0

Période de retour 145 ans	Magnitude 6,1412	PGA moyen 0,1728	Ecart type 0,0214
------------------------------	---------------------	---------------------	----------------------

**MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,2090	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,2184	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,2184	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,2113	Coefficient : 4,0	
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,2714	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,2167	Coefficient : 1,5	
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,2402	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,2782	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,3962	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,4865	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,4359	Coefficient : 0,0	
Période de retour 950 ans	Magnitude 6,7127	PGA moyen 0,2306	Ecart type 0,0228

**Magnitude maximum de séisme engendré par la faille de Nam Chu, à la  
profondeur de 11 km**

Longueur (km) 50	Profondeur (km) 11	Pendage (°) 90	Déplacement (m) 0,888	Etat de contrainte Décrochement
---------------------	-----------------------	-------------------	--------------------------	------------------------------------

Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :	6,897
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :	7,063
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :	6,775
Magnitude estimée par Wyss (1979) utilisant la surface de faille :	6,890
Magnitude estimée par Woodward-clyde (1983) utilisant la surface de faille :	6,847
Magnitude estimée par Hanks- Kanamori utilisant le moment sismique :	6,744
Déplacement (m) estimé par Slemmons (1982) :	0,802
Vitesse (mm) estimée par Woodward-Clyde (1983) :	0,504
Déplacement maximal (m) estimé par Well-Coppersmith (1994) :	0,888
Déplacement moyen (m) estimé par Well-Coppersmith, (1994) :	0,599

Pondération :

Coefficient de méthode de moment sismique :	8
Coefficient de méthode de surface de faille :	2
Coefficient de méthode de longueur de faille :	1

Magnitude moyenne 6,809	Variance 0,088	Magnitude maximale 6,897
----------------------------	-------------------	-----------------------------

**PGA de séisme engendré par la faille de Nam Chu, à la profondeur de 11 km  
pour le site à 0,8 km de la faille**

Magnitude 6,897	Distance 0,800 km	Profondeur 11 km	Pendage 90°
--------------------	----------------------	---------------------	----------------

**ACCELERATION AU SOL**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,2615	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,2646	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,2646	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,2679	Coefficient : 4,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,3163	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,2653	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,2857	Coefficient : 1,0

PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,3678	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence) :	0,5129	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence) :	0,6997	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)	0,5465	Coefficient : 0,0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0,2869	0,0277	0,3146

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1631	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1792	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1792	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1798	Coefficient : 4,0	
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,2579	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1775	Coefficient : 1,5	
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,1966	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,2369	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,2623	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,3496	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)	0,2929	Coefficient : 0,0	
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type
145 ans	6,1173	0,1973	0,0256

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,2319	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,2413	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,2413	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,2417	Coefficient : 4,0	
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,3019	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,2380	Coefficient : 1,5	
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,2648	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,3266	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,4280	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,5802	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)	0,4618	Coefficient : 0,0	
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type
950 ans	6,6865	0,2608	0,0277

**Magnitude maximum de séisme engendré par la faille de Nam Chu, à la profondeur de 10 km**

Longueur (km)	Profondeur (km)	Pendage (°)	Déplacement (m)	Etat de contrainte
50	10	90	0,803	Décrochement

Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :	6,897
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :	7,063
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :	6,733
Magnitude estimée par Wyss (1979) utilisant la surface de faille :	6,849
Magnitude estimée par Woodward-clyde (1983) utilisant la surface de faille :	6,803
Magnitude estimée par Hanks- Kanamori utilisant le moment sismique :	6,687
Déplacement (m) estimé par Slemmons (1982) :	0,802
Vitesse (mm) estimée par Woodward-Clyde (1983) :	0,465
Déplacement maximal (m) estimé par Well-Coppersmith (1994) :	0,803
Déplacement moyen (m) estimé par Well-Coppersmith, (1994) :	0,549

Pondération :

Coefficient de méthode de moment sismique : 8

Coefficient de méthode de surface de faille : 2

Coefficient de méthode de logueur de faille : 1

Magnitude moyenne	Variance	Magnitude maximale
6,764	0,104	6,868

**PGA de séisme engendré par la faille de Nam Chu, à la profondeur de 10 km  
pour le site à 0,8 km de la faille**

Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
6,868	0,800 km	10 km	90°

## ACCELERATION AU SOL

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,2734	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,2756	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,2756	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,2852	Coefficient : 4,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,3319	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,2764	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,2976	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,3988	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence) :	0,5262	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence) :	0,7619	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)	0,5555	Coefficient : 0,0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0,3040	0,0323	0,3363

**MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1726	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1902	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1902	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1935	Coefficient : 4,0	
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,2727	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1852	Coefficient : 1,5	
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,2070	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,2573	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,2699	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,3817	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,2985	Coefficient : 0,0	
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type
145 ans	6,0916	0,2104	0,0287

**MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,2433	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,2526	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,2526	Coefficient : 0,0	
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,2581	Coefficient : 4,0	
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,3181	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,2481	Coefficient : 1,5	
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,2770	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,3543	Coefficient : 1,0	
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,4394	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,6322	Coefficient : 0,0	
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,4697	Coefficient : 0,0	
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type
950 ans	6,6584	0,2769	0,0308

## Annexe 2. CALCUL DE RISQUE SISMIQUE POUR LE BARRAGE HYDROELECTRIQUE DE HUONG DIEN

### Magnitude maximale engendrée par la faille F1, Huong Dien

Longueur (km)	Profondeur (km)	Pendage (°)	Déplacement (m)	Etat de contrainte
4.763	6.000	70.000	0.042	Décrochement

Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :	5.703
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :	5.919
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :	5.493
Magnitude estimée par Wyss (1979) utilisant la surface de faille :	5.633
Magnitude estimée par Woodward-Clyde (1983) utilisant la surface de faille :	5.498
Magnitude estimée par Hanks- Kanamori utilisant le moment sismique :	5.022
Déplacement (m) estimé par Slemmons (1982) :	0.026
Vitesse (mm) estimée par Woodward-Clyde (1983) :	0.043
Déplacement maximal (m) estimé par Well-Coppersmith (1994) :	0.042
Déplacement moyen (m) estimé par Well-Coppersmith, (1994) :	0.042

Pondération :

Coefficient de méthode de moment sismique :	3
Coefficient de méthode de surface de faille :	2
Coefficient de méthode de longueur de faille :	1

Magnitude moyenne	Variance	Magnitude maximale
5.449	0.287	5.736

### Magnitude maximale engendrée par la faille F2, Huong Dien

Longueur (km)	Profondeur (km)	Pendage (°)	Déplacement (m)	Etat de contrainte
2.351	6.000	70.000	0.022	Décrochement

Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :	5.345
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :	5.576
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :	5.180
Magnitude estimée par Wyss (1979), utilisant la surface de faille :	5.326
Magnitude estimée par Woodward-clyde (1983) utilisant la surface de faille :	5.169
Magnitude estimée par Hanks- Kanamori, utilisant le moment sismique :	4.631
Déplacement (m) estimé par Slemmons, (1982) :	0.009
Vitesse (mm/an) estimée par Woodward-clyde, (1983) :	0.024
Déplacement maximal (m) estimée par Well-Coppersmith (1994) :	0.020
Déplacement moyen (m) estimée par Well-Coppersmith (1994) :	0.022

Pondération :

Coefficient de méthode de moment sismique :	3
Coefficient de méthode de surface de faille :	2
Coefficient de méthode de longueur de faille :	1

Magnitude moyenne	Variance	Magnitude maximale
5.106	0.312	5.418

### Magnitude maximale engendrée par la faille F3, Huong Dien

Longueur (km)	Profondeur (km)	Pendage (°)	Déplacement (m)	Etat de contrainte
2.468	6.000	70.0	0.023	Décrochement

Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :	5.405
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :	5.634
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :	5.233
Magnitude estimée par Wyss (1979), utilisant la surface de faille :	5.378
Magnitude estimée par Woodward-clyde (1983), utilisant la surface de faille :	5.224

Magnitude estimée par Hanks- Kanamori, utilisant le moment sismique :	4.678
Déplacement (m) estimé par Slemmons (1982) :	0.011
Vitesse (mm/an) estimée par Woodward-clyde (1983) :	0.026
Déplacement maximal (m) estimée par Well-Coppersmith (1994) :	0.023
Déplacement moyen (m) estimée par Well-Coppersmith (1994) :	0.025

## Pondération :

Coefficient de méthode de moment sismique :	3
Coefficient de méthode de surface de faille :	2
Coefficient de méthode de longueur de faille :	1

Magnitude moyenne	Variance	Magnitude maximale
5.158	0.312	5.474

**PGA engendrée par la faille F1, Huong Dien**

Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
5.736	2.932 km	6.000 km	-70.000°

## ACCELERATION AU SOL

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.1653	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.1875	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.1875	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.1993	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.2380	Coefficient : 3.0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.2714	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.1757	Coefficient : 1.5
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0.1980	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.2695	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence) :	0.2227	Coefficient : 0.0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence) :	0.3687	Coefficient : 0.0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)	0.2452	Coefficient : 0.0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0.2289	0.0345	0.2633

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.0873	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.0999	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.0999	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.1186	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.1275	Coefficient : 3.0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.1342	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.1089	Coefficient : 1.5		
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0.1112	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.1597	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.1003	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.1614	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0.1167	Coefficient : 0.0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
145 ans	4.8079	0.1268	0.0158	0.1410

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 475 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.1053	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.1215	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.1215	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.1379	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.1539	Coefficient : 3.0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.1710	Coefficient : 1.0

PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.1245	Coefficient : 1.5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.1319	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.1849	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.1254	Coefficient : 0.0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.2035	Coefficient : 0.0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0.1437	Coefficient : 0.0
Période de retour	Magnitude	PGA moyen
475 ans	5.0679	0.1515
		Ecart type
		0.0200
		GPA maximum
		0.1695

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.1327	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.1530	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.1530	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.1665	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.1931	Coefficient : 3.0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.2217	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.1479	Coefficient : 1.5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.1625	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.2233	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.1672	Coefficient : 0.0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.2740	Coefficient : 0.0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)	0.1878	Coefficient : 0.0
Période de retour	Magnitude	PGA moyen
950 ans	5.4025	0.1878
		Ecart type
		0.0271
		GPA maximum
		0.2122

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 10000 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.1652	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.1874	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.1874	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.1992	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.2380	Coefficient : 3.0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.2714	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.1757	Coefficient : 1.5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.1979	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.2695	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.2227	Coefficient : 0.0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.3686	Coefficient : 0.0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)	0.2451	Coefficient : 0.0
Période de retour	Magnitude	PGA moyen
10000	5.7357	0.2288
		Ecart type
		0.0345
		GPA maximum
		0.2598

**PGA engendrée par la faille F2, Huong Dien**

Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
5.418	3.123 km	6.000 km	-70°

ACCELERATION AU SOL

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.1324	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.1524	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.1524	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.1654	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.1916	Coefficient : 3.0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.2218	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.1479	Coefficient : 1.5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.1622	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.2217	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.1683	Coefficient : 0.0



PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.2728	Coefficient : 0.0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0.1891	Coefficient : 0.0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0.1870	0.0268	0.2138

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.0707	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.0789	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.0789	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.0995	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.1014	Coefficient : 3.0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.0995	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.0941	Coefficient : 1.5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.0914	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.1352	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.0792	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.1250	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0.0938	Coefficient : 0.0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
145 ans	4.5413	0.1029	0.0132	0.1147

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 475 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.0848	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.0966	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.0966	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.1153	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.1229	Coefficient : 3.0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.1299	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.1069	Coefficient : 1.5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.1082	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.1553	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.0978	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.1555	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0.1141	Coefficient : 0.0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
475 ans	4.7870	0.1230	0.0151	0.1365

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.1065	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.1227	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.1227	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.1386	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.1548	Coefficient : 3.0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.1743	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.1258	Coefficient : 1.5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.1332	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.1856	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.1283	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.2061	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)	0.1470	Coefficient : 0.0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
950 ans	5.1030	0.1528	0.0201	0.1709

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 10000 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.1324	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.1523	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.1523	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.1654	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.1916	Coefficient : 3.0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.2217	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.1479	Coefficient : 1.5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.1621	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.2216	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.1682	Coefficient : 0.0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.2727	Coefficient : 0.0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0.1891	Coefficient : 0.0
Période de retour	Magnitude PGA moyen	Ecart type
10000 ans	5.4177	0.1870
		PGA maximum
		0.0268
		0.2111

**PGA engendrée par la faille F3, Huong Dien**

Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
5.474	8.548 km	6.000 km	-70°

ACCELERATION AU SOL

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.0955	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.1045	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.1045	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.1122	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.1315	Coefficient : 3.0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.1665	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.1191	Coefficient : 1.5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.1185	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.1474	Coefficient : 1.0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.1418	Coefficient : 0.0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.1737	Coefficient : 0.0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0.1667	Coefficient : 0.0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0.1341	0.0156	0.1497

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.0488	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.0486	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.0486	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.0651	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.0679	Coefficient : 3.0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.0719	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.0754	Coefficient : 1.5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.0616	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.0894	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.0662	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.0789	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0.0821	Coefficient : 0.0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
145 ans	4.5883	0.0720	0.0080	0.0792

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 475 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.0592	Coefficient : 0.0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.0611	Coefficient : 0.0

PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.0611	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.0761	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.0828	Coefficient : 3.0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.0950	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.0857	Coefficient : 1.5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.0746	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.1029	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.0819	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.0985	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0.1001	Coefficient : 0.0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
475 ans	4.8364	0.0866	0.0084	0.0941

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.0755	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.0808	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.0808	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.0927	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.1051	Coefficient : 3.0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.1291	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.1011	Coefficient : 1.5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.0945	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.1232	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.1078	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.1308	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0.1292	Coefficient : 0.0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
950 ans	5.1557	0.1085	0.0113	0.1186

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 10000 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0.0955	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0.1045	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0.1045	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0.1122	Coefficient : 0.0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0.1315	Coefficient : 3.0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0.1664	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0.1191	Coefficient : 1.5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0.1184	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0.1473	Coefficient : 1.0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0.1417	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0.1736	Coefficient : 0.0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0.1666	Coefficient : 0.0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
10000	5.4737	0.1340	0.0156	0.1481

### Annexe 3. CALCUL DE RISQUE SISMIQUE POUR LE BARRAGE HYDROELECTRIQUE DE BAN UON

#### Magnitude maximale engendrée par la faille Ban Uon 1

Longueur (km)	Profondeur (km)	Pendage (°)	Déplacement (m)	Etat de contrainte
15,8	10	90	0,250	Décrochement

Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :	6,312
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :	6,502
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :	6,223
Magnitude estimée par Wyss (1979) utilisant la surface de faille :	6,349
Magnitude estimée par Woodward-clyde (1983) utilisant la surface de faille :	6,226
Magnitude estimée par Hanks- Kanamori utilisant le moment sismique :	6,016
Déplacement (m) estimé par Slemmons (1982) :	0,150
Vitesse (mm) estimée par Woodward-Clyde (1983) :	0,175
Déplacement maximal (m) estimé par Well-Coppersmith (1994) :	0,240
Déplacement moyen (m) estimé par Well-Coppersmith, (1994) :	0,191

Pondération :

Coefficient de méthode de moment sismique :	8
Coefficient de méthode de surface de faille :	2
Coefficient de méthode de longueur de faille :	1

Magnitude moyenne	Variance	Magnitude maximale
6,163	0,160	6,323

#### PGA engendré par la faille Ban Uon 1

Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
6,3	11,84 km	10 km	90°

#### ACCELERATION AU SOL

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1402	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1503	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1503	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1441	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,2057	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,2117	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1562	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,1693	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1850	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence) :	0,2487	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence) :	0,2763	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,2866	Coefficient : 0,0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0,1890	0,0212	0,2081

#### MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0669	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0685	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0685	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0784	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1047	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1148	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,0924	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,0821	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1041	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,1035	Coefficient : 0,0

PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)				0,1115	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)				0,1268	Coefficient : 0,0
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum	
145 ans	5,2806	0,1005	0,0097	0,1092	

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 475 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :				0,0830	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :				0,0874	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :				0,0874	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :				0,0935	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :				0,1281	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :				0,1436	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :				0,1070	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :				0,1016	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :				0,1223	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)				0,1323	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)				0,1438	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)				0,1593	Coefficient : 0,0
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum	
475 ans	5,5662	0,1216	0,0133	0,1336	

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :				0,1085	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :				0,1164	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :				0,1164	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :				0,1166	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :				0,1636	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :				0,1802	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :				0,1293	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :				0,1321	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :				0,1505	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)				0,1815	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)				0,1994	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)				0,2138	Coefficient : 0,0
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum	
950 ans	5,9337	0,1530	0,0177	0,1690	

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 10000 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :				0,1402	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :				0,1503	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :				0,1503	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :				0,1441	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :				0,2056	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :				0,2117	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :				0,1562	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :				0,1693	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :				0,1850	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)				0,2486	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)				0,2762	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)				0,2865	Coefficient : 0,0
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum	
10000	6,2996	0,1889	0,0212	0,2080	

**Magnitude maximale engendrée par la faille Ban Uon 2**

Longueur (km)	Profondeur (km)	Pendage (°)	Déplacement (m)	Etat de contrainte
13,1	10	90,000	0,200	Décrochement

Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :	6,217
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :	6,411
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :	6,140
Magnitude estimée par Wyss (1979) utilisant la surface de faille :	6,267
Magnitude estimée par Woodward-clyde (1983) utilisant la surface de faille :	6,179
Magnitude estimée par Hanks- Kanamori utilisant le moment sismique :	5,897
Déplacement (m) estimé par Slemmons (1982) :	0,114
Vitesse (mm) estimée par Woodward-Clyde (1983) :	0,149
Déplacement maximal (m) estimé par Well-Coppersmith (1994) :	0,197
Déplacement moyen (m) estimé par Well-Coppersmith, (1994) :	0,161

Pondération :

Coefficient de méthode de moment sismique :	8
Coefficient de méthode de surface de faille :	2
Coefficient de méthode de longueur de faille :	1

Magnitude moyenne	Variance	Magnitude maximale
6,061	0,175	6,235

**PGA engendré par la faille Ban Uon 2**

Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
6,2	13,56 km	10 km	90°

**ACCELERATION AU SOL**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1220	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1299	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1299	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1253	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1719	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1894	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1398	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,1473	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1604	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence) :	0,2151	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence) :	0,2292	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,2521	Coefficient : 0,0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0,1630	0,0163	0,1777

**MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0579	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0573	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0573	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0681	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,0854	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,0976	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,0833	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,0704	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,0911	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,0908	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,0939	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,1130	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum

145 ans	5,1968	0,0853	0,0074	0,0920
---------	--------	--------	--------	--------

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 475 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0719	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0737	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0737	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0811	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1053	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1236	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,0963	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,0874	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1067	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,1156	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,1205	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,1415	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
475 ans	5,4779	0,1037	0,0101	0,1128

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0941	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0993	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0993	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1012	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1357	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1581	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1161	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,1143	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1309	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,1578	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,1663	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,1890	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
950 ans	5,8395	0,1312	0,0137	0,1436

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 10000 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1220	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1299	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1299	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1253	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1719	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1893	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1398	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,1473	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1604	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,2150	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,2291	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,2521	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
10000	6,1996	0,1630	0,0163	0,1776

**Magnitude maximale engendrée par la Ban Uon 3**

Longueur (km)	Profondeur (km)	Pendage (°)	Déplacement (m)	Etat de contrainte
10,960	10	90	0,170	Décrochement

Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :	6,127
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :	6,325
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :	6,061
Magnitude estimée par Wyss (1979) utilisant la surface de faille :	6,190
Magnitude estimée par Woodward-clyde (1983) utilisant la surface de faille :	6,095
Magnitude estimée par Hanks- Kanamori utilisant le moment sismique :	5,798
Déplacement (m) estimé par Slemmons (1982) :	0,088
Vitesse (mm) estimée par Woodward-Clyde (1983) :	0,128
Déplacement maximal (m) estimé par Well-Coppersmith (1994) :	0,163
Déplacement moyen (m) estimé par Well-Coppersmith, (1994) :	0,136

Pondération :

Coefficient de méthode de moment sismique :	8	
Coefficient de méthode de surface de faille :	2	
Coefficient de méthode de longueur de faille :	1	
Magnitude moyenne	Variance	Magnitude maximale
5,971	0,182	6,153

**PGA engendré par la faille Ban Uon 3**

Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
6,1	7,2 km	10 km	90°

**ACCELERATION AU SOL**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1477	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1617	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1617	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1606	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,2480	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,2360	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1642	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,1790	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,2093	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence) :	0,2425	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence) :	0,3024	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)	0,2748	Coefficient : 0,0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0,2153	0,0345	0,2463

**MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0730	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0778	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0778	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0901	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1284	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1241	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,0987	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,0914	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1199	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,1038	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,1256	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,1247	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
145 ans	5,1130	0,1158	0,0146	0,1289



MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 475 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0896	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0976	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0976	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1065	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1568	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1561	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1139	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,1114	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1402	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,1316	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,1607	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,1556	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
475 ans	5,3895	0,1399	0,0198	0,1577

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1158	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1275	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1275	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1313	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1991	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1981	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1368	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,1422	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1714	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,1788	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,2205	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,2069	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
950 ans	5,7453	0,1752	0,0272	0,1997

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 10000 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1477	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1616	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1616	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1605	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,2480	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,2359	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1642	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,1789	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,2093	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,2425	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,3023	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,2747	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
10000 ans	6,0996	0,2152	0,0345	0,2463

**Magnitude maximale engendrée par la faille Ban Uon 4**

Longueur (km)	Profondeur (km)	Pendage (°)	Déplacement (m)	Etat de contrainte
12	10	90	0,180	Décrochement

Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :	6,173
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :	6,369

Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :	6,101
Magnitude estimée par Wyss (1979) utilisant la surface de faille :	6,229
Magnitude estimée par Woodward-clyde (1983) utilisant la surface de faille :	6,138
Magnitude estimée par Hanks- Kanamori utilisant le moment sismique :	5,841
Déplacement (m) estimé par Slemmons (1982) :	0,101
Vitesse (mm) estimée par Woodward-Clyde (1983) :	0,138
Déplacement maximal (m) estimé par Well-Coppersmith (1994) :	0,179
Déplacement moyen (m) estimé par Well-Coppersmith, (1994) :	0,148

Pondération :

Coefficient de méthode de moment sismique :	8
Coefficient de méthode de surface de faille :	2
Coefficient de méthode de longueur de faille :	1

Magnitude moyenne	Variance	Magnitude maximale
6,013	0,182	6,195

### PGA engendré par la faille Ban Uon 4

Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
6,2	10,88 km	10 km	90°

#### ACCELERATION AU SOL

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1362	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1469	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1469	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1426	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,2073	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,2122	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1533	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,1649	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995):	0,1837	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence) :	0,2357	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence) :	0,2672	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,2716	Coefficient : 0,0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0,1884	0,0233	0,2093

#### MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0656	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0674	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0674	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0783	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1069	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1121	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,0914	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,0810	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1043	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,0995	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,1094	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,1217	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
145 ans	5,1968	0,1007	0,0102	0,1098

**MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 475 ANS**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0811	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0857	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0857	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0931	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1303	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1410	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1057	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,0998	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1222	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,1267	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,1405	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,1524	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
475 ans	5,4779	0,1216	0,0139	0,1342

**MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1058	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1140	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1139	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1157	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1656	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1787	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1273	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,1292	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1499	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,1729	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,1939	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)	0,2035	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
950 ans	5,8395	0,1528	0,0190	0,1698

**MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 10000 ANS**

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1362	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1469	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1469	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1426	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,2072	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,2122	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1533	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,1649	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1836	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,2356	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,2671	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,2715	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
10000 ans	6,1996	0,1883	0,0233	0,2093

**Magnitude maximale engendrée par la faille Ban Uon 5**

Longueur (km)	Profondeur (km)	Pendage (°)	Déplacement (m)	Etat de contrainte
9,500	10	90	0,150	Décrochement

Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :	6,054
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :	6,255
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :	5,997

Magnitude estimée par Wyss (1979) utilisant la surface de faille :	6,128
Magnitude estimée par Woodward-clyde (1983) utilisant la surface de faille :	6,029
Magnitude estimée par Hanks- Kanamori utilisant le moment sismique :	5,721
Déplacement (m) estimé par Slemmons (1982) :	0,072
Vitesse (mm) estimée par Woodward-Clyde (1983) :	0,113
Déplacement maximal (m) estimé par Well-Coppersmith (1994) :	0,140
Déplacement moyen (m) estimé par Well-Coppersmith, (1994) :	0,120

Pondération :

Coefficient de méthode de moment sismique :	8	
Coefficient de méthode de surface de faille :	2	
Coefficient de méthode de logueur de faille :	1	
Magnitude moyenne	Variance	Magnitude maximale
5,899	0,188	6,086

### PGA engendré par la faille Ban Uon 5

Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
6,1	18,8 km	10 km	90°

#### ACCELERATION AU SOL

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0923	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0947	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0947	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0930	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1158	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1441	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1113	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,1097	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1190	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence) :	0,1646	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence) :	0,1594	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,2002	Coefficient : 0,0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0,1183	0,0105	0,1278

#### MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0432	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0390	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0390	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0500	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,0534	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,0684	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,0669	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,0502	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,0682	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,0704	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,0662	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,0909	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
145 ans	5,1130	0,0596	0,0076	0,0665

#### MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 475 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0537	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0509	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0509	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0597	Coefficient : 0,0

PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,0675	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,0885	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,0772	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,0631	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,0797	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,0893	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,0847	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,1134	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
475 ans	5,3895	0,0733	0,0082	0,0806

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0707	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0704	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0704	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0747	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,0894	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1166	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,0927	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,0837	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,0974	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,1213	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,1163	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,1508	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
950 ans	5,7453	0,0940	0,0096	0,1026

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 10000 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0923	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0947	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0947	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0930	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1158	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1441	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1113	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,1097	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1189	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,1645	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,1594	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,2001	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
10000 ans	6,0996	0,1183	0,0105	0,1277

### Magnitude maximale engendrée par la faille Song Ma

Longueur (km)	Profondeur (km)	Pendage (°)	Déplacement (m)	Etat de contrainte
37	30	90	1,800	Décrochement

Magnitude estimée par Slemmons (1982), utilisant la longueur de faille :	6,744
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la longueur de faille :	6,916
Magnitude estimée par Well-Coppersmith (1994), utilisant la surface de faille :	7,086
Magnitude estimée par Wyss (1979) utilisant la surface de faille :	7,195
Magnitude estimée par Woodward-clyde (1983) utilisant la surface de faille :	7,174
Magnitude estimée par Hanks- Kanamori utilisant le moment sismique :	7,152
Déplacement (m) estimé par Slemmons (1982) :	0,518

Vitesse (mm) estimée par Woodward-Clyde (1983) :	0,915
Déplacement maximal (m) estimé par Well-Coppersmith (1994) :	1,857
Déplacement moyen (m) estimé par Well-Coppersmith, (1994) :	1,142

Pondération :

Coefficient de méthode de moment sismique :	8
Coefficient de méthode de surface de faille :	2
Coefficient de méthode de logueur de faille :	1

Magnitude moyenne	Variance	Magnitude maximale
7,093	0,134	7,227

### PGA engendré par la faille Song Ma

Magnitude	Distance	Profondeur	Pendage
7,2	20,4 km	30 km	90°

#### ACCELERATION AU SOL

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,1279	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,1255	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,1255	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,1043	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,2365	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,1383	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,1250	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,1342	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,1268	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence) :	0,2559	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence) :	0,2275	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)	0,3117	Coefficient : 0,0
PGA moyen	Ecart type	PGA maximum
0,1729	0,0521	0,2250

#### MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 145 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0531	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0470	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0470	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0503	Coefficient : 0,0		
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1153	Coefficient : 3,0		
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,0740	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,0686	Coefficient : 1,5		
PGA estimée par Woodward – Clyde (1983) :	0,0571	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Ambraseys (1995) :	0,0657	Coefficient : 1,0		
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)	0,0939	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)	0,0807	Coefficient : 0,0		
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)	0,1227	Coefficient : 0,0		
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum
145 ans	6,0350	0,0861	0,0243	0,1079

#### MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 475 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :	0,0685	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :	0,0637	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :	0,0637	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :	0,0621	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :	0,1426	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :	0,0900	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :	0,0811	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :	0,0751	Coefficient : 1,0

PGA estimée par Ambraseys (1995) :				0,0790	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)				0,1244	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)				0,1079	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974) (pour la référence)				0,1593	Coefficient : 0,0
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum	
475 ans	6,3614	0,1058	0,0303	0,1331	

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 950 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :				0,0943	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :				0,0912	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :				0,0912	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :				0,0808	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :				0,1851	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :				0,1103	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :				0,1008	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :				0,1025	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :				0,1001	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)				0,1785	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)				0,1568	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)				0,2230	Coefficient : 0,0
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	GPA maximum	
950 ans	6,7814	0,1359	0,0403	0,1722	

MAGNITUDE, ACCELERATION AU SOL POUR SEISME DE BASE OPERATIONELLE  
AVEC UNE PERIODE DE RETOUR DE 10000 ANS

PGA estimée pour la source proche, Modèle 1 de Campbell (1981) :				0,1279	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 2 de Campbell (1981) :				0,1254	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 3 de Campbell (1981) :				0,1254	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 4 de Campbell (1988) :				0,1043	Coefficient : 0,0
PGA estimée pour la source proche, Modèle 5 de Campbell (1997) :				0,2365	Coefficient : 3,0
PGA estimée par Idriss (1982) :				0,1383	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Xiang Jianguang & Gao Dong (1994) :				0,1250	Coefficient : 1,5
PGA estimée par Woodward - Clyde (1983) :				0,1342	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Ambraseys (1995) :				0,1268	Coefficient : 1,0
PGA estimée par Cornell (1968) (pour la référence)				0,2558	Coefficient : 0,0
PGA estimée par McGuire (1976) (pour la référence)				0,2274	Coefficient : 0,0
PGA estimée par Estena & Rosenblueth (1974)(pour la référence)				0,3116	Coefficient : 0,0
Période de retour	Magnitude	PGA moyen	Ecart type	PGA maximum	
10000 ans	7,1996	0,1728	0,0521	0,2197	

**Annexe 4. DONNEES METEOROLOGIQUES, STATION HUÉ**

Position : 16°24'N, 107°41'E, 17m.

**Température (°C)**

Année	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Moy.
1928	22.1	X	24.0	25.5	28.8	28.8	29.3	29.1	26.8	24.1	22.4	22.1	25.7
1929	21.4	21.4	21.8	24.6	29.0	29.0	29.5	29.4	27.2	25.1	22.3	22.5	25.3
1930	18.2	21.1	21.2	27.4	28.6	28.4	28.9	28.9	26.1	25.3	24.0	21.5	25.0
1931	20.9	22.7	23.6	27.4	28.8	29.8	29.7	29.6	27.1	22.7	22.6	21.4	25.5
1932	19.1	19.5	21.1	25.8	28.7	29.4	28.1	29.1	26.4	24.7	23.5	19.7	24.6
1933	18.2	20.7	22.4	26.5	28.4	29.3	28.2	28.4	26.7	25.2	22.2	21.4	24.8
1934	18.8	19.8	21.7	24.6	27.6	29.2	29.4	28.1	27.4	24.1	23.9	20.7	24.6
1935	21.5	22.3	24.3	27.2	28.7	29.8	29.6	30.1	26.9	27.3	25.0	21.2	26.2
1936	18.5	21.7	20.3	26.4	28.0	29.3	29.1	29.2	26.7	24.7	22.8	22.2	24.9
1937	20.1	20.7	24.6	26.9	29.1	30.3	29.0	29.4	27.1	25.0	23.5	22.0	25.6
1938	20.2	20.8	21.9	25.0	27.4	27.8	28.3	28.7	26.7	25.0	21.8	21.2	24.6
1939	20.3	22.2	25.0	25.1	27.5	28.6	29.7	28.5	26.7	25.4	24.1	18.2	25.1
1940	19.9	21.7	23.4	23.9	27.4	28.9	29.3	27.7	27.3	25.5	23.0	21.9	25.0
1941	23.7	22.9	24.0	25.8	27.6	29.2	30.5	29.3	27.2	24.8	23.0	21.4	25.8
1942	20.1	22.0	24.3	25.5	28.1	28.9	29.8	28.2	26.3	25.9	23.4	21.0	25.3
1943	18.8	19.3	23.5	25.4	27.8	29.6	29.5	29.2	26.5	24.9	23.1	20.1	24.8
1944	21.6	21.9	23.5	26.8	27.9	29.6	28.6	27.9	27.8	25.8	25.3	18.2	25.4
1947	X	X	X	X	27.6	29.3	29.2	28.6	27.4	24.5	22.3	21.1	26.3
1948	19.8	21.7	23.9	26.8	28.1	29.7	29.0	28.8	27.3	24.9	20.9	21.9	25.2
1949	19.0	21.6	24.6	25.9	27.9	30.6	28.8	28.9	27.0	24.8	23.5	22.0	25.4
1950	22.4	20.8	24.0	26.3	28.7	28.7	29.1	29.4	27.2	25.4	23.7	19.2	25.4
1951	19.4	21.2	21.5	25.4	27.7	29.2	29.0	27.8	X	X	23.1	20.5	24.5
1952	21.0	22.3	25.2	26.9	28.8	29.8	30.9	27.8	26.9	25.3	22.9	19.0	25.6
1953	20.7	21.0	23.8	24.3	27.9	28.5	29.4	29.1	26.3	25.9	23.1	20.5	25.0
1954	22.6	21.7	20.5	26.7	28.3	29.9	30.0	29.7	27.1	24.7	23.4	19.9	25.4
1955	17.5	21.7	23.7	25.4	28.5	28.2	29.2	28.7	27.5	24.6	21.4	20.8	24.8
1956	18.7	21.6	24.1	26.6	27.5	29.2	29.3	27.4	27.0	24.5	22.0	19.6	24.8
1957	20.6	19.2	21.6	25.7	29.0	29.3	28.7	27.9	27.2	24.4	23.9	22.4	25.0
1958	20.3	19.6	24.6	26.8	28.6	29.4	29.4	28.6	27.1	24.6	22.4	20.6	25.2
1959	19.7	22.1	21.8	26.5	27.7	30.4	28.6	29.2	27.1	24.8	24.0	22.3	25.4
1960	20.5	20.6	25.8	25.2	27.7	29.3	28.3	29.0	26.9	24.7	23.9	20.4	25.2
1961	19.3	20.6	23.8	26.4	27.8	28.2	29.7	28.8	27.6	25.5	23.9	22.7	25.4
1962	17.7	19.9	22.1	25.3	28.4	29.3	29.5	28.5	26.6	25.4	23.2	20.3	24.7
1963	17.8	20.1	22.1	25.6	28.2	29.5	29.6	28.6	27.8	25.2	24.7	21.0	25.0
1964	21.4	20.0	22.6	26.8	27.5	29.0	28.9	29.0	27.2	25.9	22.1	19.7	25.0
1965	20.0	22.8	22.9	27.2	27.5	29.2	29.6	28.9	26.9	26.4	24.1	21.8	25.6
1966	22.1	22.3	25.1	28.0	27.4	29.8	29.5	28.5	26.5	25.8	23.5	22.3	25.9
1967	17.5	18.9	22.2	25.3	29.2	29.6	30.3	30.0	26.9	24.6	24.0	19.8	24.9
1968	20.2	17.1	22.8	24.1	28.5	29.4	30.1	29.4	27.1	25.6	24.7	23.7	25.2
1969	22.9	21.3	22.9	26.1	30.0	29.8	29.9	29.9	27.5	25.7	22.7	19.9	25.7



Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

Année	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Moy.
1970	19.8	22.1	22.7	25.4	29.1	29.3	30.6	29.5	27.9	24.6	21.9	21.4	25.4
1971	18.7	19.6	23.5	26.5	27.8	29.2	28.8	28.5	27.9	23.8	21.8	20.5	24.7
1972	19.2	21.1	22.0	25.0	30.1	29.2	30.3	29.7	27.4	26.6	24.6	21.4	25.6
1973	21.4	24.0	25.4	28.6	30.1	30.8	29.6	29.5	27.8	24.7	22.1	19.7	26.1
1974	20.2	19.2	20.8	25.2	28.4	30.1	30.2	29.0	28.4	25.4	23.6	21.0	25.1
1976	X	X	X	X	X	X	29.4	29.1	27.7	25.7	20.9	20.9	25.6
1977	18.4	16.6	21.3	25.5	28.9	31.0	29.8	29.3	26.7	25.6	23.1	21.9	24.8
1978	19.8	19.8	23.6	26.3	28.1	29.2	28.4	28.4	26.1	24.8	22.6	21.4	24.9
1979	22.5	22.6	24.7	26.6	27.9	28.2	29.8	28.9	26.7	24.4	21.9	20.6	25.4
1980	21.1	19.7	25.7	26.5	28.5	28.7	29.6	29.1	26.0	25.5	23.4	21.3	25.4
1981	20.5	23.1	25.4	27.5	27.3	28.2	28.4	29.7	27.7	25.4	23.2	18.6	25.4
1982	19.8	20.9	23.8	24.9	27.8	28.8	29.6	29.3	27.1	26.1	24.5	19.3	25.2
1983	18.6	20.0	21.7	26.4	29.7	30.0	29.7	28.7	28.3	26.0	22.2	19.7	25.1
1984	17.7	18.8	21.8	27.0	27.3	29.4	28.8	28.1	26.9	25.0	23.3	20.5	24.6
1985	19.4	21.4	21.1	23.7	28.1	30.1	29.3	30.3	27.1	25.1	24.1	20.3	25.0
1986	19.6	20.8	22.9	26.6	27.8	30.0	30.1	28.4	27.4	25.6	22.6	21.0	25.2
1987	21.3	22.2	26.0	26.6	29.6	29.9	30.3	29.2	27.1	26.8	24.0	18.7	26.0
1988	21.9	21.9	X	23.6	29.6	29.8	30.2	29.6	27.9	24.5	21.7	20.4	25.6
1989	19.6	20.1	21.3	26.6	27.5	28.8	28.8	28.5	27.7	25.2	23.4	21.2	24.9
1990	20.9	21.7	22.9	27.1	26.7	29.4	29.4	29.1	X	25.7	23.7	20.9	25.2
1991	21.0	21.6	25.2	25.8	27.8	29.2	29.2	28.4	27.5	25.1	22.8	21.4	25.4
1992	18.9	20.5	23.8	26.2	28.6	28.5	28.2	28.3	27.5	23.8	21.2	21.4	24.7
1993	18.9	21.3	23.3	26.5	28.1	29.8	29.6	29.5	27.0	24.0	22.4	19.6	25.0
1994	20.5	22.8	20.7	26.6	28.2	28.8	29.8	29.4	27.0	24.3	23.4	22.6	25.3
1995	20.0	19.3	22.2	26.2	27.7	29.4	28.7	28.1	26.5	25.7	21.7	19.9	24.6
1996	20.1	18.6	23.4	23.6	27.4	28.7	29.1	28.9	26.4	25.5	23.6	19.7	24.6
1997	19.8	19.7	23.6	25.7	28.1	29.2	28.9	29.3	26.3	25.6	23.9	21.7	25.2
1998	21.7	22.3	24.5	27.1	28.6	29.8	29.4	28.9	26.3	25.1	23.5	21.2	25.7
1999	19.7	21.5	24.1	25.8	26.6	28.6	29.2	28.7	27.3	25.4	23.6	17.8	24.9
2000	20.4	20.0	22.5	26.1	27.2	28.3	28.5	28.5	26.5	25.3	22.1	21.3	24.7
2001	21.4	20.5	23.2	27.1	27.6	28.2	29.2	27.8	27.0	25.8	21.1	20.2	24.9
2002	19.9	21.0	23.5	26.4	27.7	28.9	29.5	27.8	26.0	24.9	22.7	21.6	25.0

## Précipitation (mm)

Année	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
1928	170.4	194.2	12.8	55.1	16.1	128.6	340.8	118.2	599.2	384.1	372.4	322.5	2714.4
1929	131.0	81.0	85.0	57.0	23.0	92.0	8.0	78.0	330.0	1171.0	1229.0	274.0	3559.0
1930	213.0	33.0	46.0	13.0	135.0	185.0	96.0	101.0	1343.0	362.0	1241.0	581.0	4349.0
1931	208.0	6.0	13.0	83.0	82.0	56.0	47.0	89.0	224.0	855.0	92.0	333.0	2088.0
1932	222.0	105.0	24.0	37.0	6.0	82.0	209.0	33.0	382.0	1166.0	687.0	198.0	3151.0
1933	236.0	7.0	51.0	7.0	7.0	43.0	89.0	32.0	186.0	617.0	376.0	171.0	1822.0
1934	163.0	62.0	54.0	13.0	73.0	43.0	85.0	154.0	627.0	872.0	304.0	55.0	2505.0
1935	320.0	77.0	3.0	3.0	146.0	31.0	110.0	13.0	886.0	369.0	276.0	705.0	2939.0
1936	275.0	11.0	58.0	111.0	34.0	174.0	183.0	81.0	623.0	39.0	254.0	296.0	2139.0
1937	85.0	47.0	11.0	3.0	27.0	34.0	76.0	142.0	322.0	981.0	874.0	64.0	2666.0
1938	492.0	10.0	88.0	28.0	165.0	159.0	207.0	94.0	658.0	419.0	607.0	423.0	3350.0
1939	109.0	15.0	41.0	96.0	59.0	90.0	16.0	32.0	753.0	928.0	478.0	374.0	2991.0
1940	181.0	20.0	29.0	22.0	92.0	118.0	96.0	312.0	223.0	675.0	693.0	150.0	2611.0
1941	5.0	67.0	30.0	78.0	73.0	90.0	37.0	47.0	531.0	1014.0	1177.0	693.0	3842.0
1942	192.6	79.3	147.6	125.8	40.9	63.6	13.9	169.7	291.3	720.5	768.0	199.1	2812.3
1943	111.4	134.0	105.3	79.2	109.9	45.6	31.0	38.6	928.8	437.9	905.6	430.4	3357.7
1944	167.0	93.5	56.1	68.7	75.9	62.6	107.9	402.0	156.5	879.5	468.1	464.5	3002.3
1949	222.1	24.4	8.2	24.9	235.8	33.8	67.0	136.2	369.7	1547.2	378.4	332.7	3380.4
1950	168.7	49.3	15.8	15.6	72.5	162.5	38.2	19.4	598.3	1382.3	226.9	260.2	3009.7
1951	147.4	39.0	57.9	60.3	157.0	34.2	73.8	X	X	X	1198.2	268.4	X
1952	229.8	42.9	3.9	87.3	15.2	47.0	36.6	159.3	379.4	1117.4	122.6	343.5	2584.9
1953	220.2	278.8	53.7	25.8	136.2	422.9	7.7	91.7	1208.5	886.9	965.0	637.6	4935.0
1954	86.5	114.2	92.9	62.6	29.8	20.7	33.2	28.4	495.8	294.2	133.4	594.3	1986.0
1955	267.6	98.1	19.3	43.4	53.8	250.6	16.2	80.9	406.0	562.7	1283.8	48.2	3130.6
1956	172.7	46.5	33.1	104.7	64.9	6.3	51.9	403.2	375.0	904.7	740.6	662.6	3566.2
1957	259.4	95.1	47.1	44.7	47.1	29.6	118.6	364.7	324.6	772.4	311.6	417.3	2832.2
1958	251.4	53.7	111.2	92.0	38.3	27.4	32.3	48.8	613.5	922.0	158.8	56.6	2406.0
1959	158.6	31.8	116.3	14.6	169.2	6.5	81.5	16.1	511.6	226.5	225.4	293.5	1851.6
1960	212.1	155.7	19.2	23.1	60.1	219.9	55.6	74.9	201.8	1077.7	755.3	241.2	3096.6
1961	297.6	48.1	29.2	54.5	85.4	319.1	34.8	101.5	233.3	369.3	592.8	201.4	2367.0
1962	173.6	62.7	63.9	24.9	25.9	45.9	69.5	30.0	1148.2	653.7	728.4	281.6	3308.3
1963	109.8	53.0	40.4	117.3	13.7	14.1	29.9	112.0	735.9	664.3	431.5	457.7	2779.6
1964	230.4	146.8	110.8	10.1	226.9	47.6	75.6	124.7	726.7	483.2	1082.1	240.5	3505.4
1965	71.7	51.4	112.2	71.8	147.0	53.7	58.8	145.6	199.2	544.8	751.5	508.3	2716.0
1966	76.1	153.6	43.9	24.1	160.7	41.9	57.8	157.4	111.0	571.7	662.5	372.4	2433.1
1967	465.0	87.9	49.0	253.0	6.3	47.8	4.7	79.1	300.7	372.1	428.8	371.0	2465.4
1968	103.8	51.3	14.3	43.5	45.9	108.9	103.4	181.2	555.4	579.5	248.3	48.6	2084.1
1969	242.0	61.9	17.8	32.0	68.5	60.0	102.5	1.1	663.7	1791.8	352.1	167.2	3560.6
1970	148.2	28.3	29.7	45.4	84.5	107.9	19.9	80.9	363.6	974.4	636.3	309.2	2828.3
1971	104.2	92.4	23.6	3.4	89.8	346.7	647.4	56.4	352.4	1039.8	278.8	266.8	3301.7
1972	107.7	66.7	68.1	75.2	25.8	249.0	88.6	16.9	264.7	411.3	518.2	209.4	2101.6

## Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

Année	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
1973	27.1	26.6	63.3	11.2	28.2	68.7	391.1	93.7	103.7	1564.3	511.9	125.8	3015.6
1974	12.0	130.8	25.5	67.1	76.4	35.2	68.2	227.0	71.0	664.8	369.9	539.9	2287.8
1975	127.7	73.6	25.5	58.2	63.3	41.8	62.8	83.9	93.9	593.5	298.5	593.9	2116.6
1976	32.5	51.9	41.7	21.7	53.9	30.7	39.1	12.7	107.5	566.6	984.4	125.6	2068.3
1977	49.5	139.2	156.9	4.2	29.7	46.6	31.1	106.4	305.8	713.6	243.4	208.2	2034.6
1978	191.9	46.2	41.5	61.5	192.7	74.8	92.3	150.9	1127.2	647.7	570.4	320.7	3517.8
1979	82.6	26.9	3.9	12.9	157.9	507.8	47.1	189.2	580.8	213.0	453.1	112.5	2387.7
1980	31.5	12.0	12.4	82.9	61.6	61.5	59.1	61.0	1215.3	957.1	707.6	199.8	3461.8
1981	131.6	1.4	8.7	34.7	183.6	94.8	114.2	35.8	311.3	1476.3	724.3	394.0	3510.7
1982	97.5	12.3	6.7	84.1	85.2	171.5	8.7	146.4	337.8	223.2	697.7	137.0	2008.1
1983	117.3	3.6	7.9	4.3	12.7	415.2	46.2	115.4	68.0	1526.7	609.2	93.9	3020.4
1984	68.4	79.3	11.6	18.5	157.4	152.2	450.5	128.5	247.6	643.1	911.6	297.2	3165.9
1985	80.9	3.0	42.8	112.8	7.8	212.5	20.7	18.3	273.1	972.5	883.1	479.7	3107.2
1986	86.0	89.1	50.4	3.9	190.7	29.9	23.6	178.7	35.8	815.2	406.2	391.1	2300.6
1987	52.8	73.4	35.0	60.2	52.9	53.5	108.9	375.3	319.9	175.7	686.0	132.5	2126.1
1988	44.3	110.5	12.9	29.6	123.8	32.9	10.3	25.2	295.2	645.1	383.3	199.2	1912.3
1989	199.1	29.5	36.4	40.3	319.6	81.7	137.0	116.9	52.4	353.7	297.4	86.9	1750.9
1990	87.2	38.7	2.5	62.5	110.1	15.0	145.4	229.2	322.7	1348.9	650.1	69.1	3081.4
1991	87.3	119.3	75.6	207.4	71.9	51.0	21.6	156.7	111.5	803.0	139.8	241.3	2086.4
1992	141.0	22.2	7.9	5.8	159.1	220.4	97.5	155.1	259.1	1226.7	285.8	252.2	2832.8
1993	61.9	5.1	18.8	56.7	50.3	81.2	28.0	114.6	105.5	867.8	496.3	390.2	2276.4
1994	92.0	46.1	61.2	5.6	52.1	64.8	11.6	20.5	327.8	364.6	414.9	559.8	2021.0
1995	45.2	90.5	46.6	6.8	73.8	102.2	60.2	90.2	417.9	1005.7	764.3	324.5	3027.9
1996	29.0	143.5	8.9	73.1	119.7	9.6	51.9	66.0	859.6	759.5	824.3	363.3	3308.4
1997	162.2	80.0	37.6	90.1	117.9	17.1	63.2	150.6	558.8	726.1	287.9	476.4	2767.9
1998	80.4	31.7	18.6	47.6	269.1	109.0	51.3	81.7	747.9	287.5	1259.3	468.8	3452.9
1999	201.4	134.4	89.8	128.6	131.3	69.0	62.4	25.0	204.7	711.8	2397.7	966.4	5122.5
2000	195.8	47.8	5.7	109.4	97.8	58.8	52.8	285.1	195.3	907.5	548.1	590.7	3094.8
2001	53.1	91.0	178.9	11.5	334.5	93.3	18.7	234.6	60.7	550.4	320.3	534.5	2481.5
2002	72.7	36.1	21.8	55.6	242.3	88.7	20.9	344.8	692.1	1030.4	491.9	272.4	3369.7
2003	68.4	110.1	26.2	11.5	9.3	118.1	25.3	18.4	537.1	767.4	349.6	349.6	2391.0

**Annexe 5. DONNEES METEOROLOGIQUES, STATION NAM DONG**

Position : 16°09'N, 107°43'E, 60m

**Température (°C)**

Année	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Moy.
1974	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23.8	22.3	20.5	22.2
1975	19.6	21.4	24.2	26.2	26.8	27.1	26.6	26.9	26.3	24.0	21.5	17.4	24.0
1976	18.3	21.6	X	X	X	27.5	27.9	27.3	26.4	25.0	20.7	20.7	23.9
1977	18.7	17.1	21.4	25.6	28.3	29.3	28.2	27.8	25.5	24.6	21.7	21.2	24.1
1978	20.1	20.2	24.1	26.4	27.2	27.9	27.2	27.3	25.4	23.6	21.7	20.8	24.3
1979	20.7	20.2	25.9	26.7	27.7	27.4	28.1	27.6	25.3	24.6	22.6	20.9	24.8
1980	20.7	20.2	25.9	26.7	27.7	27.4	28.1	27.6	25.3	24.6	22.6	20.9	24.8
1981	19.8	22.6	25.9	27.1	26.6	27.2	27.4	27.9	26.5	24.8	23.0	18.6	24.8
1982	19.5	21.6	24.4	24.6	27.4	27.7	28.2	27.9	26.5	25.3	24.0	18.9	24.7
1983	18.7	20.5	22.1	26.5	28.8	29.0	28.3	27.4	27.0	25.1	21.3	19.3	24.5
1984	17.8	19.4	22.4	27.2	26.3	27.8	27.3	26.8	26.1	24.2	23.6	20.2	24.1
1985	19.6	21.7	21.7	23.8	27.2	28.3	27.8	28.4	26.1	24.4	23.4	20.1	24.4
1986	18.9	21.1	22.7	26.7	26.9	28.4	28.0	26.9	26.2	24.5	21.9	20.6	24.4
1987	20.5	22.1	25.8	26.7	28.5	28.2	28.6	28.1	26.2	26.0	23.6	18.1	25.2
1988	21.9	22.3	22.6	23.7	28.4	28.2	28.5	28.0	26.6	23.5	20.7	19.5	24.5
1989	20.0	20.3	21.4	26.5	27.0	27.8	27.8	27.3	26.7	24.5	22.4	20.7	24.4
1990	21.0	22.0	23.1	27.0	26.3	28.3	28.1	27.7	26.8	24.8	23.2	20.6	24.9
1991	21.8	21.9	25.4	26.0	27.2	28.3	27.8	27.2	26.4	24.5	21.9	20.8	24.9
1992	19.2	21.3	24.6	26.7	28.2	27.3	27.6	27.4	26.6	22.8	20.7	21.4	24.5
1993	19.1	21.9	24.0	26.8	27.5	28.5	28.1	28.3	26.7	23.7	22.4	19.5	24.7
1994	20.8	23.5	21.6	27.7	27.7	27.8	28.6	29.1	26.5	23.6	22.4	22.2	25.1
1995	20.1	19.9	23.2	27.2	27.6	28.8	27.6	27.2	25.8	24.9	21.5	18.5	24.4
1996	20.3	19.0	24.4	24.1	27.1	27.7	27.8	28.0	25.8	24.5	23.1	19.8	24.3
1997	19.9	20.1	24.0	25.8	27.3	28.1	28.0	28.0	25.6	25.5	23.8	21.8	24.8
1998	22.3	22.9	25.4	27.9	28.6	29.0	28.3	27.6	25.9	24.5	23.3	20.7	25.5
1999	19.9	21.4	24.6	26.0	26.2	27.6	28.0	27.7	26.3	24.8	22.8	17.4	24.4
2000	20.4	20.2	22.8	26.1	26.8	27.7	27.3	27.4	26.0	24.6	21.7	21.0	24.3

## Précipitation (mm)

Année	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
1973	58.6	34.3	18.2	117.0	195.6	626.3	177.5	213.6	302.0	2048.1	1291.3	99.1	5181.6
1974	3.4	88.7	21.4	223.2	249.5	123.6	166.1	136.0	151.0	435.1	670.1	216.5	2484.6
1975	134.0	63.8	121.4	203.9	227.7	242.5	156.6	197.6	191.6	1722.6	226.8	255.8	3744.3
1976	139.3	11.9	20.7	98.3	76.2	157.9	146.0	134.7	163.5	705.3	710.4	142.9	2507.1
1977	118.2	151.2	78.7	108.7	55.8	100.2	106.6	298.8	478.4	370.9	572.2	58.4	2498.1
1978	164.2	70.9	24.7	77.6	319.4	136.2	124.5	228.5	1174.5	507.8	421.3	299.0	3548.6
1979	95.2	11.8	6.6	84.4	268.7	752.7	185.7	239.9	331.3	460.6	735.9	83.5	3256.3
1980	37.7	27.3	17.1	85.4	81.0	295.8	185.9	139.4	1101.2	872.2	1176.4	140.5	4159.9
1981	105.5	6.9	1.8	178.2	427.2	171.0	214.5	95.5	233.8	1660.0	1003.4	274.9	4372.7
1982	83.6	33.9	6.8	130.1	55.5	253.9	99.4	217.3	552.6	127.5	259.2	235.2	2055.0
1983	200.2	9.6	22.8	48.9	44.6	596.4	196.6	193.4	170.9	1777.6	604.4	114.6	3980.0
1984	85.4	76.7	19.3	92.7	252.6	299.2	249.4	137.8	290.8	1041.6	750.1	266.4	3562.0
1985	125.3	42.5	124.1	132.9	89.9	277.5	196.3	53.1	560.9	549.6	1196.3	278.0	3626.4
1986	134.2	75.2	108.5	7.5	383.4	80.9	198.5	240.1	133.3	1624.7	253.4	328.3	3568.0
1987	40.0	12.2	39.2	26.8	119.8	183.0	85.6	509.1	490.2	139.2	852.9	264.4	2762.4
1988	22.2	52.6	40.7	57.3	121.2	109.7	63.4	283.0	323.9	1587.8	513.4	314.0	3489.2
1989	122.5	60.0	91.6	86.7	721.2	117.0	219.8	271.8	111.6	281.9	263.9	121.1	2469.1
1990	139.5	35.8	58.4	57.9	310.7	20.7	127.6	305.0	582.7	1430.2	1294.3	94.9	4457.7
1991	67.2	89.1	78.7	259.8	131.5	69.6	142.5	301.3	153.1	1001.1	259.0	153.9	2706.8
1992	151.8	36.1	8.6	25.6	139.6	407.2	136.8	210.6	273.6	1727.2	322.4	126.9	3566.4
1993	90.3	6.8	40.7	61.6	167.2	93.8	205.6	72.7	221.0	1417.4	533.5	588.3	3498.9
1994	47.4	15.2	86.9	2.0	281.0	172.3	11.6	66.8	603.6	478.4	319.7	586.1	2671.0
1995	75.1	68.0	52.4	8.4	98.9	174.6	157.7	194.2	413.6	1994.7	843.2	439.8	4520.6
1996	15.3	139.7	11.1	88.7	357.6	178.8	180.1	39.4	879.2	1694.6	1274.4	449.3	5308.2
1997	113.7	93.6	18.7	204.7	127.9	132.9	167.2	141.4	692.3	433.8	249.6	386.7	2762.5
1998	73.0	40.5	1.8	83.9	227.4	219.5	202.8	129.9	678.6	399.8	1587.2	651.1	4295.5
1999	258.0	75.7	138.5	161.6	327.1	171.5	107.5	134.2	312.4	900.4	2183.2	1041.5	5811.6
2000	139.6	90.3	27.5	177.5	159.8	310.6	188.2	576.5	235.8	1759.3	888.6	462.1	5015.8
2001	73.7	53.7	215.3	40.9	455.6	59.2	122.5	557.6	95.9	730.1	452.9	25.7	2883.1
2002	80.1	19.0	74.2	87.4	258.3	259.6	20.5	648.7	875.9	1171.2	870.0	419.3	4784.2

**Annexe 6. DONNEES METEOROLOGIQUES, STATION ALUOI**

Position : 16°12'N, 107°25'E, 550m

**Température (°C)**

Année	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Moy.
1974	X	X	X	X	X	X	25.4	24.2	23.4	21.2	19.6	18.1	X
1975	X	X	X	23.6	23.9	24.7	24.2	24.6	23.3	21.3	19.2	15.3	X
1976	15.9	19.3	19.8	22.3	23.9	29.8	24.5	23.9	23.3	22.3	18.4	18.3	21.8
1977	16.4	15.0	19.4	22.1	24.3	25.7	25.2	24.6	22.4	21.8	18.9	18.5	21.2
1978	17.5	17.6	21.2	22.8	24.2	24.8	24.1	24.4	22.4	20.7	18.9	17.9	21.4
1979	19.1	19.6	22.0	23.2	24.2	23.9	25.5	24.8	22.6	20.0	18.3	17.4	21.7
1980	17.6	17.7	22.6	23.3	24.1	23.8	25.2	24.4	22.5	21.8	19.7	18.1	21.7
1981	16.7	19.5	21.9	22.7	23.8	24.5	24.5	25.4	23.3	22.1	20.1	15.9	21.7
1982	16.3	18.8	21.3	21.4	24.2	25.0	25.3	25.1	23.2	22.0	21.0	16.1	21.6
1983	16.2	17.9	19.8	23.8	25.4	25.8	25.2	24.4	23.5	22.1	18.6	16.7	21.6
1984	15.1	17.0	19.6	23.5	23.3	24.7	24.2	24.2	22.9	21.1	19.7	17.6	21.1
1985	17.1	19.4	19.0	21.3	24.0	25.4	24.7	25.6	22.9	21.3	20.6	17.5	21.6
1986	16.3	18.4	19.8	22.7	24.2	25.8	25.2	24.0	22.7	21.6	18.8	17.8	21.4
1987	17.4	19.1	22.0	22.9	24.5	25.5	26.0	24.4	23.0	22.7	20.9	15.5	22.0
1988	18.6	19.2	19.8	21.3	24.9	25.0	24.7	24.6	23.2	20.9	17.9	16.7	21.4
1989	17.3	17.2	18.6	23.0	23.4	24.8	24.3	24.2	23.3	21.4	19.5	17.8	21.2
1990	18.2	19.1	19.6	23.4	22.9	25.2	25.0	24.7	23.7	21.9	20.3	17.9	21.8
1991	19.0	18.9	22.0	22.9	23.5	24.8	25.0	24.4	23.6	21.3	19.2	18.0	21.9
1992	16.4	18.5	20.9	23.4	24.4	24.6	24.1	24.3	23.3	20.1	17.8	18.6	21.4
1993	16.3	18.6	20.6	22.8	23.4	26.0	24.8	25.0	23.2	20.8	19.3	16.6	21.5
1994	17.9	20.1	18.7	23.0	24.0	24.7	25.0	25.1	23.2	20.4	19.7	19.3	21.8
1995	17.4	17.3	20.5	23.3	24.1	25.2	24.6	24.4	23.0	22.2	19.0	16.8	21.5
1996	17.8	16.4	21.2	21.5	24.1	24.7	24.8	24.8	23.1	22.0	20.6	17.2	21.5
1997	17.4	17.7	21.0	22.2	24.4	26.0	25.3	25.3	23.1	22.6	21.1	19.6	22.1
1998	19.6	20.4	22.5	24.2	25.1	26.6	25.9	24.9	23.4	21.7	20.7	18.1	22.8
1999	17.4	18.8	21.8	23.1	23.2	24.8	25.4	24.5	23.5	22.0	20.4	15.0	21.7
2000	18.3	17.8	20.5	22.9	23.9	24.4	24.7	24.9	22.9	21.4	19.0	18.4	21.6
2001	18.7	18.2	20.7	24.1	24.2	24.8	25.8	24.4	23.5	22.6	18.9	17.9	22.0
2002	17.7	18.9	21.3	23.2	24.2	25.6	25.8	24.3	22.9	21.9	20.2	19.6	22.1

## Précipitation (mm)

Année	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
1973	39.7	57.8	109.4	109.8	247.6	279.5	565.7	118.5	360.3	1812.5	767.0	91.9	4559.7
1974	0.0	12.4	62.4	167.2	179.8	67.7	28.5	298.3	229.4	455.9	897.6	116.2	2515.4
1975	121.2	65.8	98.6	152.3	228.0	140.9	65.3	97.3	293.0	1257.3	187.4	54.5	2761.6
1976	89.9	0.5	123.3	277.1	204.9	92.6	250.5	128.1	270.6	436.9	283.1	64.6	2222.1
1977	11.3	32.6	19.1	185.6	217.6	60.9	101.9	293.2	436.6	406.7	792.0	78.5	2636.0
1978	70.4	22.2	115.9	133.7	156.2	205.2	158.5	176.1	809.4	262.1	358.3	416.3	2884.3
1979	48.0	17.8	12.1	115.1	233.6	502.3	46.6	207.8	427.4	435.0	501.3	135.5	2682.5
1980	46.5	15.5	24.3	93.5	327.2	464.8	129.8	139.1	764.7	1075.6	971.1	236.2	4288.3
1981	183.4	32.3	61.6	278.5	162.5	187.1	191.0	40.0	225.8	1230.2	1065.1	312.0	3969.5
1982	80.1	9.0	23.3	163.3	100.0	131.2	46.0	171.1	645.9	245.0	394.5	61.6	2071.0
1983	46.7	5.7	4.5	77.2	103.6	356.7	182.0	188.5	233.1	1300.3	415.5	121.3	3035.1
1984	23.9	20.6	104.9	157.8	225.6	300.8	357.5	182.6	252.2	718.2	950.5	159.4	3454.0
1985	44.4	7.8	93.7	140.3	182.1	322.7	100.2	25.8	410.7	584.8	1111.4	216.2	3240.1
1986	128.9	32.0	46.6	189.0	232.1	67.8	98.1	213.9	197.5	1125.9	277.2	292.6	2901.6
1987	151.2	29.8	97.5	103.9	214.1	98.4	12.8	339.9	610.4	204.2	758.4	73.0	2693.6
1988	80.3	56.2	38.4	21.3	255.8	159.2	203.8	121.5	332.2	998.9	405.3	348.9	3021.8
1989	86.5	26.4	85.1	84.5	502.6	160.2	390.2	188.7	223.2	280.6	561.2	120.9	2710.1
1990	44.5	57.3	72.1	83.3	237.5	76.5	263.0	357.4	475.0	2230.4	1055.6	133.9	5086.5
1991	37.4	86.6	123.1	201.4	240.3	112.1	112.4	137.9	107.4	811.8	364.9	502.0	2837.3
1992	75.9	13.9	18.3	48.5	202.9	251.3	237.5	166.9	407.4	1483.4	464.4	281.5	3651.9
1993	19.5	19.6	19.8	95.8	290.4	161.4	164.0	154.4	270.5	714.6	404.1	735.2	3049.3
1994	25.5	49.1	63.1	249.9	273.3	240.8	21.9	151.7	692.1	347.6	453.8	871.2	3440.0
1995	42.3	62.1	31.0	139.2	194.1	211.0	183.4	251.6	428.4	2185.4	603.4	339.5	4671.4
1996	28.3	192.2	38.5	110.0	269.0	482.7	175.1	198.6	208.7	2122.9	1271.8	606.4	5704.2
1997	90.7	58.8	66.6	307.2	181.1	13.7	99.1	93.5	712.6	687.5	184.9	299.4	2795.1
1998	24.6	35.3	48.8	183.5	216.8	148.3	66.3	412.0	533.6	406.8	1989.2	492.7	4557.9
1999	156.9	156.8	132.7	245.6	372.9	191.4	160.5	214.5	157.8	1006.4	2590.5	524.7	5910.7
2000	74.9	68.4	28.3	352.9	285.7	324.6	217.8	288.3	213.1	1259.7	830.7	454.5	4398.9
2001	47.9	37.3	153.2	56.1	405.9	158.3	30.6	248.0	93.1	680.6	512.5	434.0	2857.5
2002	41.5	24.2	92.0	204.7	231.2	118.0	71.6	559.0	605.1	506.3	827.3	291.4	3572.3

## **Annexe 7. DESCRIPTION QUELQUES CYCLONES TYPIQUES QUI ONT INFLUENCE LE THUA THIEN HUÉ**

Extraits principalement des sites : <https://metocph.nmci.navy.mil/> de Naval Maritime Forecast Center/Joint Typhoon Warning Center – U.S. Navy et <http://en.wikipedia.org/wiki> en combinaison avec les autres documents.

### **Typhon Irma, 9-13 octobre 1957**



Irma est formé le 9/10/1957, à l'ouest des Philippines. Il s'est déplacé à l'ouest, et a frappé le Centre du Vietnam avec des vents de 128 km/h et une pression centrale minimum de 996 mbar. Il est dissipé le 13/10, au-dessus de la frontière entre la Thaïlande et le Laos

### **Typhon Tilda, 13 - 23 septembre 1964**



Tilda est formé le 13/9/1964 à l'est des Philippines. Il a touché la terre de Chine et puis il est rentré à la mer, renforcé à un typhon de 200 km/h, a frappé le Centre du Vietnam le 23/9.

### **Typhon Violet, 14 - 15 septembre 1964**



Violet est engendré au large de la mer de Chine méridionale le 14/9/1964. Il a atteint au niveau de typhon le jour suivant et a fait débarquement fait au Vietnam, puis il est dissipé au dessus de la terre.

### **Tempête tropicale Anita, 24 - 27 septembre 1964**



Anita s'est formé à partir d'une dépression tropicale le 25/9/1964 au large de la mer de Chine méridionale. Il a atteint son intensité maximale de 96 km/h le 26/9 et est dissipé sur la mer le jour suivant. 60 M/H sur le 26ème.

### **Tempête tropicale Billie, 25 septembre - 1 octobre 1964**



Une dépression s'est formée à l'ouest de la Guam le 25/9/1964. Elle s'est déplacée à l'ouest, lentement renforçant au niveau de tempête tropicale, nommée Billie le 27/9. Elle a fait le débarquement aux Philippines le jour suivant et atteint son pic de 113 km/h le jour ensuite. Billie s'est dissipé sur la mer de Chine méridionale le 1/10.

### **Typhon Clara, 2 - 8 octobre 1964**



Clara est formé le 2/10/1964, à l'est des Philippines. Clara s'est déplacé à l'ouest, débarquant au Samoa le 5/10. En continuant cette direction il a frappé le Vietnam et terminé sur la terre le 8/10.



#### **Tempête tropicale Georgia, 20 - 23 octobre 1964**



Cette tempête s'est produite à l'est des Philippines le 20/10/1964. Il a débarqué le Vietnam le 23/10 après un dépasse sur les Philippines.

#### **Typhon Iris, 2 - 4 novembre 1964**



Typhon Iris est formé au large de la mer de Chine méridionale le 2/11/1964. Il est arrivé au Centre du Vietnam le 4/11 et s'est dissipé le même jour.

#### **Typhon Joan, 6 - 9 novembre 1964**



Typhon Joan est formé au large de la mer de Chine méridionale le 6/11/1964, arrivant à la terre du Vietnam trois jours après.

#### **Typhon Kate, 13 - 17 novembre 1964**



À l'origine au large de la mer de Chine méridionale le 13/11/1964, le Typhon Kate a obtenu son maximum le 16/10 avec des vents de 145 km/h. Il est arrivé au sud du Centre Vietnam le jour suivant.

#### **Super Typhon Kate, 15 - 25 octobre 1970**



Super Typhon Kate est formé à l'est du sud des Philippines le 15/10/1970. Il s'est déplacé vers l'ouest, débarqué aux Philippines et puis au Centre du Vietnam. Il a résulté au moins 631 morts (avec 284 manquant) et \$50 millions de dommages.

#### **Super Typhon Patsy, 14 - 22 novembre 1970**



Ce super typhon a développé à partir d'une dépression tropicale près des Îles Mariannes le 14/11/1970. Il est devenu un typhon le 16/11 et a obtenu son pic de 250 m/h le 18/11, a ravagé le Luzon (Philippines) le jour suivant avec des vents de 210 km/h. Passant la mer de Chine méridionale, le Pasty a frappé le Vietnam le 22/11 et a dissipé en suite. Le Pasty était l'un des typhons les plus mortels pour frapper les Philippines dans son histoire avec 106 tués, 351 manquants sur l'île, et 135 tuées en mer. Au Vietnam,

à cause de la guerre, le bilan est difficile à faire, mais les évaluations indiquent que 30 personnes sont mortes.

#### **Typhon Hester, 19 - 23 octobre 1971**

Hester a développé depuis le 19/10/1971, traversé le sud des Philippines. Il a continué la direction NO sur la mer de Chine méridionale avec des vents soutenus 160 km/h au maximum et a heurté le Centre

du Vietnam le 23/10. Hester y a endommagé gravement et au moins, 3 Américains et 85 Vietnamiens ont été tués à Quang Ngai.

#### **Typhon Therese, 30 novembre - 10 décembre 1972**



Le typhon Therese avec des vents 136 km/h a développé depuis 30/11/1972 et a frappé les Philippines le 3/12. Après avoir croisé les îles, il a traversé la mer de Chine méridionale et a débarqué au Centre du Vietnam le 9/12 avec des vents de 185 km/h. Therese a dissipé le 12/12, après avoir fait 90 morts et ravagé une large région dans son trajet.

#### **Typhon Bess, 8 - 14 octobre 1974**



Bess a frappé le Nord de Luzon le 10/10/1974, entré la mer de Chine méridionale, heurté l'île de Hainan le 13/10. Bess a suivi à l'ouest, et débarqué à Nghe An (Centre du Vietnam) le jour suivant. Ce typhon a accompagné une forte pluie dans son chemin, entraînant 26 décès (avec 3 manquant) et \$9.2 millions (1974 USD) de dommages.

#### **Super Typhon Rita, 16 - 29 octobre 1978**



Une dépression tropicale est formée le 16/10/1978. Elle est renforcée et devenue un typhon, le Rita le 19/10. Après avoir passé le Luzon (Philippines) le 27/10, Rita est entré la mer de Chine méridionale et il est graduellement faibli et devenu une dépression près de la côte du Centre du Vietnam. Le typhon a causé des dommages et la perte de la vie considérables aux Philippines, bien que les nombres exacts soient inconnus.

#### **Typhon Sarah 4 - 15 octobre 1979**



Sarah, formé à partir d'une dépression tropicale à l'est de la mer de Chine méridionale, est devenu un typhon le 4/10 et a frappé à Phu Yen (Centre du Vietnam) le 14/10 avec des vents de 96 km/h. Le Sarah a apporté l'inondation lourde, des dommages de récolte et la perte des vies.

#### **Typhon Kelly, 29 juin - 5 juillet 1981**



Une dépression tropicale formée à l'est de Philippines le 28/6/1981, s'est déplacée à l'ouest et développé à la tempête tropicale le 30/6 avant de frapper le centre de Philippines. La tempête est faiblie en passant ces îles mais renforcée en traversant la mer de Chine méridionale et devenu un typhon le 2/7. Il est passé l'île Hainan, le golfe du Tonkin, débarqué à Thanh Hoa (Centre du Vietnam) le 4/7 comme une tempête tropicale de 65 km/h et finalement dissipé le jour après. Kelly a causé l'inondation, l'écoulement de boue résultant 200 blessés et des milliers sans-abri.

#### **Tempête tropicale Hope (Pasing), 4 - 6 septembre 1982**



Une dépression s'est formée au-dessus de la mer de Chine méridionale le 3 septembre. Elle est devenue une tempête le jour après, a frappé la côte vietnamienne à Da Nang et enfin s'est dissipée sur la montagne entre Laos et Vietnam. L'inondation significative a causé l'évacuation de plusieurs mille personnes et a endommagé la récolte rizière.

#### **Typhon Nancy, 11 - 18 octobre 1982**



Le typhon Nancy s'est développé le 10/10/1982, frappé l'est de Luzon le 14/10. Il est passé la mer de Chine méridionale, débarqué à Nghe An (Centre septentrional du Vietnam) le 18/10 et dissipé ensuite. La forte pluie accompagnée du système a causé 181 morts et plus de \$46 millions de dommages (1982 USD).

#### **Tempête tropicale Sarah, 24 - 26 juin 1983**



La tempête tropicale Sarah s'est formée au large de la mer de Chine méridionale le 24/6/1983. Elle s'est déplacée au nord-ouest, frappée Quang Tri (Centre du Vietnam) et dissipé le 26/6

#### **Tempête tropicale Herbert, 7 - 8 octobre 1983**



La tempête tropicale Herbert est engendrée le 7 octobre sur la mer de Chine méridionale. Elle s'est déplacé ouest-nord-ouest et a frappé Nha Trang, Vietnam. Cette tempête a causé 40 périls

#### **Typhon Lex (Sisang), 22 - 26 octobre 1983**



À partir d'une dépression tropicale au large de la Mer de Chine méridionale, ce typhon est formé le 22/10. Il a débarqué à Quang Binh, Vietnam le 26/10 comme une tempête tropicale modérée, puis rapidement affaibli après le déplacement à l'intérieur de la terre. Les zones autour du point d'atterrissage ont été dévastées par de forts vents et des pluies torrentielles. Les dégâts ont été très graves à cause d'une montée de 2 m du niveau d'eau dans les rivières entraînant une inondation extensive. Des centaines de personnes ont été tuées ou blessées, 17000 maisons ont été détruites, et six hôpitaux ont gravement été endommagés. En outre, une perte de 100,00 tonnes de féculé de nourriture a été estimée en raison de l'inondation.

#### **Tempête tropicale Vernon, 9 - 11 juin 1984**



La tempête tropicale Vernon a commencé au large la mer de Chine méridionale le 9 Juin. Elle est passée au nord-ouest, puis vers l'ouest et a touché le Centre du Vietnam le 10 Juin. Des terres agricoles à Quang Nam – Da Nang sont inondées à cause de Vernon.

#### **Tempête tropicale Lynn, 24 - 27 septembre 1984**



Une dépression tropicale est devenue une tempête tropicale, baptisée Lynn, le 24 septembre au large de la mer de Chine méridionale. Elle a déplacé vers OSO, puis à l'ouest et a débarqué à distance d'environ 95 km au sud de Da Nang. Elle s'est ensuite tournée le nord-ouest et dissipée près de la frontière entre le Vietnam et le Laos.

#### **Tempête tropicale Susan, 11 - 12 octobre 1984**



Une circulation est formée dans la partie centrale de la mer de Chine du Sud, le 10 Octobre. Elle s'est développée et est devenue une dépression, puis une tempête, la Susan, le jour suivant. Susan était une tempête tropicale minimale comme elle fait terre au Centre méridional du Vietnam. Les inondations ont frappé l'extrême orientale et centrale du Vietnam le jour 12 Octobre causé 33 morts et des dommages agricoles au niveau moyen.

#### **Typhon Warren, 23 - 30 octobre 1984**



Warren est devenu un typhon le 26 octobre, mais il est affaibli à une dépression tropicale et puis, dissipé sur l'eau le 30 octobre. Le reste de cette convection a déplacé au Centre du Vietnam le jour suivant.

#### **Typhon Agne, 1 - 8 août 1984**



Le typhon Agne, formé le 1/11/1984 a frappé le Centre des Philippines centrales le 4/11. Il a continué de traverser la mer de Chine méridionale, et puis il a attaqué Binh Dinh (Centre méridionale du Vietnam) le 7/11 avec des vents de 185 km/h. Agnes s'est rapidement affaibli, après avoir causé plus de 564 blessés et \$30 millions (1984 USD) de dommages

#### **Typhon Andy, 28 septembre - 2 octobre 1985**



Une perturbation dans la mer de Chine méridionale est devenue le typhon Andy le 28/9/1985. Ce typhon s'est déplacé vers l'ouest, a passé le sud d'île de Hainan et finalement débarqué à Quang Binh, Vietnam le 2 octobre.

#### **Typhon Cecil, 12 - 16 octobre 1985**



Cecil s'est développé à partir d'une dépression formée le 12/10/1985 dans le sud-est de la mer de Chine méridionale. Il est déplacé à l'ouest-nord-ouest, en devenant une tempête tropicale à plus tard ce jour et un typhon le jour après. Cecil a continué à intensifier, et a atteint un maximum des vents de 185 km/h avant de débarquer à l'endroit à distance de 75 km au nord de Hué, Vietnam. Enfin, il est dissipé le 16/10. L'inondation torrentielle et les vents forts ont tué 702 personnes et endommagé des

infrastructures et des récoltes

#### **Super Typhon Dot, 13 - 22 octobre 1985**



Une dépression est engendrée au Pacifique occidental le 11/10/1985. Il a dirigé à ONO, renforçant à une tempête tropicale le 13/10, puis à un typhon le jour après. Le Dot a rapidement intensifié à un super typhon de 280 km/h le 16/10 puis il est graduellement affaibli jusqu' à frapper l'Est de Luzon comme un typhon de 210 km/h sur le 18ème. Il a traversé la mer de Chine méridionale, frappé le sud de l'Île de Hainan, et fait son débarquement final à Nghe An (Centre Nord du Vietnam) le 21/10 comme un tempête tropicale de 112 km/h. Le Dot a causé 76 morts et des dommages dans son trajet.

#### Tempête tropicale Dom, 9 - 12 octobre 1986



La tempête tropicale Dom est un développement d'une perturbation au large de la mer de Chine méridionale le 9/10. Elle est déplacée vers le NO et a frappé le Centre du Vietnam le 12/10.

#### Tempête tropicale Georgia, 18 - 21 octobre 1986



La tempête tropicale Georgia s'est formée le 18/10 à l'est des Philippines. Elle a atteint une vitesse de 26 m/s avant de frapper le Centre du Vietnam le 21/10.

#### Super Typhon Betty, 8 - 16 août 1987



philippins de dommage de l'inondation.

Super typhon Betty s'est développé à partir d'une dépression tropicale, formée le 7/8/1987 à distance de 500 miles à l'est des Philippines. Il est devenu un super typhon de 260 km/h le 11/8 et frappé les Philippines le jour suivant. Il est affaibli à 169 km/h en passant le pays mais renforcé à 217 km/h sur la mer de Chine méridionale. L'interaction de terre a affaibli Betty à un typhon minimal avant qu'elle a frappé le Central du Vietnam le 16/8. Betty a causé 94 décès, avec environ de 2 milliards de Pessos

#### Typhon Cecil, 22 - 24 mai 1989



Une dépression tropicale, formée dans la mer de Chine méridionale, est devenue une tempête tropicale le 22/5/1989, et atteinte force d'un typhon le 24/5. Cecil a frappé Hué (Vietnam) le même jour et puis il est rapidement dissipé. Il y a apporté une grande inondation faisant 52 morts et plus de 100.000 sans-abri.

#### Tempête tropicale Irving, 18 - 24 juillet 1989



La tempête tropicale Irving a obtenu des vents de 105 km/h avant de frapper Thanh Hoa le 24/7/1989 tuant 102 personnes dans une grande inondation.

#### Typhon Brian, 28 septembre - 3 octobre 1989



de Vinh (Centre du Vietnam) le 3/10 avant la dissipation dans les montagnes du nord du Vietnam.

Une dépression tropicale s'est formée dans la mer de Chine méridionale le 28/9. La tempête tropicale Brian a été nommée le jour après. Brian s'est renforcée à un typhon le lendemain. Typhon Brian intensité atteignait un niveau record de 153 km/h à seulement 32 km au large de la côte sud-est de l'île de Hainan. Typhon Brian a fait de fortes pluies, fortes inondations causant 31 morts, de graves dommages de récolte. Après avoir quitté l'île de Hainan, Brian a continué vers l'ouest et fait un second atterrissage près

### **Super Typhon Angela, 28 septembre - 10 octobre 1989**



Lorsque le petit Super Typhon Angela, qui a développé le 28/9, a frappé le nord de Luzon le 5/10. Après passer Luzon, il a été affaibli à un typhon et a continué la direction vers l'ouest, enfin il a touché l'endroit à 55 km du nord de Hué (Vietnam). Aux Philippines ce typhon a causé 62 décès avec 50 disparus et d'immenses dommages.

### **Typhon Dan, 6 - 13 octobre 1989**



Le Dan a frappé le Centre des Philippines le 10/10, comme un typhon de 121 km/h. Il a continué à déplacer vers l'ouest et a frappé le Vietnam le 13/10. Ce typhon a causé 41 morts, 232.555 sans-abri, 16.185 maisons endommagées aux Philippines, et une inondation de 320.000 acres de la superficie au Vietnam

### **Super Typhon Elsie, 13 - 22 octobre 1989**



Le super typhon Elsie est engendré à l'est des Philippines. Il y est passé, le 19/10, avec une vitesse de 260 km/h et a continué sa direction ouest et a frappé le Centre du Vietnam le 22/10. Aux Philippines, 17 morts et 50.000 sans-abri sont comptés pour ce typhon.

### **Typhon Becky, 24 - 30 août 1990**



Le Becky, s'est développée le 24/8/1990, frappant le Luzon (Philippines) le 26/8, traversant la mer de Chine méridionale et touchant Ha Tinh – Quang Binh (Centre Nord du Vietnam) le 29/8. Becky était responsable de 32 morts et de causer l'inondation lourde

### **Tempête tropicale Ira, 2 - 3 octobre 1990**



La tempête tropicale Ira s'est formée près de l'île de Palawan (Philippines). Elle a déplacé vers l'ouest et touché le Centre méridionale du Vietnam le 3/10/1990. Dans la province de Thua Thien – Hué, Vietnam, cette tempête a tué 7 personnes. Elle a aussi fait des grandes pluies engendrant une grande inondation qui submerge 110/145 villages avec plus de 110.000 maisons.

### **Typhon Fred, 11 - 18 août 1991**



Typhon Fred est développé à partir d'une dépression située à l'est du Centre des Philippines. Il a traversé le nord de l'île de Luzon, et est entré la mer de Chine du Sud. Fred typhon a déplacé au sud de Hong Kong et traversé l'île de Hainan. Fred s'est ensuite tourné vers le sud-ouest dans le golfe du Tonkin et a fait un atterrissage final au Centre du Vietnam le 17/8. Finalement, il s'est dissipé le jour suivant. Ce typhon a fait un naufrage d'un navire de prospection pétrolière, Derrick Barge avec 22 morts parmi 195 personnes à bord. Sur l'île de Hainan, de fortes pluies de ce typhon engendrent de grandes inondations et des glissements de terrain tuant 16 personnes.

#### **Typhon Angela, 15 - 29 octobre 1992**



Le typhon Angela a duré du 15 au 29 octobre. Il s'est développé dans la mer de Chine méridionale. Il a déplacé vers l'est et puis au contraire, vers l'ouest, frappé le Centre méridional du Vietnam, traversé le sud de l'Indochine, s'est renforcé en déplaçant dans le sens horlogique dans le Golfe de la Thaïlande et enfin, est dissipé sur l'eau. Au Vietnam, Angela a causé de fortes pluies, des inondations extensives faisant des pertes des récoltes, des bétails, endommageant des bateaux de pêche, des routes, le

chemin de fer, etc. Sept disparus et dix sept blessés ont été liés à ce typhon.

#### **Typhon Colleen, 17 - 28 octobre 1992**



Il est formé à partir une dépression dans l'ouest du Pacifique. Il a déplacé vers NO et puis vers l'ouest, traversant les Philippines, la mer de Chine méridionale, enfin frappé le Centre du Vietnam le matin 28 octobre. Ce typhon a engendré des inondations, des glissements de terrain aux Philippines.

#### **Typhon Kyle, 19 - 24 novembre 1993**



Typhon Kyle a touché Phu Yen (Centre Sud du Vietnam) le 23/11/1993 avec des vents 180 km/h. Il a fait 106 décès et \$1.5 millions dans les dommages (1993 USD)

#### **Typhon Lola, 1 - 9 décembre 1993.**



Lola s'est développé à partir une dépression tropicale. Il est arrivé aux Philippines le 5/12 et au Centre Sud du Vietnam le 8/12 avec des vents 190 km/h. Lola a causé 308 morts, dont 230 aux Philippines.

#### **Typhon Zack (Pepang), 23 octobre - 1 novembre 1995**



Zack a renforcé tout en croisant le Centre de Philippines le 28/10/1995. Il a continué à intensifier au-dessus de la mer de Chine méridionale à un typhon de 225 km/h, mais affaibli à 185 km/h en débarquant à Quang Ngai (Centre sud du VietNam) le 1/11. Zach a causé 110 décès et des dommages graves d'inondation.

#### **Typhon Willie, 17 - 23 septembre 1996**



Willie s'est développé à partir d'une dépression tropicale dans le Golfe du Tonkin le 17/9/1996. Il s'est déplacé dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour l'Île de Hainan, en devenant une tempête tropicale le 17ème et un typhon le 19ème. Il a croisé le Hainan étroitement entre Hainan et la Chine, et a continué à OSO à travers le Golfe du Tonkin. Willie a fait le débarquement à Nghe An (Centre Nord du Vietnam) le 22/9 sur le Vietnam sur le 22ème, et a dissipé le jour suivant. Le typhon a fait

38 morts dans une inondation.

#### **Typhon Faith (Norming), 7 - 14 décembre 1998**



La tempête tropicale Faith s'est déplacée à l'ouest à travers le Nord-ouest du Pacifique. Elle a renforcé à un typhon en croissant les Philippines. Après atteinte son maximum de 160 km/h au-dessus de la Mer de Chine du sud, Faith s'est affaibli à une tempête tropicale le 14/12/1998 juste avant faire le débarquement au Centre sud du Vietnam. Il a absorbé plus tard ce jour, après avoir causé 57 décès et \$33 millions de dommages (1998 dollars) dans son chemin.

#### **Tempête tropicale Eve (Rening), 15 - 19 octobre 1999**



Tempête tropicale Eve s'est formée à l'est des Philippines. Il a traversé ces îles, la Mer de Chine du sud et a touché le Vietnam le 19/10/1999. Ses précipitations, combinées avec 2 ou 3 semaines de précipitations après la tempête étaient responsables pour 590 blessés au Centre du Vietnam

#### **Tempête tropicale Usagi, 8 - 10 août 2001**



La tempête tropicale Usagi de 72 km/h est formée en mer de Chine méridionale le 8/8/2001. Elle a débarqué à Ha Tinh (Centre nord du Vietnam) le 10/8. La Usagi a apporté des crues éclair qui ont tué 177 personnes.

#### **Typhon Lingling, 5 - 12 décembre 2001**



Une dépression tropicale s'est formée en mer philippine le 5/11/2001. Il s'est déplacé à l'ouest, frappant les Philippines le 6/11. La dépression a renforcé au-dessus de l'archipel, en devenant une tempête tropicale le 7/11. Lingling a continué à intensifier, atteignant un typhon avec des vents maximaux de 217 km/h le 10/11 en mer de Chine du sud. Le jour suivant, le typhon a frappé le Centre du Vietnam central avec des vents de 177 km/h, et a absorbé le 12/11. Lingling a apporté les pluies torrentielles et l'inondation, ayant comme conséquence de 171 décès aux Philippines (avec 118 disparus) et de 18 décès au Vietnam.

#### **Typhon Nepartak (Weng), 12 - 19 novembre 2003**



Le Nepartak est à traversée les Philippines de 13 à 14/11/2003. Il a causé une grande inondation coûtant \$197 millions de dommages et 4 blessés aux Philippines. Nepartak a continué à l'ouest où il a atteint un pic des vents de 137 km/h. Il a tourné à NE, et a dissipé sur la Chine le 19/11. Le centre du Vietnam était gravement frappé, en tant que 61 personnes ont été morts, et les maisons de 32000 autres ont été inondées

#### **Typhon Chanthu (Gener), 10 - 13 juin 2004**



Chanthu s'est formé le 10/6/2004 juste à l'est des Philippines. Il a croisé les îles, et a traversé la Mer de Chine méridionale. Après avoir fait un pic des vents de 120 km/h, Chanthu a frappé Binh Dinh (Centre sud du Vietnam) le 12/6, et absorbé le jour suivant. Sept personnes ont été tuées dans l'inondation causée par ce typhon.



#### **Tempête tropicale Vicente, 16 - 18 septembre 2005**



Une dépression tropicale est formée au large du Vietnam le matin 16/9/2005. Elle a atteint à la tempête tropicale, appelée Vicente dans cette nuit. Vicente est passée la côte NE de Hué (centre du Vietnam) le 18/9 et graduellement absorbé. Au Vietnam, environ 20 personnes ont été tuées ou ont rapporté des disparus à cause de cette tempête.

#### **Typhon Kai-Tak, 29 octobre - 2 novembre 2005**



Kai-Tak s'est développé à partir une dépression au large de la mer de Chine méridionale. Il a débarqué au nord de Hué le matin 2/11

#### **Dépression tropicale 17W (JTWC), 23 - 25 septembre 2006**



L'Administration météorologique Chine et l'Observatoire de Hong Kong les deux ont identifié une dépression tropicale dans le sud de la mer de Chine méridionale le 23 septembre. Le système a été organisé suffisante pour être classé en tant que dépression tropicale 17W par le **Joint Typhoon Warning Center** (JTWC) le lendemain. Cette dépression a touchée le Centre du Vietnam le 25 septembre.

#### **Typhon Xangsane (Milenyo), 26 septembre - 2 octobre 2006**



Typhon Xangsane (Milenyo) s'est développé à partir une dépression tropicale formée le 26/9/2006 à l'est des Philippines. Cette dépression a renforcé à une tempête avant de débarquer à l'île Samar (Philippines) le 27/9. Il a coûté 200 morts et au moins à \$7.2 millions (2006 USD) de dommages. Xangsane a fait le débarquement comme un typhon à Thua Thien Hué le 1/10. Avant le débarquement de Xangsane, les autorités vietnamiennes ont fait évacuer plus de 300.000 personnes de la région vulnérable à l'inondation et à glissement de terrain. Le gouvernement vietnamien a également commandé environ 2.400 bateaux, y compris 273 bateaux de pêche, pour retourner au port. L'effort d'évacuation a été effectué afin d'empêcher une répétition des dommages et des morts causés par typhon Chanchu plus tôt dans la saison. Néanmoins le Xangsane a encore tué 71 personnes au Vietnam.

#### **Typhon Chebi (Queenie), 9 - 14 novembre 2006**



Une tempête tropicale nommée Chebi le 9 novembre à partir d'une dépression est de la Nouvelle-Calédonie. Cette tempête est devenue un typhon en déplaçant à l'ouest vers les Philippines. Il est affaibli en traversant les Philippines et la mer de Chine méridionale et il est dissipé sur l'eau près de la côte du Centre du Vietnam le 14 novembre. Aux Philippines ce typhon a fait 1 mort et 10 blessés et a causé des inondations, la coupe du réseau routier

#### **Tempête tropicale Lekima 30 septembre - 4 octobre 2007**



Tempête tropicale Lekima, dite la 5ème tempête au Vietnam, s'est développé à partir d'une dépression tropicale. Elle a dépassé le Luzon (Philippines), traversé la mer de Chine méridionale et débarqué à la région entre les provinces Ha Tinh et Quang Binh (Centre nord du Vietnam) le 3/10. Cette tempête a causé des fortes pluies, des glissements de terrain, faisant 8 morts, dont 3 enfants aux Philippines, 5 morts et des centaines de maisons en destruction au Vietnam.

### Dépression tropicale 06W (JTWC), 2 - 6 août 2007



Une dépression tropicale au large de la mer de Chine méridionale est nommée 06W par le JTWC, le 2 août. Elle a déplacé le long de la côte du Vietnam et enfin débarqué au Centre septentrionale de ce pays. Au Vietnam, au moins 60 personnes ont été mortes en raison de vastes inondations. Total des précipitations de 06W au Vietnam au cours de la tempête a été de plus de 610 mm.

### Tempête tropicale Mekkhala, 28 - 30 septembre 2008



La tempête tropicale Mekkhala s'est formée au large de la mer de Chine méridionale le 28 septembre. Elle a déplacé vers ONO, touché la terre et puis rapidement dissipé le 30 septembre. Mekkhala a causé au moins 21 morts et des dommages d'environ 6,6 millions de dollars américains.

### Légende générale

Les trajets des cyclones sont décrits en utilisant les couleurs de l'échelle de Saffir-Simpson avec une addition comme suit :

Echelle de Saffir-Simpson		
Catégorie	Vents soutenus Mph (km/h)	Onde de tempête ft (m)
5	≥156 (≥250)	>18 (>5.5)
4	131–155 (210–249)	13–18 (4.0–5.5)
3	111–130 (178–209)	9–12 (2.7–3.7)
2	96–110 (154–177)	6–8 (1.8–2.4)
1	74–95 (119–153)	4–5 (1.2–1.5)
Classification supplémentaire		
Tempête tropicale	39–73 (63–117)	0–3 (0–0.9)
Dépression tropicale	0–38 (0–62)	0 (0)

Source : [http://en.wikipedia.org/wiki/Saffir-Simpson\\_Hurricane\\_Scale](http://en.wikipedia.org/wiki/Saffir-Simpson_Hurricane_Scale)

**Annexe 8. LES DONNEES DU PENDAGE DES ROCHES STRATIFIEES**

(extraits des cartes géologiques à l'échelle de 1 :200.000 (Nguyen V.T., 1996) et de 1 :50.000 (Vu M.D., 1994 ; Pham H.T., 1997, publiées par le Bureau de Géologie et des Ressources minérales du Vietnam et notre collection lors du travail sur le terrain)

**Formation de Nui Vu du NéoProtérozoïque - Cambrien**

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
1	16.162162	107.308361	220	60
2	16.274810	107.169717	248	55
3	16.275783	107.177551	276	80
4	16.252390	107.175562	300	20
5	16.246978	107.189929	145	68
6	16.260319	107.200483	215	50
7	16.246264	107.202547	40	40
8	16.247010	107.207440	210	60
9	16.246531	107.218092	165	44
10	16.240111	107.216688	30	60
11	16.236181	107.223367	23	40
12	16.235191	107.241751	310	70
13	16.221114	107.228399	140	50
14	16.217845	107.236291	170	70
15	16.209097	107.240695	175	85
16	16.210568	107.223143	155	80

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
17	16.219577	107.217219	210	70
18	16.232908	107.202272	40	40
19	16.237868	107.196681	45	60
20	16.222395	107.181858	170	40
21	16.219522	107.169141	140	50
22	16.216546	107.172533	145	60
23	16.208921	107.163063	135	50
24	16.205786	107.176030	160	45
25	16.215523	107.188569	150	40
26	16.215133	107.196683	190	45
27	16.209592	107.205120	165	80
28	16.207522	107.209664	335	80
29	16.194543	107.160813	130	50
30	16.173106	107.300226	60	40
31	16.189555	107.287353	55	70

**Formation de A Vuong du Cambrien moyen – Ordovicien inférieur**

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
1	16.137035	107.476454	232	40
2	16.125930	107.477034	208	68
3	16.147647	107.458554	225	68
4	16.144695	107.466412	246	70
5	16.140671	107.461967	235	70
6	16.162093	107.446531	218	50
7	16.100878	107.438874	20	60
8	16.091979	107.443608	182	40
9	16.086114	107.402640	50	65
10	16.077523	107.395542	220	60
11	16.070360	107.400209	40	50
12	16.084885	107.372939	52	50
13	16.129229	107.322602	224	40
14	16.157172	107.304714	42	60
15	16.159315	107.290922	228	60
16	16.326104	107.101520	70	75
17	16.320997	107.098130	73	70
18	16.312950	107.103753	90	70
19	16.313727	107.106648	75	60
20	16.317316	107.119322	70	40

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
21	16.298950	107.116302	70	60
22	16.295008	107.120301	80	50
23	16.306022	107.127603	85	80
24	16.291282	107.127379	105	70
25	16.286722	107.137334	290	70
26	16.270898	107.164673	65	20
27	16.265286	107.168330	255	85
28	16.236805	107.175039	215	45
29	16.240445	107.172605	125	50
30	16.239897	107.166319	110	70
31	16.235987	107.159108	115	50
32	16.209186	107.155074	140	40
33	16.202779	107.217919	155	80
34	16.205706	107.248394	150	50
35	16.201032	107.238384	200	40
36	16.182070	107.187946	160	50
37	16.189872	107.174143	140	70
38	16.238948	107.278575	45	70
39	16.228139	107.323564	38	70
40	16.226431	107.319634	220	65

Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
41	16.223940	107.336772	212	70
42	16.211114	107.355026	40	75
43	16.200414	107.364340	225	70
44	16.213366	107.292396	230	40
45	16.209961	107.291975	60	60
46	16.203579	107.294190	60	50
47	16.204661	107.262064	220	60
48	16.199550	107.257428	220	70
49	16.196243	107.256436	55	70
50	16.195555	107.251851	215	70
51	16.191835	107.263729	40	50
52	16.185591	107.252978	255	50
53	16.182004	107.269625	38	80
54	16.186038	107.271578	240	70
55	16.188573	107.275803	215	80
56	16.192107	107.272792	210	70
57	16.180976	107.288207	220	55
58	16.194633	107.303432	55	80
59	16.191416	107.311214	65	35
60	16.195842	107.352938	220	65
61	16.187319	107.373624	223	60
62	16.184954	107.370831	230	60
63	16.179685	107.364093	230	65
64	16.169367	107.296560	227	50
65	16.175697	107.290626	230	60
66	16.175865	107.283571	230	70
67	16.172176	107.283910	240	60
68	16.176895	107.391139	205	63
69	16.094374	107.504312	213	55
70	16.095941	107.510220	220	60
71	16.063734	107.507976	30	70
72	16.044140	107.510232	210	60
73	16.305750	107.206485	35	45
74	16.300442	107.215635	30	65

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
75	16.290840	107.223845	60	75
76	16.192743	107.223983	160	70
77	16.190486	107.350165	225	70
78	16.207156	107.312746	50	40
79	16.377603	107.117335	40	45
80	16.338898	107.119491	55	50
81	16.334893	107.110336	140	65
82	16.336642	107.103330	55	60
83	16.339896	107.100235	75	60
84	16.334798	107.099694	75	70
85	16.346022	107.092093	60	45
86	16.352182	107.087150	30	70
87	16.339962	107.086881	85	65
88	16.340072	107.089317	70	55
89	16.350766	107.193487	46	70
90	16.343023	107.201886	40	75
91	16.340452	107.203735	33	80
92	16.341050	107.210766	45	30
93	16.340275	107.207767	30	40
94	16.338415	107.205799	220	40
95	16.338260	107.201415	45	70
96	16.358849	107.152051	40	75
97	16.358005	107.149260	215	40
98	16.362534	107.139710	40	45
99	16.362848	107.135331	35	50
100	16.360605	107.131342	38	40
101	16.368265	107.124260	45	50
102	16.371006	107.125542	40	45
103	16.122558	107.363632	50	80
104	16.139440	107.359280	45	60
105	16.142831	107.351057	30	75
106	16.136941	107.356034	220	50

Formation de Long Dai du Ordovicien inférieur – Silurien inférieur

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
1	16.297475	107.784263	163	60
2	16.301187	107.795236	171	55
3	16.298782	107.800398	174	50
4	16.288623	107.757071	171	30
5	16.280508	107.755614	157	50
6	16.264786	107.760232	356	70

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
7	16.256700	107.756536	352	80
8	16.207666	107.774301	205	30
9	16.172487	107.764766	190	50
10	16.175797	107.867599	332	65
11	16.163485	107.498315	215	70
12	16.138867	107.497827	225	70

Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
13	16.095527	107.496746	210	50
14	16.079416	107.495378	40	60
15	16.161812	107.478288	200	45
16	16.154567	107.482414	200	65
17	16.155800	107.473368	220	75
18	16.147488	107.487259	200	45
19	16.144822	107.477897	220	60
20	16.094828	107.482298	215	60
21	16.164180	107.453465	222	50
22	16.143896	107.453036	220	70
23	16.137955	107.456910	220	75
24	16.135028	107.462615	230	40
25	16.132238	107.456391	216	45
26	16.113482	107.458761	25	70
27	16.110187	107.458810	210	70
28	16.092620	107.463347	25	75
29	16.143856	107.441373	180	70
30	16.137990	107.438789	202	75
31	16.127079	107.445114	238	60
32	16.125382	107.434240	85	55
33	16.116637	107.440771	65	60
34	16.113802	107.438493	30	30
35	16.164107	107.429599	220	60
36	16.161855	107.429392	182	50
37	16.155225	107.425364	205	35
38	16.162401	107.411904	208	40
39	16.153116	107.412509	216	50
40	16.138335	107.416098	42	30
41	16.152172	107.388543	32	70
42	16.162113	107.383549	50	60
43	16.163132	107.385535	120	60
44	16.077373	107.492125	45	50
45	16.074359	107.490293	226	60
46	16.071134	107.476892	58	40
47	16.057947	107.492421	225	60
48	16.055611	107.499475	220	60
49	16.062298	107.337338	45	60
50	16.072825	107.326251	50	55
51	16.078500	107.330622	230	70
52	16.080582	107.338538	45	70
53	16.066391	107.343664	228	70
54	16.066590	107.349226	50	70
55	16.074308	107.349227	230	70

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
56	16.073466	107.354778	235	80
57	16.074003	107.361151	50	80
58	16.071067	107.367932	230	70
59	16.084467	107.340109	230	70
60	16.087658	107.317813	220	65
61	16.098156	107.325290	224	60
62	16.107570	107.312752	222	80
63	16.110053	107.315741	45	80
64	16.113071	107.317301	230	80
65	16.109608	107.300755	240	75
66	16.117533	107.305601	232	80
67	16.124579	107.295546	230	60
68	16.127330	107.313788	235	80
69	16.133374	107.316191	230	70
70	16.133263	107.302464	235	80
71	16.130086	107.283408	225	75
72	16.136137	107.285182	215	85
73	16.142304	107.292251	218	80
74	16.160414	107.277386	34	80
75	16.157287	107.277888	215	50
76	16.154280	107.275252	214	70
77	16.148419	107.271955	235	60
78	16.158593	107.261125	215	50
79	16.153958	107.256586	149	50
80	16.145596	107.260080	220	60
81	16.188965	107.232097	140	50
82	16.183625	107.232924	340	70
83	16.181796	107.237850	165	68
84	16.188872	107.211675	175	55
85	16.178773	107.198690	140	45
86	16.176753	107.192516	125	40
87	16.176731	107.188711	170	70
88	16.176450	107.209952	170	50
89	16.173247	107.229130	160	50
90	16.172444	107.241359	310	75
91	16.314274	107.274674	70	60
92	16.311651	107.270064	75	60
93	16.317170	107.288067	240	75
94	16.319319	107.293817	55	50
95	16.323133	107.324206	65	50
96	16.318423	107.325200	70	60
97	16.308589	107.322889	195	65
98	16.306054	107.327153	220	80

Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
99	16.313711	107.342987	275	70
100	16.313873	107.344993	75	70
101	16.317456	107.345990	50	45
102	16.317823	107.354391	60	45
103	16.317850	107.360212	70	70
104	16.317418	107.365932	70	60
105	16.306184	107.365224	90	70
106	16.313262	107.374946	250	70
107	16.318646	107.379591	245	75
108	16.284328	107.325370	225	65
109	16.280365	107.325419	300	50
110	16.288468	107.325896	210	60
111	16.273373	107.324382	315	75
112	16.270628	107.314238	320	50
113	16.303891	107.305946	230	60
114	16.274273	107.301116	55	60
115	16.294925	107.291529	55	75
116	16.286512	107.294103	65	85
117	16.287827	107.283337	240	70
118	16.285948	107.278068	65	85
119	16.286543	107.274163	230	70
120	16.278831	107.297162	45	60
121	16.234898	107.320592	220	75
122	16.234538	107.328218	220	80
123	16.233312	107.347470	210	80
124	16.227559	107.359418	40	30
125	16.206495	107.372709	215	10
126	16.178496	107.270252	185	50
127	16.179200	107.256052	240	70
128	16.170296	107.252804	170	75
129	16.167682	107.256017	260	50
130	16.170595	107.267969	195	85
131	16.321885	107.458730	125	50
132	16.312697	107.480177	210	45
133	16.303700	107.477393	255	45
134	16.329979	107.387744	55	30
135	16.321767	107.388789	55	45
136	16.327500	107.395156	125	40
137	16.306935	107.444900	110	30
138	16.290367	107.443454	80	40
139	16.299680	107.450820	95	40
140	16.290586	107.448418	90	25
141	16.299673	107.459311	280	50

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
142	16.285823	107.469727	130	50
143	16.280641	107.495228	235	45
144	16.269305	107.495466	195	40
145	16.270206	107.457895	155	40
146	16.270648	107.435579	230	40
147	16.275090	107.433917	260	40
148	16.265096	107.405463	90	40
149	16.259917	107.415225	55	35
150	16.259404	107.419797	55	40
151	16.264163	107.438647	295	40
152	16.265485	107.443909	110	30
153	16.253027	107.437555	222	20
154	16.265553	107.477677	215	45
155	16.261635	107.473908	215	40
156	16.248397	107.479274	290	40
157	16.248827	107.474034	290	40
158	16.245315	107.498501	275	40
159	16.238001	107.493640	40	40
160	16.233500	107.492534	45	30
161	16.242264	107.436087	65	40
162	16.237269	107.429731	220	30
163	16.241537	107.419102	215	30
164	16.233514	107.419671	220	30
165	16.234455	107.401752	346	50
166	16.226436	107.385728	325	50
167	16.229003	107.403117	210	60
168	16.218919	107.422926	230	50
169	16.218979	107.417681	245	70
170	16.225565	107.437980	10	30
171	16.226199	107.430931	215	50
172	16.219795	107.434953	300	30
173	16.226503	107.452488	10	30
174	16.230978	107.455976	235	40
175	16.230517	107.440044	225	35
176	16.235318	107.447161	220	30
177	16.229721	107.469026	50	40
178	16.227011	107.495886	225	30
179	16.227913	107.489698	228	30
180	16.220159	107.498755	205	30
181	16.210799	107.495491	210	40
182	16.199771	107.485244	10	40
183	16.199794	107.451585	35	40
184	16.201738	107.434731	215	30

Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
185	16.197304	107.443735	215	50
186	16.200072	107.411157	55	50
187	16.198927	107.406566	54	50
188	16.202037	107.392205	248	80
189	16.200438	107.386941	250	60
190	16.178380	107.414612	0	35
191	16.189758	107.426860	45	50
192	16.188240	107.414541	158	30
193	16.192745	107.471521	210	40
194	16.179467	107.472405	200	45
195	16.194670	107.480222	210	30
196	16.173551	107.497692	25	50
197	16.169993	107.494692	210	55
198	16.172414	107.484616	210	55
199	16.175895	107.470549	30	50
200	16.173435	107.468135	220	50
201	16.173736	107.458032	230	50
202	16.159762	107.241943	165	50
203	16.159792	107.209215	155	65
204	16.157730	107.191862	150	70
205	16.164337	107.185170	150	60
206	16.307200	107.520799	350	70
207	16.299995	107.581299	160	70
208	16.301178	107.571065	235	70
209	16.285723	107.613080	161	80
210	16.289135	107.614028	338	70
211	16.291363	107.609997	327	75
212	16.300338	107.553070	230	70
213	16.296058	107.525942	322	30
214	16.299891	107.507298	150	45
215	16.301557	107.503258	215	50
216	16.289805	107.507298	280	25
217	16.279678	107.510811	60	45
218	16.283363	107.525554	324	50
219	16.284053	107.540710	350	70
220	16.283827	107.554242	5	70
221	16.261658	107.621043	325	65
222	16.268248	107.616683	325	70
223	16.260077	107.592731	35	65
224	16.259841	107.540269	40	40
225	16.255800	107.513730	280	40
226	16.261045	107.512443	250	40
227	16.224705	107.511015	230	40

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
228	16.213762	107.515129	215	60
229	16.208600	107.504175	224	30
230	16.200680	107.521148	216	60
231	16.185655	107.517736	220	50
232	16.176569	107.517428	225	60
233	16.169824	107.503428	240	60
234	16.170042	107.516572	220	80
235	16.171640	107.528832	50	50
236	16.171524	107.533404	225	50
237	16.180088	107.540857	225	60
238	16.184136	107.540716	40	60
239	16.189615	107.545875	210	55
240	16.172849	107.557900	240	40
241	16.167630	107.562213	173	40
242	16.179057	107.564486	90	50
243	16.180411	107.591431	177	45
244	16.199545	107.589554	167	60
245	16.201765	107.601502	157	60
246	16.200412	107.615335	175	55
247	16.203765	107.616024	178	50
248	16.227619	107.538244	230	60
249	16.239804	107.580802	10	70
250	16.287190	107.718830	350	50
251	16.285360	107.730405	175	75
252	16.282802	107.735719	153	75
253	16.289022	107.677737	156	70
254	16.295974	107.649665	125	50
255	16.279856	107.634368	355	80
256	16.279384	107.706285	145	75
257	16.260194	107.688107	135	75
258	16.258954	107.692666	305	75
259	16.260396	107.696745	125	75
260	16.249682	107.687513	300	75
261	16.251842	107.679166	140	85
262	16.252775	107.674281	310	70
263	16.260342	107.666586	130	80
264	16.244035	107.671392	150	60
265	16.229811	107.693557	227	70
266	16.222820	107.690176	35	60
267	16.219229	107.688646	35	40
268	16.209496	107.705135	113	50
269	16.187866	107.712376	80	50
270	16.184949	107.735977	340	60

Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
271	16.190512	107.665646	175	50
272	16.196455	107.648332	138	40
273	16.182220	107.636740	142	50
274	16.215588	107.651487	170	55
275	16.162104	107.505090	237	80
276	16.162149	107.513337	60	70
277	16.158717	107.544730	55	35
278	16.151568	107.517620	252	70
279	16.152930	107.534717	210	50
280	16.152579	107.552234	50	40
281	16.147785	107.548566	234	40
282	16.153240	107.562329	235	40
283	16.155420	107.570381	230	40
284	16.159713	107.580228	293	30
285	16.154292	107.593041	220	45
286	16.149702	107.596000	130	55
287	16.130998	107.589425	250	50
288	16.128365	107.577687	240	40
289	16.135851	107.558792	235	50
290	16.134931	107.552376	236	40
291	16.123754	107.552895	250	60
292	16.124306	107.542450	245	50
293	16.134273	107.511954	235	70
294	16.135593	107.502548	245	75
295	16.131963	107.508760	65	80
296	16.105849	107.520870	45	75
297	16.115884	107.550586	70	45
298	16.113641	107.547761	245	40
299	16.106991	107.562396	225	40
300	16.105147	107.555969	40	35
301	16.095101	107.521176	205	45
302	16.099480	107.523881	25	60
303	16.102052	107.552986	220	40
304	16.081615	107.512248	220	60
305	16.080013	107.521427	220	60
306	16.066622	107.552607	215	60
307	16.066037	107.542003	215	70
308	16.048360	107.520513	216	60
309	16.036908	107.520148	220	60
310	16.039608	107.526583	225	30
311	16.043028	107.526185	350	45
312	16.044872	107.532683	345	30
313	16.048184	107.541408	340	60

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
314	16.025980	107.553707	230	50
315	16.021358	107.553501	215	40
316	16.026021	107.532298	210	65
317	16.020464	107.532890	210	65
318	16.021528	107.521059	230	65
319	16.022461	107.508269	60	60
320	16.161908	107.681797	217	85
321	16.122111	107.713771	315	40
322	16.119778	107.716732	294	80
323	16.125148	107.731196	350	60
324	16.126537	107.745602	325	50
325	16.106416	107.719216	340	60
326	16.106184	107.669265	164	60
327	16.086974	107.669738	340	45
328	16.080381	107.670380	145	55
329	16.098005	107.702561	355	60
330	16.097178	107.718361	334	60
331	16.090255	107.714132	150	80
332	16.090637	107.721109	160	65
333	16.081710	107.695612	160	80
334	16.066310	107.741693	327	50
335	16.070052	107.737124	146	60
336	16.080944	107.725193	135	60
337	16.070028	107.689617	150	65
338	16.072168	107.662649	305	60
339	16.067787	107.649376	335	60
340	16.061381	107.634861	325	60
341	16.061870	107.646055	155	60
342	16.052323	107.663682	165	65
343	16.056231	107.695917	140	50
344	16.063168	107.686606	150	50
345	16.052874	107.707301	155	50
346	16.064160	107.725937	132	65
347	16.062644	107.734185	303	80
348	16.054070	107.742660	140	60
349	16.038016	107.716827	330	80
350	16.043425	107.704418	335	60
351	16.045761	107.705665	155	60
352	16.035448	107.703013	150	70
353	16.030465	107.706512	328	70
354	16.034908	107.677311	160	60
355	16.032392	107.665362	175	80
356	16.043305	107.676532	163	60



Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
357	16.040539	107.665795	177	60
358	16.019794	107.682378	355	50
359	16.023827	107.692077	0	40
360	16.006333	107.693220	355	65
361	16.010237	107.700647	342	70
362	16.019235	107.708144	326	60
363	16.155175	107.755747	200	80
364	16.140548	107.769704	176	85
365	16.142560	107.778700	185	70
366	16.139035	107.798238	190	55
367	16.123635	107.772301	143	70
368	16.121339	107.819855	0	70
369	16.117160	107.819639	180	65
370	16.132405	107.845340	160	75
371	16.108812	107.824161	174	70
372	16.111575	107.804931	180	70
373	16.104947	107.800119	185	60
374	16.107765	107.788204	213	80
375	16.116357	107.776526	170	60
376	16.109433	107.776901	200	60
377	16.085193	107.758083	325	80
378	16.090743	107.769878	335	85
379	16.072585	107.762942	140	60
380	16.487560	107.262009	70	70
381	16.482216	107.283049	20	40
382	16.487618	107.284360	15	45
383	16.489344	107.291657	10	40
384	16.478973	107.258479	45	70
385	16.478838	107.298497	340	40
386	16.482745	107.308003	25	60
387	16.483884	107.313838	35	70
388	16.487327	107.319908	20	50
389	16.487770	107.325214	20	50
390	16.474543	107.333164	45	45
391	16.468031	107.332463	340	45
392	16.466306	107.334313	335	50
393	16.461607	107.323967	5	45
394	16.467430	107.314370	340	40
395	16.471540	107.314523	20	45
396	16.469514	107.298180	15	70
397	16.471927	107.297584	35	50
398	16.475330	107.298248	210	50
399	16.474659	107.277035	335	65

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
400	16.469859	107.275732	340	60
401	16.467042	107.276530	345	65
402	16.464651	107.275047	180	45
403	16.461433	107.266591	40	70
404	16.462488	107.261822	45	75
405	16.466850	107.257195	325	80
406	16.460420	107.258264	60	70
407	16.455051	107.253836	55	75
408	16.453229	107.264728	55	70
409	16.456356	107.272352	5	40
410	16.431749	107.256893	30	70
411	16.429292	107.261541	35	70
412	16.443526	107.252975	210	80
413	16.446023	107.253940	220	80
414	16.453815	107.348194	330	35
415	16.448771	107.350732	320	35
416	16.440528	107.352503	325	35
417	16.440659	107.358636	320	50
418	16.441881	107.365926	310	80
419	16.431071	107.328176	230	40
420	16.430165	107.337414	115	60
421	16.428386	107.344043	285	70
422	16.426485	107.352646	300	75
423	16.435201	107.353478	300	70
424	16.413536	107.362569	40	65
425	16.409668	107.367614	40	65
426	16.415370	107.351057	45	70
427	16.394445	107.347793	25	65
428	16.393803	107.296977	185	80
429	16.395926	107.277053	235	70
430	16.384921	107.320354	195	60
431	16.381008	107.320515	200	50
432	16.378414	107.319238	210	50
433	16.362324	107.359251	135	70
434	16.367595	107.354224	135	70
435	16.366268	107.347351	130	60
436	16.364114	107.342651	135	60
437	16.355126	107.357190	145	60
438	16.350523	107.347267	145	55
439	16.355878	107.343695	140	60
440	16.364848	107.330713	165	50
441	16.353944	107.328194	125	50
442	16.364321	107.323954	235	60

Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
443	16.362756	107.320300	230	50
444	16.358240	107.293133	230	60
445	16.365428	107.277737	85	40
446	16.358048	107.273808	105	70
447	16.354330	107.265143	40	70
448	16.357089	107.260396	60	70
449	16.365972	107.255096	70	60
450	16.367919	107.251274	62	70
451	16.338615	107.252808	70	70
452	16.342486	107.256592	80	60
453	16.345340	107.261715	77	70
454	16.351354	107.262096	85	70
455	16.342567	107.304791	55	70
456	16.345054	107.324869	220	70
457	16.337153	107.358948	90	80
458	16.461920	107.385292	305	40
459	16.460388	107.387768	335	40
460	16.462032	107.410549	50	60
461	16.459181	107.414256	45	55
462	16.452615	107.427061	130	65
463	16.422400	107.429491	320	40
464	16.418871	107.413757	305	50
465	16.418262	107.405645	130	50
466	16.413469	107.481436	245	40
467	16.406397	107.494229	245	40
468	16.399875	107.494562	230	50
469	16.402973	107.487017	230	50
470	16.380160	107.491090	60	60
471	16.396158	107.486619	240	50
472	16.408269	107.428692	95	40
473	16.409391	107.418316	85	40
474	16.401056	107.419252	331	45
475	16.397180	107.424918	320	50
476	16.393765	107.416668	323	60
477	16.387695	107.412542	330	60
478	16.399877	107.399704	153	70
479	16.392639	107.401174	345	60
480	16.400945	107.385171	40	50
481	16.388188	107.378055	175	60
482	16.385030	107.400042	358	50
483	16.377218	107.399115	353	60
484	16.370351	107.394460	355	75
485	16.371138	107.404547	175	40

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
486	16.369373	107.418549	338	70
487	16.383416	107.418307	323	85
488	16.380414	107.426477	330	50
489	16.384041	107.433690	315	50
490	16.381745	107.441453	337	85
491	16.364797	107.432724	321	50
492	16.354486	107.431142	335	70
493	16.352618	107.419174	200	35
494	16.356633	107.410082	160	60
495	16.353874	107.379301	5	40
496	16.358043	107.383091	0	60
497	16.366900	107.380394	210	80
498	16.338809	107.381196	185	70
499	16.342459	107.386538	190	60
500	16.345051	107.396749	190	80
501	16.339958	107.394817	185	80
502	16.349486	107.403658	187	80
503	16.337827	107.405801	165	80
504	16.339329	107.414855	15	70
505	16.337932	107.422940	215	75
506	16.339804	107.425871	220	70
507	16.346272	107.464798	210	80
508	16.348489	107.463891	215	80
509	16.355957	107.468451	90	40
510	16.497907	107.218596	60	70
511	16.495994	107.221637	40	75
512	16.491194	107.218380	60	70
513	16.485734	107.226601	50	65
514	16.489704	107.244743	140	75
515	16.485378	107.215808	35	65
516	16.477505	107.217320	30	70
517	16.495109	107.203738	52	60
518	16.496289	107.200132	50	70
519	16.485200	107.194508	185	70
520	16.483027	107.196850	60	70
521	16.487457	107.184163	190	70
522	16.488961	107.188078	205	70
523	16.492166	107.189854	210	70
524	16.495171	107.191488	35	70
525	16.496819	107.187957	30	70
526	16.432015	107.148959	25	50
527	16.421555	107.160464	20	60
528	16.467145	107.206345	55	60

Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
529	16.470649	107.218007	32	70
530	16.471694	107.227067	30	60
531	16.464616	107.216895	60	80
532	16.468782	107.248190	30	60
533	16.466262	107.232711	25	40
534	16.455929	107.244423	340	70
535	16.444693	107.227593	50	60
536	16.450144	107.213807	205	70
537	16.453351	107.208973	165	60
538	16.455068	107.205373	180	70
539	16.458428	107.205133	176	60
540	16.449670	107.201415	215	70
541	16.358414	107.213535	40	40
542	16.359945	107.208405	35	70
543	16.355417	107.204738	40	60
544	16.368756	107.207113	36	60
545	16.374534	107.200431	35	60
546	16.379245	107.193040	36	60
547	16.382100	107.189663	40	40
548	16.381444	107.181726	45	60
549	16.383916	107.182936	40	50
550	16.377321	107.190793	215	50
551	16.389093	107.175897	37	50
552	16.386011	107.175237	37	40
553	16.392183	107.175793	210	60
554	16.386796	107.183733	215	60
555	16.390418	107.164642	45	50
556	16.392407	107.167168	350	60
557	16.410831	107.532095	63	55
558	16.407338	107.503931	215	60
559	16.400981	107.510774	40	70
560	16.395559	107.514335	325	70
561	16.396190	107.509277	135	70
562	16.403171	107.518401	195	30
563	16.386129	107.505433	230	40
564	16.387229	107.508909	228	50
565	16.379474	107.503069	224	50
566	16.377079	107.505740	200	40
567	16.374399	107.504946	45	50
568	16.395699	107.570146	90	40
569	16.367834	107.576112	45	65
570	16.355167	107.572316	47	60
571	16.346736	107.588581	100	60

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
572	16.347001	107.593565	70	50
573	16.349215	107.599081	60	50
574	16.355697	107.602121	45	50
575	16.362871	107.601963	60	55
576	16.593453	107.324558	320	40
577	16.589558	107.315720	300	50
578	16.580280	107.299718	135	80
579	16.581303	107.310381	330	40
580	16.577124	107.312359	325	40
581	16.573428	107.314851	320	30
582	16.559555	107.294232	355	50
583	16.579283	107.323373	325	50
584	16.582404	107.321298	318	60
585	16.578671	107.341623	315	50
586	16.568754	107.331952	320	60
587	16.571044	107.331219	310	60
588	16.525557	107.294844	0	70
589	16.531519	107.301168	60	70
590	16.556100	107.289628	210	50
591	16.551169	107.300725	215	50
592	16.548675	107.290300	42	55
593	16.552188	107.259748	6	50
594	16.547850	107.261303	25	50
595	16.544125	107.259062	210	70
596	16.538765	107.264746	215	70
597	16.534803	107.254221	52	35
598	16.532802	107.265860	225	40
599	16.529615	107.266583	45	60
600	16.524470	107.267537	35	50
601	16.523123	107.271493	40	50
602	16.529600	107.252978	65	45
603	16.544011	107.090199	0	75
604	16.537472	107.075592	158	60
605	16.535416	107.101854	210	60
606	16.576445	107.240252	195	65
607	16.570655	107.240438	16	60
608	16.572304	107.200477	20	60
609	16.578712	107.203508	175	70
610	16.553969	107.129272	15	75
611	16.549654	107.136662	34	50
612	16.555286	107.135963	31	40
613	16.558703	107.136677	34	45
614	16.561799	107.136880	41	45

Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
615	16.559916	107.161371	43	50
616	16.557871	107.177661	217	60
617	16.563085	107.170197	210	85
618	16.552208	107.181317	215	80
619	16.564883	107.177487	73	50
620	16.566365	107.183927	72	60
621	16.563904	107.200889	16	60
622	16.553411	107.221814	14	70
623	16.553907	107.236357	11	50
624	16.563009	107.238913	180	70
625	16.545020	107.228902	25	40
626	16.536116	107.238265	205	75
627	16.538025	107.219863	200	65
628	16.547077	107.173061	44	70
629	16.545392	107.170506	60	60
630	16.545218	107.163659	39	50
631	16.543060	107.159578	26	50
632	16.540886	107.156934	33	40
633	16.538249	107.151833	40	70
634	16.540372	107.143575	334	50
635	16.533429	107.136990	68	40
636	16.531321	107.143728	65	50
637	16.532100	107.147286	45	60
638	16.525596	107.145609	28	40

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
639	16.528960	107.151392	27	60
640	16.531127	107.154712	18	50
641	16.531042	107.178543	40	60
642	16.530856	107.188598	243	55
643	16.532432	107.193771	13	50
644	16.528661	107.195756	37	50
645	16.524611	107.193260	18	60
646	16.525492	107.202481	13	60
647	16.526574	107.208155	200	60
648	16.527865	107.217043	18	50
649	16.507839	107.183522	30	45
650	16.506352	107.138129	358	40
651	16.502952	107.135810	350	60
652	16.152493	107.492093	200	65
653	16.154494	107.413896	40	40
654	16.154993	107.445617	185	65
655	16.149605	107.444264	200	65
656	16.205305	107.539706	50	45
657	16.201196	107.527279	220	50
658	16.211493	107.874189	140	60
659	16.110204	107.676694	175	60
660	16.137497	107.811355	210	70
661	16.148687	107.847282	180	50

Formation de Tan Lam du Dévonien inférieur

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
1	16.239523	107.360706	140	60
2	16.222317	107.366795	225	70
3	16.229637	107.371365	35	70
4	16.243747	107.370294	150	60
5	16.245233	107.401978	188	60
6	16.320372	107.589753	57	85
7	16.324427	107.599218	55	80
8	16.321493	107.604917	50	80
9	16.317630	107.610216	57	75
10	16.305558	107.609863	45	80
11	16.320483	107.690348	105	35
12	16.322836	107.686448	295	40
13	16.329691	107.656308	65	45
14	16.317633	107.654920	320	40
15	16.308099	107.650731	355	65
16	16.305415	107.656238	325	70

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
17	16.310671	107.644191	325	70
18	16.304963	107.667447	132	75
19	16.306879	107.678366	132	60
20	16.316059	107.729477	125	60
21	16.293083	107.686364	145	40
22	16.153365	107.610623	136	40
23	16.124651	107.596483	95	40
24	16.094113	107.550455	215	45
25	16.096710	107.571170	220	50
26	16.092003	107.566178	210	50
27	16.084818	107.566086	220	50
28	16.076626	107.543020	340	60
29	16.070575	107.561193	50	50
30	16.064180	107.572370	112	45
31	16.063968	107.566260	213	60
32	16.136338	107.644853	325	40

Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
33	16.132881	107.645947	136	60
34	16.133874	107.632470	280	40
35	16.129643	107.706369	120	50
36	16.120623	107.700785	123	65
37	16.118176	107.719052	140	75
38	16.110971	107.712386	310	40
39	16.105657	107.704935	142	45
40	16.098007	107.646128	160	40
41	16.091821	107.651884	331	50
42	16.088133	107.633187	155	60
43	16.098052	107.686427	337	60
44	16.080855	107.632199	155	40
45	16.075566	107.635129	145	50
46	16.066728	107.614339	165	40
47	16.031840	107.721769	312	65
48	16.002601	107.690738	200	45
49	16.004853	107.698711	338	40
50	16.011118	107.711600	340	70
51	16.007496	107.719088	335	80
52	16.011646	107.719388	150	60
53	16.137972	107.757240	15	70
54	16.132994	107.760003	24	75
55	16.129320	107.773638	29	70
56	16.126062	107.772728	12	65
57	16.126395	107.845569	165	50
58	16.120217	107.852716	163	65
59	16.106175	107.845280	100	60
60	16.071439	107.786831	164	40
61	16.073694	107.771293	319	70
62	16.065743	107.792178	45	50
63	16.066109	107.799024	125	70
64	16.060593	107.767179	145	85
65	16.495233	107.294221	0	70
66	16.492279	107.298344	2	45
67	16.471907	107.344670	42	60
68	16.487627	107.355878	55	55
69	16.478389	107.347970	52	45
70	16.481686	107.349050	55	55
71	16.472756	107.367236	20	40
72	16.470041	107.367826	60	15
73	16.481863	107.412874	5	70
74	16.474200	107.416416	2	50
75	16.481225	107.433238	350	40

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
76	16.475824	107.483268	60	45
77	16.470568	107.486735	55	65
78	16.466920	107.395331	350	45
79	16.434824	107.481915	110	20
80	16.465794	107.502400	58	45
81	16.461908	107.513838	50	45
82	16.452100	107.516160	215	50
83	16.449847	107.506925	35	55
84	16.441584	107.502681	162	65
85	16.443996	107.512255	155	60
86	16.421062	107.508160	3	40
87	16.422515	107.529628	330	40
88	16.427290	107.532477	325	60
89	16.431120	107.605656	265	60
90	16.432138	107.609048	70	70
91	16.433872	107.613715	60	40
92	16.410336	107.512245	14	40
93	16.410770	107.503215	240	60
94	16.373357	107.610712	205	50
95	16.383563	107.615745	73	55
96	16.386139	107.618312	70	70
97	16.404611	107.594327	220	60
98	16.405215	107.598219	40	70
99	16.405744	107.601519	220	70
100	16.376017	107.632739	246	70
101	16.356101	107.628673	245	70
102	16.376293	107.643211	92	70
103	16.370021	107.642957	90	70
104	16.345436	107.621272	82	65
105	16.344699	107.628099	92	40
106	16.340430	107.637073	265	35
107	16.340606	107.649060	85	70
108	16.348458	107.659717	60	60
109	16.346982	107.673286	295	50
110	16.338441	107.678487	280	50
111	16.352119	107.660188	95	60
112	16.351427	107.656971	300	60
113	16.355150	107.684707	300	30
114	16.356586	107.687090	288	40
115	16.358383	107.680362	280	40
116	16.366734	107.683769	290	45
117	16.368160	107.680580	295	35
118	16.369699	107.674861	260	60

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
119	16.375289	107.677470	265	40
120	16.370441	107.667781	305	75
121	16.370852	107.661118	295	75
122	16.370985	107.650568	95	80
123	16.393689	107.653154	75	70
124	16.396797	107.652268	135	50
125	16.402392	107.654539	258	60
126	16.343622	107.700333	80	55
127	16.339695	107.701545	285	50
128	16.336475	107.698462	110	45
129	16.421119	107.623466	45	70
130	16.419842	107.621254	200	75
131	16.549383	107.343973	135	70
132	16.543796	107.340610	144	65
133	16.532516	107.357881	203	50
134	16.502566	107.346619	46	50
135	16.504166	107.342075	44	50
136	16.504952	107.337354	46	60
137	16.506863	107.334166	37	50
138	16.503230	107.330996	35	60
139	16.507138	107.287191	20	40
140	16.532645	107.403766	230	50
141	16.534529	107.388749	235	50

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
142	16.526984	107.072776	48	50
143	16.527436	107.092810	3	65
144	16.525706	107.094650	32	65
145	16.523762	107.101475	8	70
146	16.525442	107.112733	182	40
147	16.516930	107.116021	56	40
148	16.515656	107.121161	43	55
149	16.517026	107.122698	34	55
150	16.512467	107.216276	25	60
151	16.514521	107.214778	355	50
152	16.516668	107.212183	215	60
153	16.517921	107.201550	15	50
154	16.519074	107.184916	5	70
155	16.512059	107.193118	25	50
156	16.517582	107.163773	300	70
157	16.516407	107.159197	35	60
158	16.507173	107.161376	343	40
159	16.508205	107.156148	28	30
160	16.516669	107.133679	347	50
161	16.512240	107.136335	354	50
162	16.509638	107.135715	0	50
163	16.519661	107.128135	20	75

#### Formation de Phong Son du Dévonien supérieur - Carbonifère inférieur

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
1	16.119126	107.617756	129	50
2	16.106763	107.622157	130	40
3	16.118218	107.622160	309	45
4	16.097040	107.602673	120	70
5	16.145767	107.628661	153	50

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
6	16.119271	107.638058	170	55
7	16.109173	107.636951	320	60
8	16.518815	107.344111	54	35
9	16.123344	107.646866	120	50

#### Formation de A Lin du Permien

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
1	16.044042	107.465259	178	20
2	16.298794	107.125665	85	75
3	16.319740	107.130765	105	15
4	16.317991	107.138379	230	40
5	16.305412	107.145041	300	10
6	16.326541	107.138151	70	20
7	16.328975	107.142476	55	30
8	16.320676	107.148414	350	20
9	16.316764	107.149398	57	15
10	16.318775	107.170843	103	25
11	16.316756	107.168383	245	15

#	Latitude	Longitude	Azimet	Inclinaison
12	16.297016	107.166563	205	10
13	16.295028	107.161090	202	15
14	16.282328	107.155307	60	25
15	16.278430	107.154944	70	30
16	16.254905	107.165908	65	35
17	16.308673	107.183366	213	10
18	16.308524	107.179837	207	20
19	16.280640	107.187032	50	30
20	16.303367	107.191763	205	25
21	16.255338	107.219777	40	30
22	16.250995	107.224866	40	20

## Géorisques au Centre septentrional du Vietnam

---

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
23	16.379040	107.101210	50	30
24	16.376194	107.097076	45	60
25	16.373720	107.095936	85	45
26	16.375566	107.112860	240	30
27	16.370720	107.113852	245	30
28	16.364420	107.119279	235	30
29	16.356756	107.113353	25	25

#	Latitude	Longitude	Azimut	Inclinaison
30	16.339204	107.142307	140	15
31	16.342915	107.140679	120	20
32	16.344499	107.130123	50	40
33	16.341698	107.128146	60	20
34	16.339168	107.125962	30	25
35	16.339602	107.156014	245	20