Centre Val de Loire UNIVERSITÉ **UNIVERSITÉ D'ORLÉANS**

UNIVERSITE D'ORLEANS

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES DE L'HOMME ET DE LA SOCIETÉ

LABORATOIRE CEDETE EA1210

THÈSE présentée par :

Anh-Tu NGO

soutenue le 19 février 2014

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université d'Orléans**

Discipline/ Spécialité : Géographie-Aménagement-Environnement

Evaluation environnementale du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (Centre Viêt-Nam)

THÈSE dirigée par :

Jean-Marc ZANINETTI	Professeur, Université d'Orléans
Stéphane GRIVEL	Maître de conférences, Université d'Orléans

RAPPORTEURS :

Claude COSANDEY	Directrice de Recherche Emerite, CNRS, Laboratoire de Géographie Physique, Meudon
Frédéric LEONE	Professeur, Université Paul Valéry, Montpellier 3

JURY :

Denis DARTUS	Professeur, Institut National Polytechnique, Toulouse
Claude COSANDEY	Directrice de Recherche Emérite, CNRS, Laboratoire de Géographie Physique, Meudon
Frédéric LEONE	Professeur, Université Paul Valéry, Montpellier 3
Jean-Marc ZANINETTI	Professeur, Université d'Orléans
Stéphane GRIVEL	Maître de conférences, Université d'Orléans

REMERCIEMENTS

Cette thèse n'aurait pu être écrite, si mon entrée dans le monde de la recherche et de l'enseignement supérieur n'avait pas été facilitée par des hommes et des institutions. Je souhaiterais adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de cette thèse.

Tout d'abord je tiens à remercier très sincèrement Monsieur Jean-Marc ZANINETTI, qui, en tant que Directeur de thèse, s'est toujours montré à l'écoute et disponible tout au long de la réalisation de cette thèse. Il a su m'apporter l'inspiration, l'aide et le temps nécessaire tout au long de ma thèse pour que celle-ci voir le jour.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Stéphane GRIVEL, co-encadrant de ma thèse. Durant les années passionnantes passées à ses côtés, M.GRIVEL a joué un rôle très important dans cette étude. Il a partagé son savoir et son expérience pour l'enrichissement permanent de ma réflexion. Grâce à sa bonne humeur, son soutien constant, son efficacité, sa sympathie, il m'a permis d'aller au bout de cette thèse.

Je remercie très vivement les membres du jury de cette thèse, qui ont accepté d'évaluer mon travail : Mme. C. Cosandey, Directrice de Recherche Emerite, CNRS, Laboratoire de Géographie Physique, Meudon ; M. F. Leone, Professeur des Universités (Université Paul Valéry, Montpellier 3) ; M. D. Dartus, Professeur, Institut National Polytechnique, Toulouse.

Cette thèse n'aurait pas pu voir le jour sans l'appui financier du Gouvernement du Viêt-Nam [(1)] pour m'avoir accordé un financement pendant trois ans. Mon objectif est que ce travail serve à mon pays. Je remercie très sincèrement le laboratoire d'accueil EA 1210 CEDETE [(2)] de l'université d'Orléans où j'ai réalisé ces travaux. Je salue le soutien de Matthieu LEE, cartographe du CEDETE, des enseignants-chercheurs du laboratoire : des doctorants, Virgine-Anne, des jeunes docteurs, Vanda, Thi-Hanh, Sylvain, et Chloë LEGRAND, cartographe au Syndicat Intercommunal d'Etudes et de Programmation de l'Agglomération de Limoges qui ont apporté beaucoup aux relectures de la thèse.

Je remercie l'administration de l'Ecole Doctorale Sciences de l'Homme et de la Société d'Orléans, Monsieur le Directeur Patrick VILLIEU et Madame Kathia FUSTER, secrétaire, pour leur accueil chaleureux.

[1]Vietnam International Education Development - Ministry of Education and Training : http://www.vied.vn/vn/default.aspx

[2]Centre d'Etudes pour le Développement des Territoires et l'Environnement

Côté vietnamien, mes remerciements vont aussi à l'Université de Quy Nhon, et à Monsieur le Président, Hong-Anh NGUYEN, qui m'a soutenu et a facilité mon départ pour la France.

Je me dois aussi de mentionner le soutien du Département de Géographie-Cadastre de l'Université de Quy Nhon qui a accordé mon séjour en France pour cette étude et m'a fourni des outils nécessaires pour ma recherche. Un grand merci également aux professeurs Thi-Van LUONG, Directrice du Département, et Huu-Xuan NGUYEN, Directeur-adjoint du Département. Je remercie Quang-Hien, Thai-Le, Nguyen-Phuc, mes collègues qui m'ont accompagné, lors des travaux de terrain en 2011 et 2012 (mesure d'altitude par le théodolite). Je remercie aussi le biologiste PHAN Hoai-Vi de l'Université de Quy Nhon, qui m'a accompagné des traveaux de terrain en 2012 pour classer et nommer les espèces végétales. Merci à mes étudiants en géographie et en gestion du cadastre (qui m'ont accompagné sur le terrain) : Tan-Nghi, Hoai-Nam, Hoai-Vu.

J'ai aussi vivement apprécié les conseils, critiques, suggestions, ainsi les renseignements importants du Directeur de Centre Hydrométéorologique de la province de Binh Dinh, TRAN Si-Dung, et HUYNH Cao-Van expert de CCCO [(3)], pour une cartographie participative et des données de météo-hydrologie de cette étude.

Mes remerciements vont aux habitants du hameau de Dang du quartier de Dong Da de la ville de Quy Nhon qui ont participé à mes enquêtes, ont donné leurs avis sur la cartographie participative locale. Mes remerciements vont également aux habitants de la plaine d'inondation étudiée qui m'ont ouvert leur porte avec toujours beaucoup de sympathie, et m'ont apporté leur soutien précieux lors des enquêtes réalisées en 2011 et 2012.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à ma famille proche, à mon épouse Bao-Tram et mon bébé Nguyen-Phuong, qui m'ont toujours soutenu et encouragé tout au long de la réalisation de la thèse.

Merci à toutes et touts.

[3]Climate Change Coordination Office

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS **1**

SOMMAIRE **3**

ACRONYMES **5**

INTRODUCTION GENERALE **7**

A. Contexte de recherche **8**

B. Organisation générale de la thèse **16**

PREMIERE PARTIE : LES CADRES DE L'ETUDE **17**

Chapitre 1 - Le cadre théorique **18**

1.1. De la définition de l'aléa à la gestion du risque d'inondation au Viêt-Nam 18

1.2. La gestion du risque d'inondation au Viêt-Nam 32

1.3. L'évaluation environnementale par la géomatique dans l'étude des risques naturels 46

Chapitre 2 - Le cadre géographique **52**

2.1. Le Centre-Viêt-Nam : développement des villes moyennes côtières 52

2.2. Les conditions hydroclimatiques au Viêt-Nam 67

2.3. Les environnements deltaïques au Viêt-Nam 73

Chapitre 3 - Le cadre méthodologique **93**

3.1. Méthodologie à moyenne échelle : caractérisation et évolution des sites étudiés 94

3.2. Méthodologie à grande échelle : modélisations urbaine et hydrogéomorphologique et enquêtes auprès des populations 111

3.3. Méthodes employées pour la recherche des facteurs hydroclimatiques 134

DEUXIEME PARTIE : LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET HUMAINES… **137**

Chapitre 4 - Caractérisation physique du lit fluvial **138**

4.1. Les conditions d'écoulement dans le bassin versant 138

4.2. Aménagements et contraintes du lit fluvial 172

Chapitre 5 - Développement de la ville de Quy Nhon **182**

5.1. Rythmes d'évolution de la ville 182

5.2. Planification et projets de développement 193

TROISIEME PARTIE : L'ETUDE DES VULNERABILITES 215

Chapitre 6 - Analyse de la vulnérabilité face au risque d'inondation **216**

6.1. Etude du passage du Typhon Mirinae 216

6.2. Etat des lieux actuel 231

Chapitre 7 - Essai de modélisation hydrologique dans le bassin du fleuve Ha Thanh **259**

7.1. Vers une modélisation du bassin du fleuve Ha Thanh 259

7.2. Résultats et limites des simulations 282

Chapitre 8 - Caractérisation de la vulnérabilité sociale dans le delta et interprétation des résultats **293**

8.1. Spatialisation de la vulnérabilité sociale de la plaine inondable 293

8.2. Applicabilités de la modélisation 3D en zone inondable 314

8.3. Interprétation des résultats 319

CONCLUSION GENERALE 330

BIBLIOGRAPHIE 337

TABLES DES ILLUSTRATIONS 367

TABLE DES MATIÈRES 380

ANNEXES 385

ACRONYMES

1D - Une dimension

2D - Deux dimensions

3D - Trois dimensions

ACEMAV - Association pour la Connaissance et l'Etude du Monde Animal et Végétal

ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

BEI SEE - Bureau d'Etudes Industrielles, Sciences de l'Eau et Environnement

CBCC - Capacity Building for Climate Change Projec

CCCO - Climate Change Coordination Office

CCTSMHE - Center of Consultancy & Technical Support of Meleorology, Hydrology and Environment

CEDETE - Centre d'Etudes pour le Développement des Territoires et l'Environnement

CGIAR - Consultative Group on International Agricultural Research

CGPM - Conférence Générale des Poids et Mesures

CITRS - Comité de lutte contre des Inondations-Tempêtes et des Recherches-Sauvetages

CPHCSC - Central Population and Housing Census Steering Committee

CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters

DAO - Dessin Assisté par Ordinateur

DGPS - Differential Global Positioning System

EM-DAT - Emergency Events Database

ESRI - Environmental Systems Research Institute

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

GDEM - Global Digital Elevation Model

GIEC - Groupement Intergouvernemental d'Experts sur le Climat

GPS - Global Positioning System

GRASS - Geographic Resources Analysis Support System

IDW - Inverse Distance Weighting

IEC - International Electrotechnical Commission

IFEN - Institut Français de l'Environnement

IPCC - Inter Governmental Panel on Climate Change

ISO - International Organization for Standardization

MAD - Ministère de l'Agriculture et du Développement rural

MASCARET - MultiAgent System for Collaborative, Adaptive & Realistic Environments for Training

MEDD - Ministere de l'Ecologie et du Developpement Durable

MNE - Modèle Numérique d'élévation

MNT - Modèle Numérique de Terrain

MRNE - Ministère des Ressources Naturelles et de l'Environnement

NASA - United States National Aeronautics and Space Administration

NEH - National Engineering Handbook

OFDA - Office of Foreign Disaster Assistance

OMP - Oxford Policy Management

ONU - Organisation des Nations Unies

PCFSC - Provincial Committee for Flood and Storm Control

PIB - Produit Intérieur Brut

PPASPAC - Projet de Plan d'Action et de Stratégie de Préparation et d'Atténuation pour les Catastrophes

PPRNi - Plan de Prévention des Risques Naturels d'Inondation

PRA - Participatory Rural Appraisal

PRIM - Prévention des Risques Majeurs

SIG - Système d'Information Géographique

SPOT - Satellite Pour l'Observation de la Terre

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

UNDP - The United Nations Development Programme

USACE - United States Army Corps of Engineers

USDA - United States Department of Agriculture

UTM - Universal Transverse Mercator

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

A. Contexte de recherche

A l'heure d'achever cette thèse, le 9 novembre 2013, le plus fort typhon jamais enregistré à ce jour, Haiyan, dévaste l'archipel des Philippines et oblige le Viêt-Nam à évacuer près de 600 000 personnes des régions littorales du Centre du pays. Si Les Philippines comptent les morts (bilan indéterminé au moment d'écrire) et connaissent une difficile gestion de crise, le Viêt-Nam a été relativement épargné du fait de l'affaiblissement du cyclone et du changement de trajectoire. Cet événement tragique nous rappelle que le risque cyclonique est récurrent sur la façade Pacifique de l'Asie du Sud-Est.

Au Viêt-Nam, les typhons se produisent généralement dans la zone extracôtière de la mer de Chine méridionale (Mer de l'Est pour les vietnamiens) et se déplacent vers le littoral vietnamien en passant par la mer des Philippines où ils génèrent de fortes pluies jusqu'à 1000 km à l'intérieur des terres et des vents forts jusqu'à 300 km/h. En s'approchant de la côte, ils provoquent surcôtes marines et fortes pluies. Ces phénomènes engendrent des crues à cinétique rapide des cours d'eau côtiers. De nombreuses provinces du Viêt-Nam sont régulièrement touchées par ces phénomènes naturels exposant de manière quasi récurrente les populations, dépendant majoritairement de l'agriculture, les plaçant dans une position de vulnérabilité. Pour le Centre du Viêt-Nam, le typhon le plus fort, Mirinae, a frappé, en novembre 2009, la région littorale du centre-sud du pays faisant 123 morts, 145 blessés et causant près de 5.796 milliards de dongs vietnamiens (214, 66 millions d'euros) de pertes économiques. Les 2 et 3 novembre 2009, le typhon a déversé 851 mm de précipitations dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Province de Binh Dinh). Il a provoqué l'inondation du siècle dans cette vallée. La configuration géographique particulière du Centre du Viêt-Nam explique que les typhons engendrent des crues rapides (Gruntfest et Handmer, 2001; Montz et Gruntfest, 2002) qui constituent un aléa au moins aussi dangereux que le typhon lui-même pour les populations des basses vallées alluviales. C'est dans ce contexte d'exposition aux inondations liées à l'aléa cyclonique au Centre du Viêt-Nam que la thèse est déployée.

L'exposition aux risques d'inondation est une condition inhérente aux plaines alluviales. Cependant, confrontés à la rareté des terres, des pays en développement rapide comme le Viêt-Nam n'hésitent pas à convertir des terres agricoles situées dans des plaines deltaïques hautement exposées aux aléas hydrologiques à des usages urbains. Cette urbanisation accroît la vulnérabilité et partant, les risques liés aux inondations en dépit des stratégies de résistance qui accompagnent le développement urbain. Cette thèse entend éclairer cette « trajectoire de

vulnérabilité » (Magnan, Duvat et Garnier, 2012) territoriale à partir de l'étude de cas approfondie du delta du fleuve Ha Thanh dans le centre du Viêt-Nam.

Cette étude de cas approfondie peut être classée dans le domaine de la "géographie active" au sens que Pierre George donnait à cette expression (1964), c'est à dire une recherche appliquée à vocation gestionnaire, même s'il ne s'agit jusqu'à présent que d'un travail purement académique qui a été réalisé en autosaisine sans commande, ni cahier des charges de la part des autorités. Nous souhaitons que l'issue de ce travail pose les bases d'un programme de recherche structuré, interdisciplinaire et international.

Nous entendons combler un besoin de connaissances utiles à une meilleure gestion des risques par une évaluation environnementale (Leduc et Raymond, 2000 ; André *et al.*, 2009) qui met en œuvre les outils de la géomatique au service d'une recherche géographique thématique. Un des intérêts de cette étude est, à notre avis, d'améliorer la connaissance de l'aléa inondation par une étude d'hydrogéomorphologie en combinaison avec une évaluation intégrée des risques d'inondation qui met l'accent sur le développement de la vulnérabilité sociale aux aléas hydrologiques inhérents au delta. Nous espérons ainsi réaliser une véritable étude de cas en cyndiniques, sciences du danger (Kervern et Boulenger 2007).

1. Les plaines côtières du centre du Viêt-Nam : des systèmes fluviaux mal connus

Au Viêt-Nam, près de la moitié de la population se concentre dans les vastes deltas du Nord et du Sud, respectivement ceux du Fleuve Rouge et du Mékong avec une densité moyenne de 600 hab./km² en zone rurale (De Koninck, 2005). Entre ces deux plaines deltaïques, éloignées de 1500 km environ, le pays présente une Cordillère annamitique étroite et caractérisée par de petits bassins versants inclinés vers la Mer de Chine méridionale. La Rivière des Parfums (Song Huong), dans la province de Thua Thien Hué a été particulièrement étudiée et a fait l'objet de nombreuses études internationales (Villegas, 2004; Valeriano, Koike, Yang, Nyunt, Duong et Nguyen, 2009; Tran et Tran, 2010; Le, Tran, Hoang et Huynh, 2010; Luong, 2012). Le fleuve Ha Thanh, dans la province de Binh Dinh, est également un cours d'eau du centre du Viêt-Nam présentant des caractéristiques physiques et humaines similaires à celles de la Rivière des Parfums :

- un linéaire court entre les hauts bassins et la plaine deltaïque : 50 km en moyenne;

- une plaine deltaïque alimente une lagune ; lagune de Thinai pour le fleuve Ha Thanh, lagune de Tamgiang pour la Rivière des Parfums;

- un contexte hydroclimatique ; régime tropical de mousson avec une saison des pluies centrée sur juillet et une période cyclonique en octobre-novembre;

- une plaine deltaïque aménagée pour la riziculture et la pisciculture;
- une politique d'endiguement accentuée ces 20 dernières années.

Si les deltas des grands fleuves vietnamiens ont fait l'objet de nombreuses études scientifiques sur leur mode de formation et leur hydrodynamique (Verger, 1991; Meade, 1996; Gupta, 1996; Bethemont, 2003; Gilard, 2006), l'étude des hydrosystèmes fluviaux du Centre du Viêt-Nam a été en revanche relativement négligée. Le fonctionnement de l'hydrosystème du fleuve Ha Thanh est très mal connu alors que des évènements hydrologiques ont fortement marqué les populations de la province de Binh Dinh et de la ville de Quy Nhon. Tout comme Hué qui a connu une crue centennale de la Song Huong en novembre 1999 (Tran *et al.*, 2010), Quy Nhon a subi l'inondation des quartiers installés le long du fleuve Ha Thanh en novembre 2009. Ces deux évènements ont eu pour origine une tempête tropicale et ont engendré des conséquences majeures sur l'économie et la vie des provinces touchées (près de 800 morts dans le bassin de la Rivière des Parfums).

Ce sont les enjeux de protection contre les crues qui ont incité des programmes internationaux à travailler sur la modélisation des bassins hydrologiques vietnamiens (Silver, 1999). Suite à la crue historique de 1999, la Rivière des Parfums et ses affluents ont fait l'objet de plusieurs programmes voués à la modélisation des précipitations et des écoulements (Villegas, 2004; Oliver *et al.*, 2009). Ils ont l'avantage d'offrir des clés de compréhension sur les vitesses d'écoulement entre les hauts bassins et la plaine d'inondation du delta et d'aider les institutions à mieux organiser leur gestion du risque d'inondation (Pilarczyk et Nguyen, 2005). Ces modélisations offrent des niveaux de précisions inégaux et difficilement vérifiables sur le terrain. Or, on ne connaît pas la morphologie exacte des lits fluviaux alors que ce niveau de connaissance est essentiel pour mettre en œuvre une modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'une plaine d'inondation (Cosandey *et al.*, 2005). L'essai de modélisation numérique du bassin versant du fleuve Ha Thanh reste expérimental et complémentaire à notre étude global car il aurait fallu consacrer les trois années uniquement aux tâches liées à la modélisation. Le travail doctoral a donc comme autre objectif d'améliorer les connaissances sur un hydrosystème représentatif des fleuves côtiers du centre du Viêt-Nam. Nous proposons de caractériser le cadre actuel des écoulements en dressant la morphologie précise du système fluvial et de sa plaine inondable. Cette caractérisation doit permettre de disposer des paramètres physiques préalables à une modélisation plus approfondie du système.

2. Les deltas : des milieux humanisés très vulnérables aux changements environnementaux.

L'autre aspect de la recherche doctorale réside dans l'hypothèse que la vulnérabilité des populations vis à vis des risques hydrologiques provient d'abord de la vulnérabilité du milieu

où elles vivent et travaillent : la vulnérabilité de leur plaine d'inondation. Cette vulnérabilité des sociétés humaines est d'autant plus forte que ces milieux alluviaux sont sensibles aux changements d'ordres anthropique (endiguement, barrage, urbanisation) et naturel (changement climatique global, phénomènes climatiques extrêmes). Les études sur la vulnérabilité des infrastructures urbaines et les populations des deltas ont fait l'objet d'études approfondies au Viêt-Nam (Mottet et Roche, 2008).

Au Viêt-Nam, depuis la libéralisation économique de la fin des années 1980, la croissance urbaine est soutenue (Le, 2000). Les deltas sont particulièrement touchés par l'étalement urbain puisqu'ils constituent un potentiel foncier disponible très important et offrent une interface fluvio-océanique de développement économique. Les projets d'aménagements vietnamiens se réalisent préférentiellement dans les deltas. Or, les plaines deltaïques sont des écosystèmes et des agrosystèmes très fragiles et sensibles aux perturbations (Hoang *et al.*, 2007). A l'échelle mondiale, les deltas sont les zones habitées les plus directement affectées par les changements climatiques. Ce sont les premières zones d'enregistrement de l'augmentation du niveau marin qui découle des changements globaux (Coleman et Huh, 2004; GIEC, 2007; Young *et al.*, 2013). Selon le rapport du Ministère des Ressources Naturelles et de l'Environnement du Viêt-Nam (Ministry of Natural Resources and Environment, 2009), le centre du Viêt-Nam pourrait connaître, en 2100, une élévation moyenne du niveau de la mer d'un mètre et une augmentation des températures de près de 3°C (avec l'augmentation générale du nombre de jours > 35°C; augmentation de la fréquence et de l'intensité des précipitations; augmentation de la saison sèche). Les plaines littorales sont vulnérables à ces grands changements environnementaux (Netherlands Climate Assistance Programme, 2005; Tran, 2006). La faible distance entre leurs hauts bassins et leurs deltas engendre des écoulements à cinétiques rapides et contribue à aggraver les conséquences des inondations. Il est donc essentiel de comprendre comment fonctionnent exactement ces hydrosystèmes fluviaux afin de mieux anticiper les changements environnementaux à venir.

Les actions anthropiques entraînent également des changements pour le fonctionnement des hydrosystèmes fluviaux et aggravent la fragilité de leur plaine d'inondation. L'endiguement et les barrages représentent des obstacles aux continuités hydrologiques, sédimentaires et écologiques (Petts et Gurnell, 2005). L'urbanisation contribue à la diminution des zones humides et à l'érosion de la biodiversité. Les deltas du Viêt-Nam sont pourtant très riches en biodiversité (258 espèces de poissons, 396 espèces d'oiseaux). L'évaluation de la vulnérabilité de ces lits fluviaux se réalise en identifiant les impacts actuels des activités humaines.

Sur ces territoires de l'eau, les risques hydrologiques forment des enjeux majeurs que ce travail scientifique propose de mieux évaluer. Pour mieux caractériser ces enjeux, il convient

de comprendre comment fonctionnent actuellement ces hydrosystèmes, quel est leur niveau de vulnérabilité face aux actions anthropiques prégnantes ? Il paraît donc nécessaire de connaître et comprendre les caractéristiques physiques et humaines du delta du fleuve Ha Thanh pour mieux appréhender les risques associés.

3. De la définition de l'aléa à la gestion du risque hydrologique

L'étude des risques naturels ou cyndiniques se situe à l'intersection des sciences sociales et des géosciences. Dans ce champ de recherche, la vulnérabilité est un concept clé. Le concept de vulnérabilité est central dans l'étude des risques naturels (Adger 2006). Birkmann a relevé 25 définitions de la vulnérabilité dans la littérature anglophone (Birkmann, 2006). Un effort de synthèse a été réalisé dans le cadre de la Conférence mondiale sur la prévention des catastrophes, qui s'est tenue du 18 au 22 janvier 2005 à Kobe (Hyogo, Japon). Le Cadre d'Action de Hyogo définit la vulnérabilité comme les « conditions déterminées par des facteurs ou processus physiques, sociaux, économiques ou environnementaux qui accentuent la sensibilité d'une collectivité aux conséquences des aléas » (Nations Unies, 2005, p.1). Nous préférons toutefois retenir une définition plus explicite de la vulnérabilité comme « une propension à l'endommagement ou au dysfonctionnement de différents éléments exposés (biens, personnes, activités, fonctions, systèmes) constitutifs d'un territoire et d'une société donnés » (Leone et Vinet, 2006). Comme le souligne Adger, « la vulnérabilité résulte de l'action humaine, qu'elle soit délibérée ou non » (2006, p. 270). Les travaux géographiques sur les risques naturels distinguent l'exposition et la sensibilité au risque (Burton *et al.,* 1993 ; Pigeon *et al.,* 1999 ; Becerra et Peltier, 2009). L'exposition au risque naturel est inhérente à de nombreux territoires (Tiberghien, 2008). Pour autant, les hommes ne se privent pas d'occuper et de mettre en valeur ces territoires soumis à des aléas naturels récurrents. Il en va ainsi en particulier du lit majeur des cours d'eau et des deltas fluviaux dont le volume d'eau écoulé est naturellement susceptible de fluctuer considérablement. Ces aléas sont contrebalancés par l'utilité quotidienne de ce territoire, ses riches terres agricoles, ses ressources aquacoles, ses ressources naturelles comme les granulats pour la construction, ou simplement la disponibilité de terrains plats et faciles à bâtir. C'est pourquoi les sociétés humaines n'ont jamais hésité à prendre le risque d'investir, de mettre en valeur et d'habiter le lit majeur des cours d'eaux, en particulier dans un contexte de haute densité humaine comme c'est le cas au Viêt-Nam. Dans ces territoires, la vulnérabilité est donc avant tout un construit social, une affaire de modalités d'occupation du sol et d'aménagement, donc un problème de sensibilité. Notre propos est de montrer que la construction sociale du risque comporte une dimension structurelle et une dimension sociale. Notre thèse entend reconstituer la «

trajectoire de vulnérabilité » du delta du fleuve Ha Thanh, situé à proximité de la ville de Quy-Nhon dans la province de Binhdinh. Le concept de « trajectoire de vulnérabilité », qui a le mérite de mettre en avant la dynamique de l'occupation du sol, est emprunté à Magnan et al. (2012) afin de démontrer la construction structurelle de la sensibilité à l'aléa inondation. Notre enquête nous permet ensuite de rendre compte de certaines dimensions qualitiatives et sociales de la vulnérabilité, en mettant en évidence la perception, et de la mémoire du risque, mais aussi les défaillances de la protection civile et des enjeux sociaux associés à l'urbanisation actuelle du delta.

L'aléa hydrologique est inhérent à la plaine deltaïque. Confrontés à la permanence des risques inhérents, les hommes ont trois options, le retrait, la résistance ou l'adaptation. Le retrait ne s'impose que lorsque le risque atteint une dangerosité irréversible qui détruit les potentialités d'usage du territoire exposé. Bien qu'il soit invariablement envisagé dans les travaux académiques, le retrait planifié des territoires exposés est en pratique exceptionnel, et suscite des résistances multiformes (Le Louarn, 2012). La société plébiscite au contraire les stratégies de résistance, les aménagements défensifs tels que les endiguements qui permettent l'utilisation humaine du territoire exposé dans la plupart des situations (Burton *et al.,* 1993 ; Cutter, 1996). Dans le cas d'espèce, le risque n'est pas suffisant pour envisager sérieusement un retrait du delta du fleuve Ha Thanh, région où la pression de la densité humaine est considérable, on le verra. Pour sa part, l'adaptation des usages du sol à l'aléa inondation constitue une troisième option qui est rarement mise en œuvre.

La force de persuasion du discours d'ingénieurs justifie la prédominance des stratégies de résistance, qui se nourrissent du mythe rationaliste de la maîtrise des risques. La pression économique sur les sols est assez irrésistible, surtout sur le territoire de pays en pleine expansion économique et démographique où la ressource foncière est rare comme le Viêt-Nam. Le paradoxe des stratégies de résistance aux aléas hydrologiques naturels, c'est qu'elles se traduisent invariablement par une multiplication des enjeux situés en zone inondable, et partant par des risques naturels de plus en plus graves (Burby, 2006). C'est ainsi par exemple qu'une urbanisation inadaptée des marais deltaïques de la Nouvelle Orléans est considérée comme la cause principale de la gravité des dégâts occasionnés par les inondations consécutives à la rupture des digues au passage du cyclone Katrina en 2005 (Maret et Cadoul, 2008 ; Maret et Goeury, 2008). D'une ampleur exceptionnelle, le cas de l'expansion urbaine de La Nouvelle Orléans dans les marais deltaïques a été utilisé pour proposer le concept d'urbanisation inadaptée (*maladaptive urban development*) comme le parangon de l'inverse de l'injonction d'adaptation (Zaninetti et Colten, 2012, Zaninetti 2013a, Zaninetti 2013b). Il

s'agit de mettre en exergue les expansions inverses de l'anthroposystème territorial et de l'hydrosystème environnant. Ce type de dynamiques contraires est rendu possible par les stratégies de résistance à l'aléa inondation. Le modèle *pressure and release* élaboré par Blaikie *et al.* (1994) s'efforce de décrire ces dynamiques contradictoires entre hydrosystème naturel et occupation du sol. Lorsqu'elle privilégie l'étude du potentiel d'endommagement (D'Ercole, 1994 ; Veyret et Reghezza, 2005 et 2006 ; Reghezza, 2006 ; Reghezza, 2009), l'école française de cyndiniques met à notre avis l'accent sur cette construction structurelle de la vulnérabilité. Notre thèse entend illustrer la validité de cette théorie au travers de l'évaluation environnementale du risque d'inondation du delta du fleuve Ha Thanh.

4. L'évaluation environnementale

La thèse espère contribuer au développement du Viêt-Nam en général et de la ville de Quy-Nhon en particulier en améliorant la connaissance des facteurs explicatifs et des processus associés aux risques d'inondation, passés, présents et futurs dans le delta du fleuve Ha Thanh. Pour cela, nous réalisons une évaluation environnementale qui considère les différentes catégories explicatives : facteurs physiques (géologie, hydroclimatique, topographie, hydromorphologie) et facteurs humains (activité d'humain, extraction des ressources naturelles, développement économique et urbain) sont analysés de manière intégrée pour évaluer et spatialiser les risques d'inondation dans la plaine deltaïque en vue d'améliorer les dispositifs de prévention et la protection civile en situation de gestion de crise. Pour ce faire, nous nous appuyons sur les outils de la géomatique pour réaliser l'évaluation environnementale intégrée des données physiques et humaines géoréférencées sur ce territoire qui sont en relation avec le risque d'inondation (Laurini et Thompson, 1992 ; Laurini et Milleret-Raffort, 1993 ; Paegelow, 2004 ; Hy Dao, 2002). En somme, cette thèse est une contribution à l'amélioration des connaissances d'un territoire deltaïque exposé aux risques hydrologiques à l'aide de l'évaluation environnementale et des outils géomatiques. On étudie le cas du fleuve Ha Thanh, dans la province de Binh Dinh, cours d'eau mal connu du centre du Viêt-Nam.

Cette thèse a enfin pour ambition de ne pas se limiter à un état des lieux, mais d'évaluer les dynamiques territoriales à l'œuvre pour une évaluation prospective du risque. Pour cela nous étudions les changements environnementaux : modifications hydroclimatiques et montée du niveau de la mer en y intégrant aussi les changements environnementaux d'origine anthropique comme les menaces sur le fonctionnement hydrodynamique du delta, le déséquilibre écosystémique et agrosystémique du delta par les projets de développement urbain qui sont des facteurs d'aggravation de la vulnérabilité des populations vis à vis du risque d'inondation.

L'évaluation environnementale de la vulnérabilité des plaines d'inondation fait intervenir la conjonction de nombreux facteurs environnementaux, à la fois naturels, sociologiques et économiques. « L'environnement, c'est ce qui entoure l'homme, les sociétés humaines, de l'environnement local d'un individu ou d'un groupe d'individus à l'environnement planétaire, celui de l'ensemble des sociétés humaines » (Lévêque *et al.,* 2000). Une approche pluridisciplinaire est donc requise pour construire ce projet scientifique. La question des interactions entre les sociétés humaines et la dynamique hydrologique sera abordée à travers le prisme de l'analyse des impacts immédiats et différés des usages et des aménagements de la plaine deltaïque, de l'échelle de la forme fluviale élémentaire (ou mésoforme) à celle du secteur fonctionnel (Amoros et Petts, 1993). L'originalité du travail repose notamment sur l'exportation d'un savoir faire géographique expérimenté sur le Mississippi (Etats-Unis) (Zaninetti, 2009 ; Zaninetti, 2011; Zaninetti et Colten, 2012; Zaninetti, 2013a; Zaninetti, 2013b) et sur la Loire (France) (Grivel et et Gautier, 2007 ; Gautier *et al.*, 2009; Grivel *et al.*, 2011; Grivel et Gautier, 2012) et adapté aux spécificités d'un nouveau terrain tropical.

En somme, il s'agit d'évaluer l'augmentation de la vulnérabilité dans une plaine d'inondation endiguée et habitée, lieu de l'étalement urbain et des politiques d'aménagement du territoire (Thomas, 2008). Les sociétés qui les bordent ont-elles intégré les changements environnementaux et peuvent-elles s'adapter aux risques hydrologiques qui les menacent ? (D'Ercole, 1994 ; Le et Vo, 1994; Beckman, 2006). Enfin, on tentera de déterminer les premières clés de compréhension du fonctionnement actuel de l'anthroposystème fluvial et de mettre en place des méthodes de suivi et d'évaluation environnementale susceptibles d'aider les gestionnaires et les acteurs de cet hydrosystème.

Au-delà des contraintes logistiques de la protection civile, la gestion des risques requiert en premier lieu de disposer d'une évaluation juste des risques existants, leur spatialisation autant que leur probabilité d'occurrence (Leone, Meschinet de Richemont et Vinet, 2010). Les attendus opérationnels de ce travail reposent sur les méthodes d'acquisition et de représentation des données environnementales permettant (i) de déterminer les caractéristiques humaines et physique du bassin versant du fleuve Ha Thanh (ii) de mieux appréhender le risque d'inondation dans le delta (iii) de développer un SIG en tant qu'outil d'observation régionale.

Pour mettre en oeuvre une évaluation environnementale du bassin du fleuve Ha Thanh nous devons disposer d'un maximum de données humaines et physiques. Notre travail fonctionne donc sur des méthodes d'acquisition en géographie environnementale, en hydrogéomatique (Kondolf et Piegay, 2003) et en cyndinique (Wisner *et al.*, 2004). Pour analyser le risque d'inondation, nous mettons en place un travail d'enquêtes auprès des

populations du delta sur leur perception de leur territoire fluvial et leur expérience d'un événement hydrologique comme la crue de novembre 2009 (mesures des hauteurs de crue dans les maisons, évaluation de l'intensité des courants, gestion de l'évènement). L'étude du bassin versant et de la plaine deltaïque est réalisée par les méthodes de l'hydromorphologie fluviale (Nanson et Croke, 1992; Knighton, 1998; Gautier *et al.*, 2009) : exploitation de Modèles Numériques de Terrain, création de profils en travers, caractérisation et cartographie des lits fluviaux (géométrie, formes fluviales) à l'aide d'un Système d'Information Géographique, occupation du sol par télédétection.

B. Organisation générale de la thèse

Cette thèse est composée de trois parties.

- La première partie concerne les cadres de l'étude. Le cadre conceptuel positionne les tâches entreprises dans ce manuscrit par rapport au contexte scientifique, de la définition de l'aléa à la gestion du risque d'inondation (Chapitre 1). Le cadre géographique présente les différents niveaux d'échelles spatiales étudiés (Chapitre 2). Le cadre méthodologique développe les moyens et les outils mis en œuvre pour répondre aux différents questionnements scientifiques et déployer l'évaluation environnementale (Chapitre 3).
- La deuxième partie est une étude de géographie régionale thématique qui repose sur les caractérisations physiques et humaines. En effet, l'amélioration des connaissances du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh passe par une compréhension du cadre des écoulements, du bassin versant à l'échelle du corridor fluvial (Chapitre 4). Il s'agit également d'intégrer les dynamiques humaines qui ont lieu ou se développent principalement dans le delta (Chapitre 5).
- La troisième partie présente les principaux résultats appliqués de la thèse en se focalisant sur l'étude des vulnérabilités physiques et humaines face au risque d'inondation. Au centre de cette approche, l'étude de la crue de référence, en novembre 2009, à travers le prisme des populations ayant vécu l'évènement constitue une entrée originale (Chapitre 6). Les résultats de l'analyse des facteurs humains et physiques peuvent être confrontés à un essai de modélisation hydrologique (Chapitre 7). Enfin, l'interprétation des résultats majeurs permet (i) d'apporter de nouvelles clés de compréhension du territoire exposé aux risques hydrologiques liés aux évènements climatiques extrêmes et (ii) proposer des modes de gestion adaptés (Chapitre 8).

PREMIERE PARTIE

LES CADRES DE L'ETUDE

Chapitre 1 - Le cadre théorique

1.1. De la définition de l'aléa à la gestion du risque d'inondation au Viêt-Nam

1.2. La gestion des risques d'inondation au Viêt-Nam

1.3. L'évaluation environnementale par la géomatique dans l'étude des risques naturels

Chapitre 2 - Le cadre géographique

2.1. Le Centre-Viêt-Nam : développement des villes moyennes côtières

2.2. Les conditions hydroclimatiques au Viêt-Nam

2.3. Les environnements deltaïques au Viêt-Nam

Chapitre 3 - Le cadre méthodologique

3.1. Méthodologie à moyenne échelle : caractérisation et évolution des sites étudiés

3.2. Méthodologie à grande échelle : modélisations urbaine et hydrogéomorphologique et enquêtes auprès des populations

3.3. Méthodes employées pour la recherche des facteurs hydroclimatiques

Chapitre 1 - Le cadre théorique

Ce chapitre explique et présente certaines généralités et la définition que l'on retient des concepts fondamentaux liés aux cindyniques, ou sciences des risques, et des outils qui permettent de mieux comprendre le risque d'inondation dans les plaines alluviales.

L'usage de la géomatique est devenu d'un emploi courant dans l'évaluation environnementale du risque d'inondation. Notre thèse entend utiliser cet outil pour combler les lacunes de connaissance concernant le delta du fleuve Ha Thanh dans le centre-sud du Viêt-Nam.

1.1. De la définition de l'aléa à la gestion du risque d'inondation au Viêt-Nam

1.1.1. Le risque d'inondation et ses effets

Définition et genèse du phénomène d'inondation

La prévention des risques naturels requiert en premier lieu d'avoir une connaissance précise de l'aléa naturel auquel le territoire est exposé. L'aléa est dit naturel quand un phénomène naturel (cyclone, tempête, inondation, glissement de terrain) constitue un facteur de danger pour les sociétés humaines. Le débit moyen d'un cours d'eau forme son module, c'est à dire son état le plus fréquent. La variabilité est la règle, et selon la succession des situations météorologiques sur le bassin versant, le débit du fleuve peut varier à la hausse ou à la baisse autour de ce module. Toutefois, les extremums de la distribution sont nettement moins fréquents que les situations normales. L'aléa hydrologique se caractérise donc soit par des situations d'étiage exceptionnelles, soit par des situations de crues exceptionnellement abondantes. La morphologie de la vallée alluviale explique que ces crues provoquent des inondations. Les inondations, « qui menacent une partie de plus en plus importante de la population de notre planète, tout particulièrement les plus pauvres, les plus vulnérables » (Garnier *et al.,* 2011, p.4), sont l'aléa naturel le plus fréquent, en particulier au Viêt-Nam. Les humains vivent dans le monde avec ces aléas naturels qui sembleraient de plus en plus fréquents et intenses. En effet, ces dernières années, les inondations restent le premier phénomène à risque d'origine naturelle à travers le monde (Berz, 2000 ; Luong, 2012). Selon le rapport de CRED [(4)] (*the Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*), on recense une moyenne de 37 inondations catastrophiques par an à travers le monde entre 1900-2013. Chaque année, les inondations affectent en moyenne près de 31 millions de sinistrés et

[4] Base de données consultable sur la toile http://www.emdat.be/

causent en moyenne plus de 60 000 décès. La plupart des sinistrés et des victimes résidaient en Asie. C'est donc le type de catastrophe naturelle le plus fréquent (Fig. 1.1). Ceci dit, cette typologie est assez artificielle, car plusieurs facteurs de risque peuvent se combiner. Ainsi, le passage d'un typhon (tempête tropicale), peut occasionner à la fois des risques liés au vent, des risques de submersion marine, des inondations fluviatiles et des glissements de terrain.

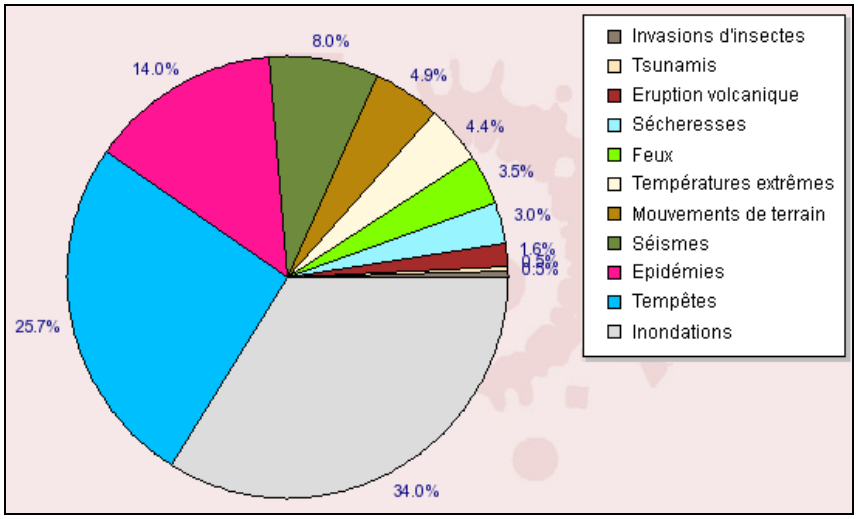


Figure 1.1. Type de catastrophes survenues dans le monde de 1990 à 2007 en nombre de sinistrés (Source : EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels - Belgium, 06/2007)

Les inondations peuvent être l'un des facteurs limitant le développement des capacités de la société humaine, en particulier dans les pays pauvres et en développement où la capacité d'alerte et l'expérience de gestion du risque sont encore limitées. De plus, la pression économique et démographique ainsi qu'une surexploitation inappropriée des ressources naturelles et le changement climatique peuvent aggraver l'amplitude et la fréquence des inondations.

Qu'est ce qu'une inondation ? Pourquoi est-ce un facteur de risque naturel ?

L'**inondation** fluviatile est un phénomène naturel correspondant « au débordement des eaux hors du lit mineur à la suite d'une crue » (MEDD, 2004b) dans le lit majeur du cours d'eau ; le niveau d'eau et le débit d'écoulement du cours d'eau dépassant la normale. C'est « un phénomène de submersion temporaire, naturelle ou artificielle, d'un espace terrestre » (Scarwell et Laganier, 2004, p.21).

La **crue** est une « montée, en générale brève, du niveau d'un cours d'eau jusqu'à un maximum dont il redescend en général plus lentement » (Source : http://webworld.unesco.org, consulté le 7 octobre 2013).

Les inondations ont des causes multiples. Parmi les principales causes de l'inondation, on relève surtout de fortes pluies liées aux aléas météorologiques. Il s'agit surtout au Viêt-Nam des précipitations exacerbées qui accompagnent le passage des tempêtes tropicales et typhons, ajoutées de surcôtes de marée. A ces causes naturelles s'ajoutent des facteurs d'origine anthropique. On observe des causes humaines directes (rupture d'ouvrages ou d'embâcles) et des causes humaines indirectes liées aux réserves d'eau (de surface ou souterraine) ou aux modifications climatiques globales (la montée du niveau de la mer par exemple)-(Dumas, 1857 ; Tison, 1939 ; Texier, 2007).

Il existe différents **types d'inondation** :

- une inondation à montée rapide (à cinétique rapide) est dite éclair. On emploie cette expression pour décrire une montée rapide du débit d'un cours d'eau dans un temps très court et de la forte pente des versants. L'eau ruisselle rapidement en surface et se concentre dans la rivière, provoquant des crues brutales et violentes. La rivière en crue peut transporter de grandes quantités de sédiments et de bois mort (MEDD, 2004b). Cela se produit généralement dans les bassins de petits cours d'eau essentiellement en montagne.

Au Viêt-Nam, ce type d'inondation se produit généralement dans des zones à forte pente pour des rivières relativement courtes. Ce type d'événement se produit fréquemment entre juin à juillet au Nord du Viêt-Nam et sur les Haux Plateaux, ainsi que de septembre à novembre au Centre du pays (Source : Centre Météohydrologie du Viêt-Nam [(5)]).

- une inondation de plaine se produit lorsque, dans les basses terres alluviales, le cours d'eau sort de son lit mineur et inonde son lit majeur. Les terrains bas sont occupés par cette inondation (Ledoux 2000 ; MEDD, 2004b). Au Viêt-Nam, ce type d'inondation concerne pratiquement chaque d'année le delta du Fleuve Rouge au Nord, les plaines deltaïques au Centre et le delta Mékong.

- une inondation côtière : la submersion marine peut être causée par des ondes de tempête combinée à la marée. Il s'agit d'un type d'inondation particulièrement dangereux du fait des volumes d'eau déplacés, susceptibles de provoquer rupture ou submersion de digues. La submersion marine favorise l'inondation de plaine, car le gonflement anormal du niveau marin réduit la pente d'écoulement des eaux fluviales qui s'écoulent alors plus lentement vers la mer et stagnent dans la plaine inondable. Ceci aggrave l'inondation. Ce type d'inondation se produit en zone côtière. On peut citer comme exemple survenu au Centre du Viêt-Nam le cas de la ville de Da Nang qui a été inondée de la sorte lors du passage du typhon Xangsane en 2006.

[5] http://www.nchmf.gov.vn

Encore une fois, ces trois types d'inondations ne sont pas nécessairement disjoints. Le delta du fleuve Ha Thanh où notre étude se place est susceptible de connaître les trois phénomènes à la fois à l'occasion d'un typhon (Fig. 1.2).

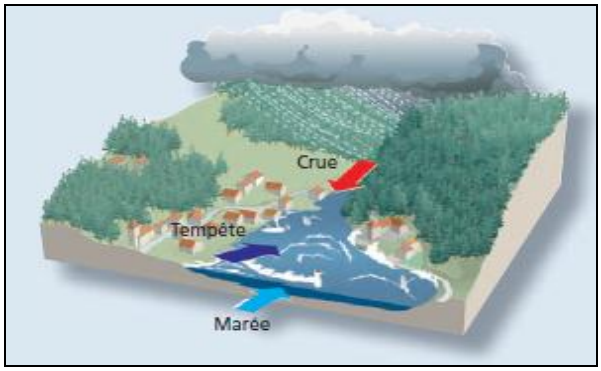


Figure 1.2. Exemple d'inondation dans la plaine deltaïque (Source : MEDD, 2004a, p.6)

De manière générale, le Viêt-Nam est exposé à ces trois types d'inondation (Fig. 1.3) :

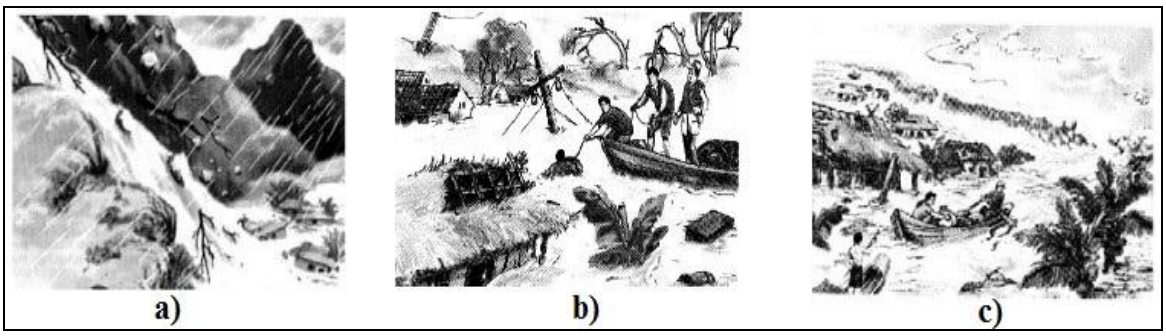


Figure 1.3. Trois types d'inondation au Viêt-Nam (Source : Project de CARE/ DIPECHO, 2008, p.14)
a) Inondation rapide, b) Inondation de plaine, c) submersion

De l'aléa au risque : l'aléa inondation est inhérent aux lits majeurs fluviaux (Tiberghien, 2008). Cet aléa devient un risque dans la mesure où les sociétés humaines exploitent et habitent ces plaines inondables. En effet, la notion même de risque implique un choix, à la différence d'un danger que l'on ne maîtrise pas tel que, disons, la probabilité qu'une grosse météorite percute la terre (Luhmann, 1993). Les plaines inondables sont inondables par définition, mais les sociétés tirent des bénéfices multiples à leur mise en valeur et à leur occupation, qui compensent le plus souvent l'exposition à l'aléa inondation. Ceci est particulièrement vrai en Asie, comme par exemple au Viêt-Nam. Le potentiel d'endommagement des inondations va des atteintes aux personnes (blessées, tuées, disparues) aux pertes économiques affectant les activités et les bâtiments situés en zone inondable.

À l'échelle mondiale, de 1900 à octobre 2013, pas moins de 4178 inondations ont été recensées, soit en moyenne 37 événements par an (Tab. 1.1). Les dommages liés aux inondations sont en augmentation. Selon Pilon *et al.* (2002), entre 1981 et 1990, 147 millions de personnes ont été affectées. Et ce nombre a augmenté en passant à 211 millions, soit 30 % de personnes de 1991 à 2000 par les inondations. Cet accroissement important ne signifie pour autant pas nécessairement que l'aléa est beaucoup plus fréquent. Rapporté à la population moyenne des années 1980 [(6)], le nombre de sinistrés mentionné par Pilon *et al.* représente 3,07 % de la population mondiale. La proportion s'élève à 3,67 % pour les années 1990.

L'estimation du CRED de 3528 millions de personnes sinistrées en un peu plus d'un siècle, dont environ 7 millions de morts et près de 446,2 milliard d'euros de pertes économiques peut sembler considérable, mais doit être rapporté à la longue durée considérée. Les inondations sont des désastres peu meurtriers, la probabilité de décès serait de 0,2 % selon la base de données du CRED. Par contre il faut noter que 95 % des personnes sinistrées recensées dans cette base, nécessairement incomplète dans les pays les moins avancés, particulièrement en Afrique, et 98 % des victimes ont été recensées sur le continent asiatique. Par contre l'Asie, encore relativement pauvre sur l'ensemble de la période, ne concentre que 61 % des pertes économiques estimées, ce qui est légèrement supérieur à son poids démographique estimé d'un peu moins de 59 % de la population mondiale sur la période 1950-2010 (source ONU) (272.1 milliards d'euros pour l'Asie, on peut s'interroger cependant sur la méthodologie et la validité de comparaisons sur la très longue durée dans le monde entier) (Tab. 1.1).

Tableau 1.1. Des inondations classées par continent de 1900 à 2013

Continent	**Evénement (nombre)**	**Mort (personne)**	**Personne affectée (en million)**	**Perte économique (milliard d'euros)**
Afrique	836	25324	66	5,5
Amériques	973	104740	87	74,7
Asie	*1720*	*6799339*	*3361*	*272,1*
Europe	520	9078	14	83,1
Océanie	129	508	1	10,8
Total	**4178**	**6938989**	**3528**	**446,2**

(Source: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database : www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels - Belgium)

L'Asie a connu en effet de grandes inondations dans des régions très densément peuplées. On peut citer quelque grande inondation dans le monde comme par exemple la grande

[6]Selon les estimations des Nations Unies, disponibles sur le site http://www.un.org/en/development/desa/population/

inondation de la plaine du Yangtse en Chine en 1998, sinistrant environ 14 millions de personnes et causant près de 15 milliards d'euros de dommages. L'inondation a été causée par des précipitations inhabituellement fortes (670 mm) (Yin et Mi, 2001).

On peut citer le discours de Pulnima Ghosh Mahishura Gram Panchayat, région de Nadia, à l'ouest du Bengale, Inde en 2007 pour illustrer la gravité des dommages liés aux inondations.

« On n'avait jamais vu de telles inondations auparavant. Beaucoup de maisons ont été détruites, beaucoup de gens sont morts, nos terres agricoles sont submergées, les récoltes entreposées dans les maisons sont perdues. On a perdu beaucoup de bétail aussi. Nous n'étions tout simplement pas préparés pour faire face à de telles inondations. Nous n'avions donc pas d'économies d'argent ou de nourriture. » (Source : FIMARC [7], 2009).

En ce qui concerne le Viêt-Nam, le pays est doté d'un réseau hydrographique estimé de 2 360 fleuves et rivières, avec une longueur totale d'environ 41 900 km de cours d'eau, 112 estuaires et ainsi que 3 350 km de frontière maritime (Source : http://petrovietnamgas.vn, consulté le 6 octobre 2013 ; Atlas du Viêt-Nam, 2010). Environ 70 % de la population du Viêt-Nam réside dans une zone exposée à tel ou tel risque naturel, en particulier dans les zones rurales où les agriculteurs sont menacés (Source : The World Bank [8]).

Les inondations et les tempêtes arrivent au premier rang des catastrophes naturelles qui frappent périodiquement le pays (Tab. 1.2). Ce sont les aléas naturels plus fréquents au Centre, dans la plaine deltaïque du Nord et ainsi que dans le bassin du Mékong au Sud du pays. Les inondations entraînent d'énormes pertes en vies humaines, sur le plan économique et sur l'environnement (Ujjie, 2001).

Tableau 1.2. Typologie de phénomènes naturels par région du Viêt-Nam

	Région							
Catastrophes	Sud-Nord	Plaine du Nord	Centre-Nord	Centre-Sud	Plateaux	Sud-Est	Bassin du Mékong	Nation entière
Tempêtes								
Inondations de plaine								
Inondations rapides								
Tempêtes tropicale								
Sécheresses								
Intrusion d'eau salée								
Glissements de terrain								
Inondation côtière								
Incendies								

Légende
- Très grave
- Grave
- Moyenne
- Faible
- Non

(Source: DMU, 2002, Ngo, 2013 d'après Luong, 2012)

Selon le CRED, les dégâts causés par les inondations représentent 41 % du coût total des dommages imputables aux risques naturels au Viêt-Nam, soit 2,75 milliards d'euros depuis 1900 (Tab. 1.3). Notons, comme on le verra dans l'étude de cas du delta du fleuve Ha Thanh,

[7] http://www.fimarc.org

[8] http://www.worldbank.org

qu'inondations, glissements de terrains et typhons ne sont pas toujours des événements déconnectés les uns des autres.

Tableau 1.3. Bilan des catastrophes naturelles au Viêt-Nam de 1900 à 2013

Risques naturels	**Evénement (nombre)**	**Mort (personne)**	**Personne affectée (en million)**	**Perte économique (millier d'euros)**
Inondation	*68*	*5 485*	*29 213 461*	*2 758 295*
Mouvement de terrain	6	330	330	1 725
Sécheresse	5	-	6 110 000	486 840
Typhon	90	1 8956	45 300 374	3 549 678
Total	**169**	**2 4771**	**80 624 165**	6 796 539

(Source: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database : www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels - Belgium)

De grandes inondations ont affecté les provinces du centre du Viêt-Nam en 1999 (Thua Thien Hué, Quang Tri, Quang Nam, Da Nang ville, Quang Ngai, Quang Binh, Binh Dinh, Phu Yen). Ce sont les plus grandes inondations survenues dans ces régions au XX^{ème} siècle. 595 personnes sont mortes, 41 846 maisons et 570 écoles se sont effondrées. Le bilan total des dommages a été estimé à plus de 3 773 milliards de Dong vietnamiens, correspondant à 134 millions d'euros (Source : http://tuoitre.vn, consulté le 8 octobre 2013).

Le centre du Viêt-Nam connaît un climat tropical de mousson, il advient que les typhons sont accompagnés d'inondations majeures. Cela a été le cas en 1964, 1998, 1999, 2007, 2009, 2011 et 2013 dans cette région (Source : Centre National de Documentation de la Météorologie et de l'Hydrologie du Viêt-Nam [(9)]). C'est ainsi par exemple, que le typhon Wutip (vents soutenus de 170 km/h avec une houle de 3 à 5 mètres) a touché les côtes vietnamiennes le 1er octobre 2013 (Source : http://www.wunderground.com, consulté le 8 octobre 2013), provoquant de nombreuses crues de rivières et des inondations dans la région du Centre-Nord du pays. Ce typhon a causé 5 morts, 2 disparus et 159 blessés. Environ 365 maisons se sont effondrées, 161 086 maisons ont été sinistrées, les pertes sont estimées à près de 4 915 milliards de Dong vietnamiens (soit environ 175,5 millions d'euros) (Source. http://vtc.vn, consulté le 8 octobre 2013). Tout récemment, le 10 novembre 2013, le « super » typhon Haiyann, typhon le plus violent jamais enregistré sur la planète, avec des vents soufflant à plus de 380 km/h selon l'agence météorologique des Philippines, après avoir touché les Philippines, a frappé deux provinces du Viêt-Nam (Quang Ninh et Hai Phong au nord du pays). Avec un pic des vents à 145 km/h, le typhon a tout de même fait 18 morts, 81 blessés et provoqué des dégâts matériels (Source : http://www.vietnamplus.vn, consulté le 11

[9] http://www.hymetdata.gov.vn/

novembre 2013). Ce typhon a entraîné dans son sillage la formation de tempêtes tropicales lesquelles ont plus durement touchées le Centre du pays en générant de très fortes précipitations et des inondations dans les plaines côtières (conséquences non connues au moment d'imprimer la thèse).

Ces statistiques illustrent l'importance des enjeux liés aux inondations dans le monde en général et au Viêt-Nam en particulier. Ceci explique pourquoi l'inondation est considérée comme un risque naturel majeur d'origine hydrométéorologique (Dubois-Maury, 2005 ; MEDD, 2004a).

1.1.2. Les apports de l'hydromorphologie dans l'étude intégrée des risques hydrologiques

La thèse s'inscrit dans une étude d'hydrodynamique fluviale qui s'intéresse à la dynamique des cours d'eau, aux variables hydrologiques et morphologiques et aux processus-réponses des hydrosystèmes fluviaux. Elle se situe à l'intersection de tous les éléments de méthode et de diagnostic propres à la géographie physique, dont la géomorphologie, la géologie, la sédimentologie, l'hydraulique, l'hydrologie, l'écologie fluviale (Malavoi et Bravard, 2010). Elle concerne l'hydromorphologie fluviale qui régit « le fonctionnement des cours d'eau, aspect dynamique de la discipline » (Malavoi et Bravard, 2010, p.8). On désignait souvent cette discipline par le terme « géomorphologie fluviale ». On trouve aussi anciennement « potamologie » (M. Pardé, 1925) qui intègre effets et causes des phénomènes hydrologiques, particulièrement les crues et les inondations.

On intègre en géodynamique fluviale de nombreux éléments d'étude. Ces éléments sont nécessaires pour mettre en œuvre l'évaluation environnementale du risque d'inondation dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh. Nos proposons de présenter ces termes de généralités pour mieux caractériser le bassin encore mal connu du fleuve Ha Thanh.

+ Le bassin versant (ou bassin hydrographique) est « l'ensemble d'un territoire drainé par un cours d'eau et ses affluents. Son contour est délimité par la ligne de partage des eaux qui passe par les différents sommets et qui détermine la direction de l'écoulement des eaux de surface. En aval, sa limite est définie par son exutoire » (Source : http://www.bvsm.ca/, consulté le 9 octobre 2013).

Chaque bassin versant est différent en raison d'un certain nombre de paramètres (Fig. 1.4) :

- « géologiques : orientation des couches géologiques, perméabilité des couches;
- pédologiques : nature des sols et capacité d'infiltration;
- topographiques et géométriques : élévation et orientation des versants, surface drainée, pente des écoulements;

- biologiques : typologie du couvert végétal, influence de la végétation dans l'évapo-transpiration;
- anthropiques : niveau d'artificialisation des écoulements, influence de l'urbanisation. » (Grivel *et al.,* 2012, p.14).

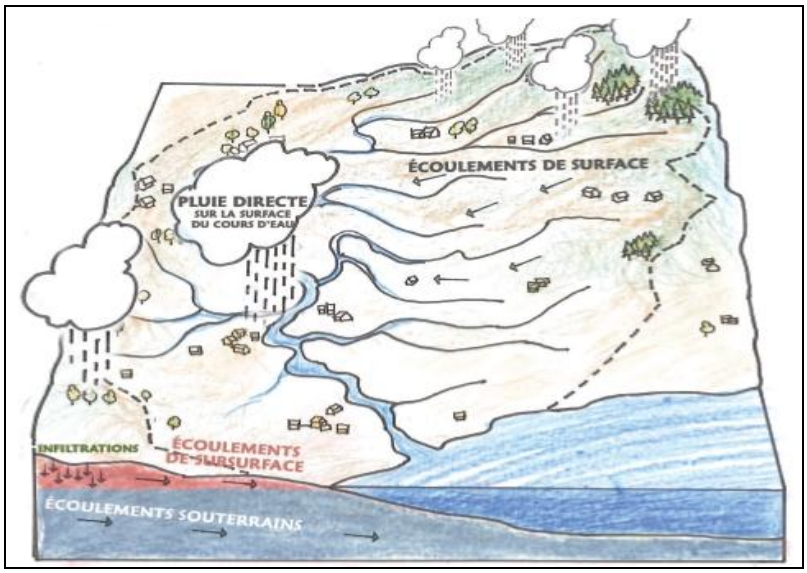


Figure 1.4. Fonctionnement du bassin versant. (Grivel *et al.,* 2012, p.14)

+ Débit : volume d'eau (Q) « traversant une section transversale d'un cours d'eau par unité de temps » (Grivel *et al.*, 2012, p.18) (t). Le débit se représente selon la formule suivante :

Q ($m^3.s^{-1}$ ou $l.s^{-1}$) = V_{moy} ($m.s^{-1}$) x S (Section d'écoulement (m^2)).

+ Module : débit moyen annuel Q_m (établi sur 30 ans de mesures) (Grivel *et al.*, 2012).

+ Débit spécifique :

« Pour mieux comparer les capacités d'écoulement des cours d'eau, on calcule le débit spécifique tenant compte de la surface du bassin d'écoulement » (Grivel *et al.,* 2012, p.19) ($l.s^{-1}.km^2$).

+ Le régime hydrologique est l'évolution mensuelle moyenne des débits.

+ « Le régime hydrologique des fleuves est étroitement lié aux influences climatiques qui conditionnent les précipitations, comme à la nature lithologique du bassin versant (perméabilité des roches) et l'apport des affluents. » (Grivel *et al.,* 2012, p.19).

+ Hydrogramme : « représentation graphique de la variation des débits dans le temps. L'hydrogramme permet de connaître le volume d'eau qui s'écoule dans le chenal d'écoulement (cadre de la dynamique fluviale). On peut ainsi estimer les variations de ce volume d'eau.

+ Hautes eaux : mois où le débit est le plus fort.

+ Basses eaux : mois où le débit est le plus faible.

+ Étiage : basses eaux exceptionnelles ou un débit minimum.

+ Crue : gonflement exceptionnel du cours d'eau s'accompagnant fréquemment de débordements. » (Grivel *et al.,* 2012, p.22-23).

L'ensemble de ces termes de base en hydrologie constitue une base de connaissances permettant de mieux caractériser la zone d'étude.

Le positionnement scientifique tient compte des grands acquis en géomorphologie fluviale de ces 35 dernières années. Ces avancées récentes ont permis une meilleure approche des cours d'eau par le biais de concepts fondamentaux forts : *the fluvial system* (Schumm, 1977), *the river continuum concept* (Vannote *et al.,* 1980), *the fluvial hydrosystem* (Amoros and Petts, 1993), *the flood pulse concept* (Junk *et al.,* 1989), *the flow pulse concept* (Van der Nat *et al.,* 2002; Tockner *et al.,* 2000*), the fluvial metamorphosis and the fluvial readjustment* (Bravard et Petit, 2000; Bravard et Salvador, 1999, Knighton, 1998). Le système fluvial assure la prise en charge et l'évacuation des flux d'eau et de sédiments (Schumm, 1977). Ce qui implique des interrelations entre les différents éléments du cours d'eau. Ce concept fondamental de la géomorphologie fluviale a trouvé une dimension biologique avec le concept de « continuum fluvial » (Vannote *et al.,* 1980). Les échanges amont-aval sont plus complexes et ne se limitent pas à des échanges unidirectionnels (amont-aval). La conception de l'hydrosystème fluvial (Amoros et Petts, 1993) repose ainsi sur « un système écologique complexe, organisé hiérarchiquement, et constitué de l'ensemble des biotopes et des biocénoses d'eau courante, d'eau stagnante, semi-aquatiques et terrestres, établis dans la plaine alluviale et dont le fonctionnement dépend directement ou indirectement du cours actif du fleuve (Fig. 1.5). Il s'agit d'un ensemble d'écosystèmes en interaction qui forment un écocomplexe » (Amoros *et al.,* 1989). Nous développons donc une approche systémique (Chorley et Kennedy, 1971) pour étudier les différents éléments d'une plaine d'inondation (lit mineur, lit majeur; bande active et formes végétalisées) (Knighton, 1998). Ces différents éléments fonctionnent différemment dans le régime hydrologique et évoluent également en fonction des apports sédimentaires du système fluvial (Lane, 1955). Une meilleure connaissance de ces milieux constituera une clé pour la mise en œuvre des actions de gestion future des milieux alluviaux au Viêt-Nam. L'identification des formes en plan du lit constitue également une forme intéressante d'application de la géomorphologie fluviale (Nanson et Croke, 1992; Schumm, 1977). L'application se réalise notamment sur la plaine alluviale du fleuve Ha Thanh. L'hydromorphologie apporte des éléments de connaissance essentiels à intégrer dans notre évaluation environnementale. Elle donne un sens dynamique au phénomène d'inondation dans une plaine alluviale et explique les capacités d'un cours d'eau à s'ajuster à

toute perturbation environnementale. L'impact de l'action anthropique sur la dynamique fluviale (barrages, extractions, déforestation des hauts bassins) est ainsi intégré. Le cours d'eau est un lieu d'enregistrement des perturbations et des résiliences. L'originalité de notre travail est de disposer de ces clés de diagnostic hydromorphologique pour les confronter à l'étude de cyndiniques que nous comptons développer de manière appronfondie. Il ne s'agit pas d'une thèse en hydromorphologie mais nous utilisons les concepts fondamentaux cités précédemment pour caractériser l'anthroposystème du fleuve Ha Thanh (Chapitre 4).

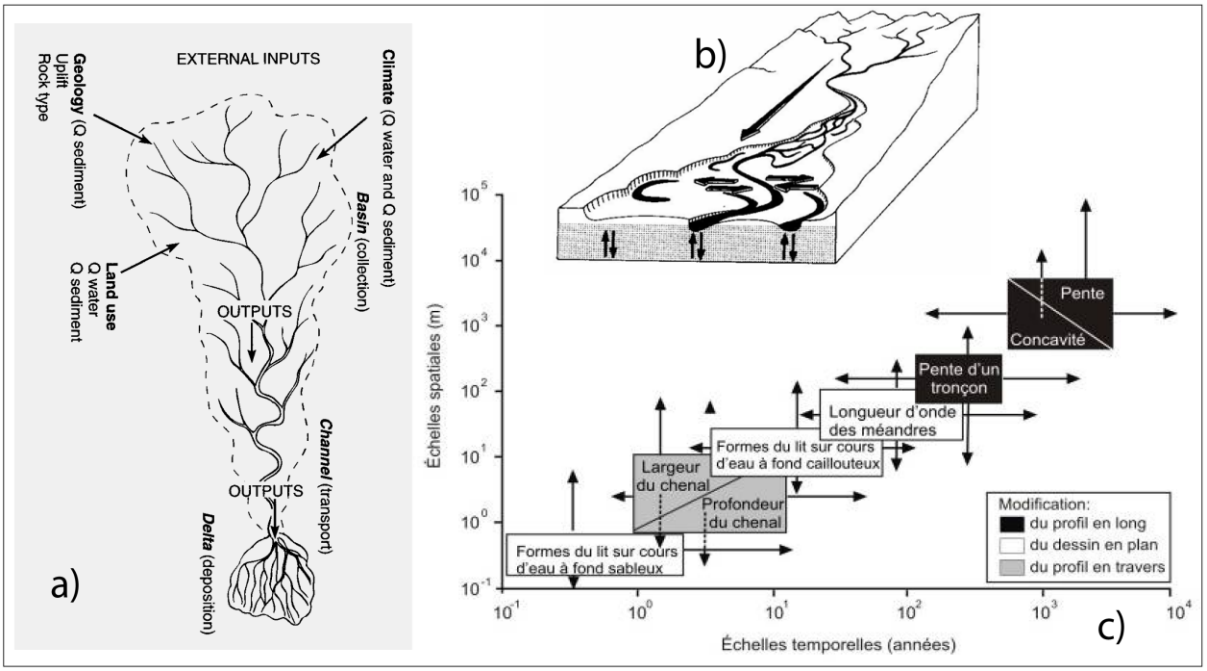


Figure 1.5. Exemple de concepts fondamentaux de l'hydromorphologie appliqués à l'étude dynamique du risque d'inondation. - a). Sytème fluvial (Schumm, 1977); b). Hydrosystème fluvial (Amoros and Petts, 1993); c). Ajustement fluvial (Knighton, 1998).

+ Le fleuve Ha Thanh débouche sur une zone écotonique tropicale typique, un delta, encore occupé par la mangrove. Le delta d'un fleuve peut être défini comme « une plaine littorale formée par les alluvions du fleuve à sa rencontre avec la mer » (Lacoste, 2003, p.116). Il « correspond à l'embouchure d'un cours d'eau où les alluvions fluviatiles s'accumulent au lieu d'être redistribuées en majorité sur une grande étendue par les vagues et les courants littoraux » (Paskoff, 1998) (Fig. 1.6). Le fleuve s'y divise généralement en plusieurs bras coulant sur des levées de quelques mètres au-dessus du niveau de la plaine. Le delta du Fleuve Rouge, au Nord, et le delta du Mékong, au Sud, sont les principaux deltas du Viêt-Nam (chapitre 2, p.75). Toutefois, plusieurs fleuves côtiers de moindre importance dans le Centre du Viêt-Nam rejoignent la mer en formant un delta ; c'est le cas du fleuve Ha Thanh que nous étudions. La plaine alluviale et son delta débouchent sur une vaste lagune. Selon R.

Paskoff (1998, p.197), « les deltas des régions tropicales humides sont sujets à des inondations d'autant plus dangereuses qu'ils sont souvent densément peuplés. En particulier, là où des typhons peuvent se produire, ils déchaînent des crues démesurées dues à des chutes de pluie intense ». C'est le contexte de forte exposition de ces plaines alluviales et de leur frange deltaïque aux aléas hydrologiques qui implique de s'intéresser de près au système fluvial, colonne vertébrale de la formation et de l'évolution de ces milieux « naturels » et également axe de peuplement et de développement urbain. Par commodité pour cette étude, nous considérons la plaine alluviale et la plaine deltaïque comme le même ensemble soumis aux risques hydrologiques.

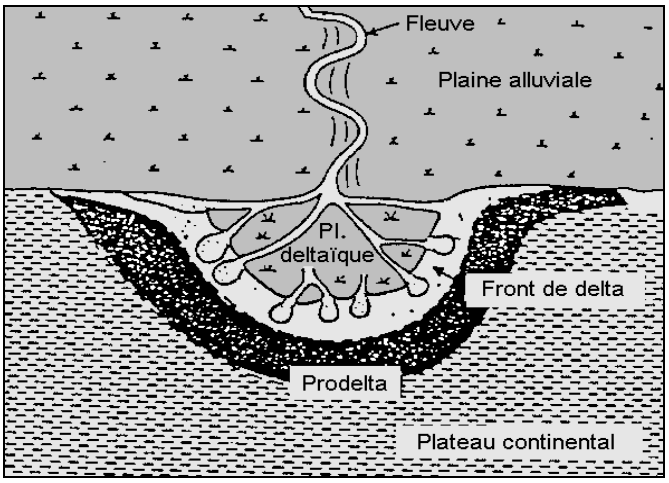


Figure 1.6. Morphologie théorique d'un delta (Source : Jacques Beauchamps ; http://www.u-picardie.fr)

1.1.3. Risque : aléa, enjeu et vulnérabilité

« L'**aléa** est un phénomène physique, naturel et non maîtrisable, d'occurrence et d'intensités » aléatoire (pluies, typhon, inondation…) (MEDD, 2004a ; MEEDDAT, 2008 ; Lacina, 2012, p.7).

Pour une inondation, « le terme d'aléa s'applique au phénomène physique à l'origine du sinistre, ici l'inondation. Il se caractérise par plusieurs paramètres hydrauliques qui expliquent la capacité plus ou moins destructrice de l'inondation. Il se caractérise également par sa probabilité d'apparition appelée aussi période de retour. » (Ledoux, 2000, p.22). Selon Hubert et Ledoux (1999), l'aléa « caractérise la submersion indépendamment de l'occupation des sols ».

Les paramètres comme la période de retour de crues (fréquentes, moyennes, exceptionnelles et maximale vraisemblable) ; la hauteur et la durée de crue ; la vitesse d'écoulement ; et le volume de matière transportée, sont déterminants pour qualifier l'aléa inondation (Dauphiné, 2001 ; Tacnet et Burnet, 2007).

L'exposition qualifie la susceptibilité ou non d'une population ou d'une infrastructure à subir un endommagement éventuel en lien avec un aléa. Cette population, ces bâtiments, ces infrastructures ou ces activités exposés constituent des **enjeux** – (Léone *et al.,* 2010).

Les **enjeux** sont constitués de « l'ensemble des personnes, des biens, activités, éléments du patrimoine culturel ou environnemental, menacés par un aléa ou susceptibles d'être affecté par des inondations » (Direction Départementale des Territoires et de la Mer Nord, 2011, p.40).

La **vulnérabilité** est la sensibilité des populations et des activités localisées dans une zone exposée à un aléa (Lacina, 2012). Elle **«** exprime et mesure le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux : dommages, arrêt d'un service... » (PPRNi de l'Yzeron, 2012, p.17).

Le **risque** peut être défini comme la combinaison de deux composantes qui sont l'aléa et l'enjeu (Dauphiné, 2001; Léone *et al.,* 2010, p.17, Cariolet *et al.,* 2012). De plus, selon Luhmann (1993), le risque se différencie du danger en ce qu'il implique une prise de risque plus ou moins assumée de la part de la société.

Selon l'Institut Français de l'Environnement (IFEN), le risque est « lié à un aléa d'origine naturelle ou anthropique dont les effets prévisibles mettent en jeu un grand nombre de personnes, provoquent des dommages importants et dépassent les capacités de réaction des instances directement concernées » (IFEN, 2002).

Le risque est qualifié de « naturel » lorsque l'aléa est d'origine naturelle (Pigeon *et al.,* 2002). Il apparaît cependant que dans la plupart des cas, la vulnérabilité aux risques dits « naturels » est un construit social.

Le **risque d'inondation** peut être défini comme « la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités » (MEDD, 2004a, p.3). L'importance des enjeux est toujours proportionnelle au niveau du risque d'inondation. Pour une plaine deltaïque, l'augmentation de la vulnérabilité au risque d'inondation peut être due à une multiplication des enjeux situés en zone inondable (Reghezza, 2006).

- urbanisation incontrôlée;
- construction d'habitat inadapté en zone inondable;
- destruction des zones humides telles les mangroves;

- modifications de l'occupation du sol remplaçant des usages agricoles adaptés à l'inhérence de l'aléa (ex : des terres cultivées en rizière) par des usages du sol plus vulnérables;

- construction de bâtiments et d'infrastructure, artificialisation des sols...

L'augmentation des surfaces imperméabilisées (macadam, béton, etc.) et une réduction de la superficie de couvert végétal font partie des causes reconnues d'aggravation des inondations, du fait de la réduction de la capacité d'infiltration des eaux dans une partie du bassin versant, suivi par un accroissement du ruissellement. Notamment, une augmentation du débit de pointe et ainsi une réduction du temps de concentration (Hostache, 2006) (Fig. 1.7). Ce qui amplifie les probabilités d'endommagement pour les enjeux exposés à l'aléa inondation.

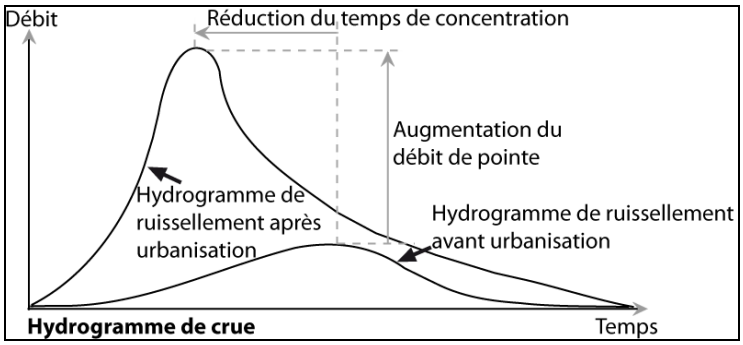


Figure 1.7. Illustration de l'augmentation du débit de pointe de crue due à l'urbanisation.
(Source : Ngo, 2013 d'après Hostache, 2006, Zhang *et al.*, 2007 et MEDD-PRIM@, 2009)

La **gestion des risques** est définie par l'organisation internationale de standardisation (ISO, 2002) comme l'ensemble des « activités coordonnées visant à diriger et piloter un organisme vis-à vis du risque » ou « l'application systématique de politiques de gestion, les procédures et pratiques à des tâches d'analyse, d'évaluation et de contrôle des risques » (IEC 60300-3-9,1995). Elle peut être scindée en deux phases (Vatn, 2004) :

- « analyse des risques (concerne la définition de l'aléa, des enjeux et de la vulnérabilité) » (Gala Serra, 2007, p.9) et « l'évaluation des risques (qui constitue une étape cruciale de la démarche de prévention » : identification, analyse, classement des risques, synthèse et proposition des solutions pour des facteurs tels que les aspects socio-économiques et environnementaux) (IEC 60300-3-9,1995);

- réduction/contrôle des risques : prises de décisions, mise en place et suivi des risques (Vatn, 2004).

1.2. La gestion du risque d'inondation au Viêt-Nam

1.2.1. Les enjeux liés à la gestion du risque d'inondation au Viêt-Nam

Pour mieux identifier les différents enjeux dans ce pays, on peut citer la directive européenne du 2007/60/CE Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation :

« Les inondations sont des phénomènes naturels qui ne peuvent pas être évités. Toutefois, certaines activités humaines (telles que l'accroissement des implantations humaines et des biens économiques dans les plaines d'inondation ainsi que la réduction de la capacité de rétention naturelle de l'eau du fait de l'occupation des sols) et les changements climatiques contribuent à en augmenter la probabilité et les effets négatifs ».

Le Viêt-Nam est particulièrement exposé au risque d'inondations en raison de conditions naturelles complexes. Dans le Centre du pays, le relief est étroit avec de fortes pentes en amont des bassins versants. Les réseaux fluviaux sont denses mais très courts. Ce sont autant de facteurs de propagation rapide des crues dans des plaines alluviales en cas d'épisode pluvieux de forte intensité. En outre, à la fin du XX^{ème} siècle, la déforestation en amont des bassins versants (Bui et Nguyen, 2002; Dinh, 2006), le développement économique et urbain en zone inondable parfois sans tenir compte des caractéristiques physiques du terrain sont des facteurs d'origine anthropique d'aggravation de la vulnérabilité des populations vis à vis du risque d'inondation.

+ Influence de la topographie

Les trois quarts du territoire Vietnamien sont montagneux, en particulier au Centre du pays, où l'altitude est plus élevée et les dénivelées plus fortes dans les provinces s'échelonnant de celle de Thanh Hoa au nord à celle de Binh Thuan au sud, comme le montre explicitement la carte du relief en figure 1.8. En raison de ces conditions topographiques, le Centre Viêt-Nam est formé des petits bassins versants qui sont liés à l'étroite Cordillère Annamitique inclinés vers la Mer de l'Est. La pente des bassins versants est relativement douce dans les provinces les plus septentrionales, de Thanh Hoa à Hué, tandis que la pente des bassins versants est plus abrupte dans les provinces du Centre-sud de Da Nang à Binh Thuan (Fig. 1.8). La caractéristique principale des cours d'eau de ces bassins versants est une pente très forte en amont et une pente faible en aval, les réseaux hydrologiques sont courts, se développant en forme d'éventail. De plus, cette région a des plaines étroites (Le, 2011). Lors des inondations, la crue s'amplifie souvent rapidement en amont et se transfère rapidement vers l'aval. Dans les zones de plaine, notamment de plaines alluviales et deltaïques, la durée la décrue est plutôt lente.

Donc, « les dommages sont principalement causés par la longue période de submersion et par la profondeur de l'inondation » (Luong, 2012, p.28).

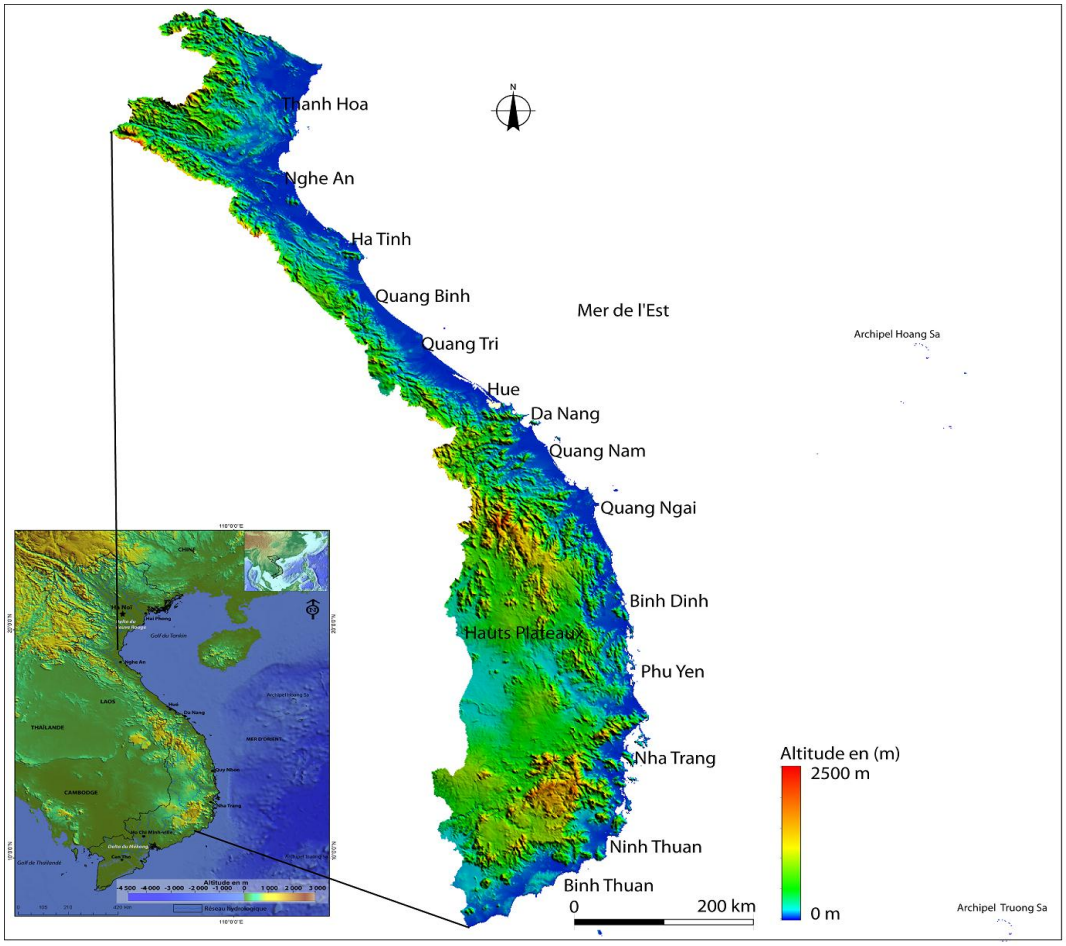


Figure 1.8. Influence de la topographie au Centre du Viêt-Nam sur le risque d'inondation.
(Source de donnée : NOAA, 1996. Réalisation. Ngo, 2013)

+ Influence de changements environnementaux

Les changements environnementaux peuvent être définis comme « des processus spatio-temporels complexes qui sont liés aux facteurs naturels (changement de climat, occurrence des catastrophes naturelles) et aux activités humaines (changement d'utilisation du sol, exploitation des ressources naturelles) » (Wu, 2003, p.69). On retient que les deux facteurs humains et naturels sont couplés et également importants pour la modélisation environnementale.

- **Les facteurs naturels** :

Certaines études soutiennent l'hypothèse selon laquelle le changement climatique accroît la sévérité des catastrophes naturelles d'origine hydrométéorologique (Aalst et Burton, 2002). Du fait de la montée du niveau de la mer, et de l'augmentation de l'intensité des

précipitations, les inondations seraient plus fréquentes et plus graves (Osbahr *et al.*, 2008). Dans le futur, les inondations seront de plus en plus complexes à cause des changements climatiques (Aalst et Burton, 2002).

Le Viêt-Nam serait susceptible d'être l'un des pays les plus touchés par le changement climatique (MRNE, 2009; The World Bank, 2009). Certains travaux tentent d'établir un parallèle entre le changement climatique et la variabilité d'occurrence des formes les plus graves de catastrophes naturelles. Les tempêtes tropicales, les cyclones, les inondations, mais aussi les sécheresses deviendraient plus extrêmes dans le pays (Nguyen *et al.*, 2009). Les zones deltaïques du Viêt-Nam sont particulièrement vulnérables en raison des changements environnementaux, au premier rang desquels on place l'élévation du niveau marin.

- Montée du niveau de la mer :

Au cours des 50 dernières années, selon le 4^{e} rapport publié par le Groupement Intergouvernemental d'Experts sur le Climat (GIEC) en 2007, la température moyenne annuelle au monde a augmenté d'environ 0,5 °C à 0,7 °C dans le courant du XX^{ème} siècle, tandis que le niveau de la mer a augmenté d'environ 20 cm (Fig. 1.9).

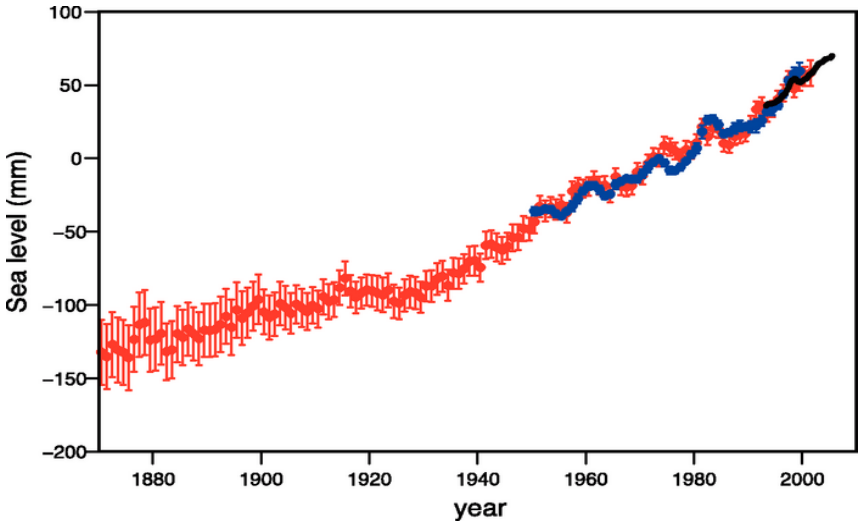


Figure 1.9. Moyennes annuelles du niveau moyen de la mer dans le Monde (MM) (Source : GIEC (IPCC) en 2007).

La courbe rouge montre les champs de niveau de la mer reconstruit depuis 1870 (Church et White, 2006); la courbe bleue représente les mesures des marégraphes côtiers depuis 1950 (Holgate et Woodworth, 2004) et la courbe noire est basée sur l'altimétrie satellitaire (Leuliette *et al.*, 2004). Les courbes rouge et bleu sont des écarts par rapport aux moyennes de 1961 à 1990, et la courbe noire est l'écart à la moyenne de la courbe rouge pour la période 1993-2001. (Source : GIEC, 2007)

Les perspectives sont alarmantes. Dans le résumé de son cinquième rapport, publié le 27 septembre 2013, le Groupement Intergouvernemental d'Experts sur le Climat a rééchelonné les

modèles d'élévation générale du niveau des mers entre +0,3 m et +1 m à l'horizon 2010 [(10)], avec une médiane autour de +0,6 m à la fin du siècle. La montée moyenne du niveau marin varie entre +0,45 m dans les scénarios les plus optimistes, et +0,75 m dans les scénarios de réchauffement le plus rapide (résumé du 5e rapport du GIEC, p.35). Une étude de l'OCDE (*Organisation de Développement et de Coopération Economique*) a estimé que 150 millions de personnes seront exposées à des inondations en cas de forte tempête quand le niveau de la mer monte de 50 cm. Les territoires situés à moins de 0,5 mètres d'altitude ne correspondent qu'à 2 % de la surface habitée mondiale, mais 13 % de la population urbaine mondiale se trouve aujourd'hui située dans ces zones à risques. En Asie, « les 3/4 de la population vivent dans de ces zones côtières inondables » (Source : http://www.vedura.fr, consulté le 7 octobre 2013).

L'élévation du niveau de la mer observée est presque de 4,7 mm par an dans la période 1993-2009 pour l'ensemble de la Mer de l'Est, et de 2,9 mm par an environ dans des zones côtières du Viêt-Nam (Tran, 2012).

Tableau 1.4. Scénario de l'évaluation du niveau de la mer en 2100 au Viêt-Nam

Elévation du niveau de la mer (m)	Bassin du Fleuve Rouge		Régions côtières centrales		Ho Chi Minh-Ville		Bassin du Mékong	
	Zone inondée (%)	Population affectée (%)	Zone inondée (%)	Population affectée (%)	Zone inondée (%)	Population affectée (%)	Zone inondée (%)	Population affectée (%)
0,50	4,1	3,4	0,7	2,4	13,3	4,5	5,4	5,3
0,60	5,3	4,1	0,9	3,5	14,6	5,0	9,8	9,3
0,70	6,3	5,2	1,2	4,4	15,8	5,4	15,8	14,7
0,80	8,0	6,5	1,6	6,0	17,2	5,9	22,4	20,4
0,90	9,2	7,9	2,1	7,5	18,6	6,5	29,8	26,8
1,00	10,5	9,4	2,5	8,9	20,1	7,0	39,0	34,6

(Source : Tran, 2012. Traduction par l'auteur)

Le tableau 1.4 représente toutes les régions du Viêt-Nam qui sont affectées par la montée du niveau de la mer à l'horizon 2100. On voit que si l'élévation du niveau de la mer atteint 1 mètre, alors :

• 39 % de surface du delta du Mékong, plus de 10 % de surface du delta du fleuve Rouge, 2,5 % de surface des régions côtières centrales et plus de 20 % de la surface de Ho Chi Minh-ville seraient inondés ;

[10] Ce rapport est consultable en ligne à l'URL : http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

• environ 35 % de population du delta du Mékong au Sud, plus de 9 % de population du delta du fleuve Rouge au Nord, 9 % de population de surface des régions côtières centrales et 7 % de population de Ho Chi Minh-ville seraient directement affectés. (Tran, 2012).

- Augmentation des températures et des précipitations :

Les prévisions générales pour la fin du XXI^{ème} siècle dans les scénarios climatiques moyens sont que les contrastes saisonniers seraient amplifiés. Les saisons sèches deviendraient plus sèches (Fig. 1.10). Selon le rapport du Ministère des Ressources Naturelles et de l'Environnement (MRNE) du Viêt-Nam (2009), il est prévu une augmentation des températures de près de 3°C du nombre de jours avec des températures supérieures à 35 °C durerait 10-20 jours sur de grandes parties du pays durant la saison sèche, ce qui peut avoir pour conséquence d'augmenter le risque agricole affectant la pollinisation des rizières en particulier et d'augmenter le risque des feux de forêt en amont des bassins versants. Cela réduirait la superficie des forêts, entraînant un accroissement du ruissellement dans une partie du bassin versant lors de fortes pluies et donc des inondations en aval.

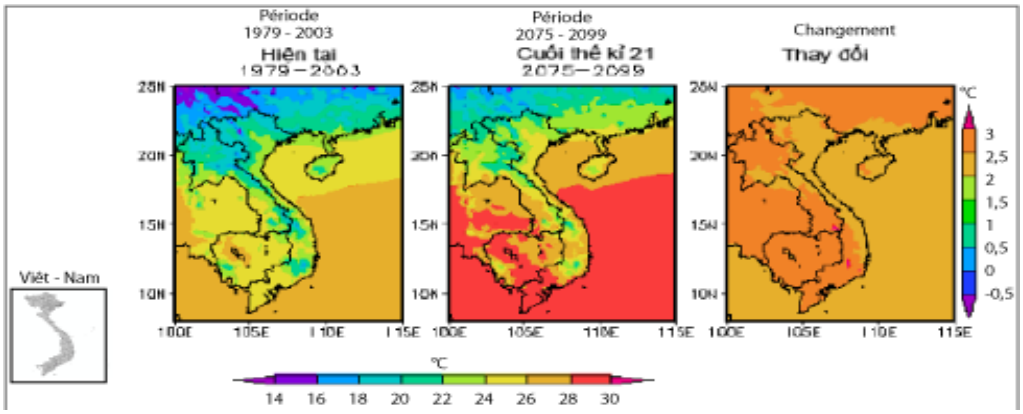


Figure 1.10. Changement des températures (scénario d'émission moyen B2 [(11)]) dans le Viêt-Nam. (Source : MRNE, 2009)

Pour la saison des pluies, une augmentation de la fréquence et de l'intensité des précipitations est prévue, aggravant les inondations dans les zones déjà exposées (MRNE, 2009). Dans l'ensemble, il est prévu que d'ici 2050 il y ait une augmentation du volume des précipitations de la saison des pluies de 4 % dans le Centre-Nord et de 1,7 % dans le Centre-Sud (Tab. 1.5).

[11] Le Viêt-Nam retient 3 scénarios : scénario d'émission faible (B1); scénario d'émission moyen (B2) et scénario d'émission élevée (A2, A1FI). Ces scénarios sont disponibles sur le site : http://www.preventionweb.net/files/11348_ClimateChangeSeaLevelScenariosforVi.pdf

Tableau 1.5. Changements des précipitations annuelles (%) pour le scénario d'émission moyen (B2) par rapport à la période 1980-1999 au Viêt-Nam

	Décennies dans le XXI^{ème} siècle								
Région	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**	**2060**	**2070**	**2080**	**2090**	**2100**
Nord-Ouest	1,4	2,1	3,0	3,8	4,6	5,4	6,1	6,7	7,4
Nord-Est	1,4	2,1	3,0	3,8	4,7	5,4	6,1	6,8	7,3
Delta du Fleuve Rouge	1,6	2,3	3,2	4,1	5,0	5,9	6,6	7,3	7,9
Centre-Nord	1,5	2,2	3,1	4,0	4,9	5,7	6,4	7,1	7,7
Centre-Sud	0,7	1,0	1,3	1,7	2,1	2.4	2,7	3,0	3,2
Hauts plateaux	0,3	0,4	0,5	0,7	0.9	1,0	1,2	1,3	1,4
Sud	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5

(Source : MRNE, 2009. Traduction par l'auteur)

De plus, les scénarios anticipent une augmentation aussi de l'intensité des typhons et tempêtes tropicales (Emanuel, 2005; Chan, 2006). Selon Webster *et al.* (2005), l'augmentation du nombre de typhons dans les deux catégories 4 et 5 (Echelle de Saffir-Simpson (Annexe 1)) entre 1975-1989 (85 typhons) et la période 1990-2004 soit 116 typhons pour les différents bassins océaniques dans le monde. Les résultats montrent peu de changements pour les trois catégories de 1, 2 et 3, mais une augmentation surprenante dans les deux catégories de 4 et 5 (Fig. 1.11).

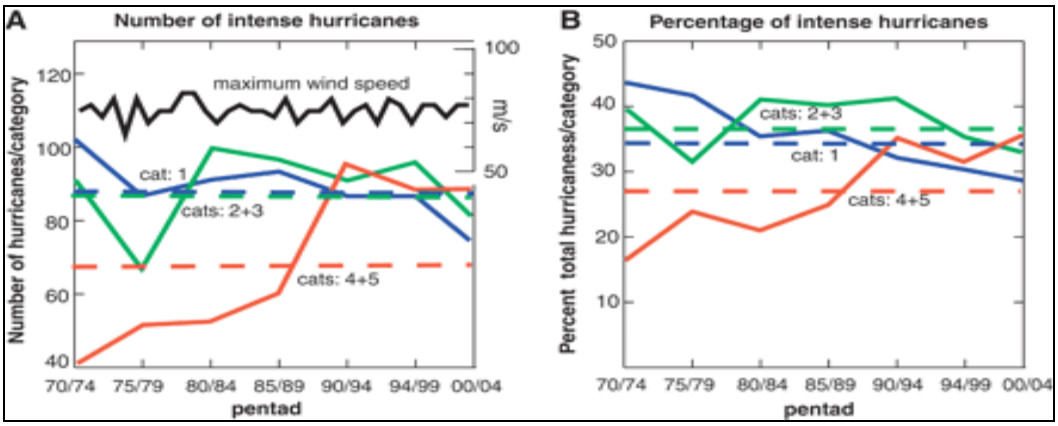


Figure 1.11. L'intensité des typhons en fonction de l'échelle de Saffir-Simpson dans le monde entre 1970-2004 (Webster *et al.*, 2005)

(A) Nombre total de typhons en catégorie 1 (bleue), en catégories 2 et 3 (vert) et en catégories 4 et 5 (rouge) en période de 5 ans. La courbe en gras est la vitesse du vent du typhon maximal observée au niveau mondial ($m.s^{-1}$). Les lignes pointillées horizontales représentent les nombres moyens entre 1970-2004 dans chaque catégorie.

(B) Identique à (A), le pourcentage du nombre total de typhons dans chaque classe de la catégorie. Les lignes pointillées indiquent les pourcentages moyens dans la période 1970-2004 pour chaque catégorie. (Source : Webster *et al.*, 2005).

Pour le Viêt-Nam, nombre de typhons et tempêtes tropicales de 1963 à 2010 était de 250 typhons selon le recensement du Centre des Données d'Hydrométéorologie du Viêt-Nam (Fig. 1.12) (représenté au chapitre 2, p.71).

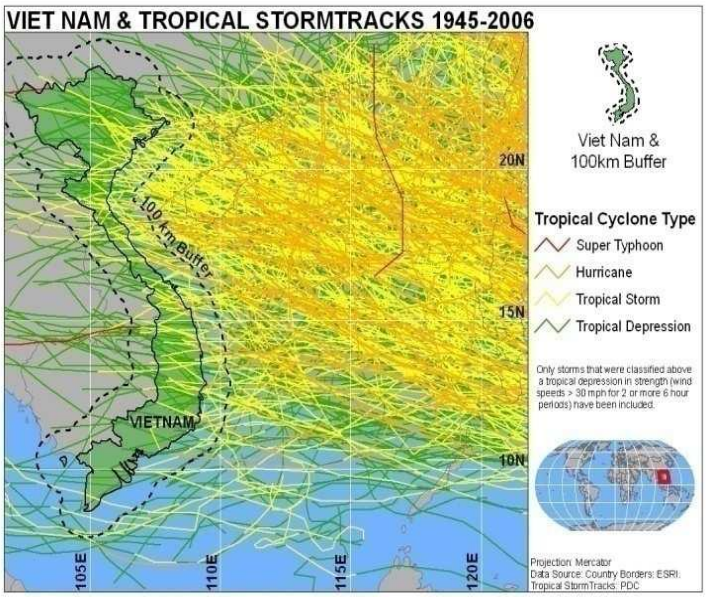


Figure 1.12. Typhons et tempêtes tropicales au Viêt-Nam entre 1945-2006

Des plaines deltaïques sont probablement aussi sensibles aux typhons et aussi affectées par les inondations qui accompagnent ces typhons. Les populations des zones côtières seraient particulièrement vulnérables à ces événements (Adger, 1999; Nielson *et al.*, 2003).

Pour répondre aux changements climatiques le gouvernement a mis en place des programmes et déterminé des scénarios de changement climatique pour ce pays à partir du 2 décembre 2008 selon la décision 158/2008/QĐ-TTg [(12)] par le Premier ministre pour le programme indicatif national. Par ailleurs, de nombreux programmes de coopération internationale de recherche ont été conduit sur le thème de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des inondations (par exemple : The United Nations Development Programme (UNDP), The Oxford Policy Management (OPM), The CCCO, etc.). Les études récentes telles que : "Vietnam Assessment Report On Climate Change (VARCC)" par *The Institute of Strategy and Policy on natural resources and environment* (SPNE, 2009); "Climate Change, Sea level rise scenarios for Vietnam" par le Ministère des Ressources Naturelles et de l'Environnement du Viêt-Nam (MRNE, 2009) ; "The Social Dimensions of Adaptation to Climate Change in Vietnam" par McElwee et al. (2010)… ont montré qu'à long terme, le Viêt-Nam sera gravement touché par le changement climatique (mauvaises récoltes dues à la sécheresse, perte des terres dues à l'élévation du niveau de la mer, typhons

[12] Cette décision est disponible sur : http://www.phongchonglutbaotphcm.gov.vn/?id=12&cid=1632

et inondations plus fréquents). Mais l'étude des effets du changement climatique n'en est que dans ses premiers stades et dans la phase de recherche (Adger, 1999). Autrement dit, on manque de certitude sur les facteurs d'impact augmentant la fréquence et l'intensité du risque d'inondation. Par contre, il est évident que le potentiel d'endommagement augmente très vite en raison des facteurs humains. Ceux-ci vont de la déforestation des versants au manque de coordination des secours et aux carences de la gestion des inondations (prévisions, soutien et sauvetage) en passant par l'exploitation illégale des ressources naturelles et l'urbanisation inadaptée des zones inondables. Il est certain que les facteurs anthropiques de changement de l'environnement auront un impact majeur sur les inondations dans le futur proche.

- **Modification anthropique de l'environnement**

De l'inauguration de sa politique de « renouveau » en 1986 jusqu'à présent, le Viêt-Nam oriente sa stratégie de développement vers l'industrialisation et la modernisation. Un grand programme d'investissements est entrepris à l'horizon 2020 pour hisser le Viêt-Nam au rang de pays industrialisé (Source : Résolution 20/NQ-TW du 28 janvier 2008 de l'Assemblée nationale [13]). Au cours des dix dernières années, le PIB de ce pays n'a cessé d'augmenter. Le taux de croissance économique annuel moyen a atteint +8,44 % de 2000 à 2007 (Source : Bureau Général de la Statique du Viêt-Nam). Le Viêt-Nam est devenu officiellement membre de l'Organisation Mondiale du Commerce le 7 novembre 2006. La structure économique continue de se déplacer de l'agriculture vers l'industrie tandis que les infrastructures sont modernisées. L'emploi diminue dans le secteur agricole, mais il augmente dans l'industrie et les services. Ce transfert de facteur de production s'accompagne d'un transfert important de population des campagnes vers les villes. Le Viêt-Nam connaît aujourd'hui une urbanisation accélérée. Cependant, ces pressions économiques, sociales ou politiques, ont un impact négatif sur l'environnement, en augmentant ainsi la vulnérabilité. La pollution de environnement, l'épuisement des ressources, la destruction des espèces d'animaux et de plantes peuvent être un prix à payer pour la libéralisation du commerce depuis 10 ans (Source : http://www.tinmoi.vn/, consulté le 10 octobre 2013). Localement, la réaffectation massive de l'utilisation des sols menace fortement l'équilibre agricole et l'écosystème du delta du fleuve Ha Thanh, soumis à un développement urbain et industriel sans précédent.

- Déforestation :

[13] Cette résolution est consultable en ligne à l'URL :
http://dangcongsan.vn/cpv/Modules/News/NewsDetail.aspx?co_id=30397&cn_id=216133

Avant 1945, on estimait à 140 000 km^2 la superficie des forêts au Viêt-Nam, ce qui représentait plus de 42 % de la superficie du pays. Le couvert forestier a diminué de 111 000 km^2 en 1976 et de 82 500 km^2 en 1995, ce qui correspond 25 % de la superficie du pays (Dinh, 2006). Selon le rapport du Bureau Général de la Statistique du Viêt-Nam [(14)] en 2011, la superficie de forêts a augmenté à nouveau à environ 132 000 km^2, soit 39,1 % de la superficie du pays. Cela peut être l'effet du « projet 661 » [(15)] de plantation de 50 000 km^2 de forêt de 1998 à 2010 selon la résolution 08/1997/QH10 [(16)] du 5 décembre 1997 par l'Assemblée nationale du Viêt-Nam. Cependant, la qualité de ces forêts de plantation apparaît trop faible. En fait, seulement d'environ 57 955 km^2 des forêts primaires sont capables de protéger efficacement les sols, soit 17 % de la superficie du pays. Le reste, donc 74 045 km^2, est constitué de plantations clairsemées et de forêts de production (Source : Bureau Général de la Statistique, 2011).

La superficie des mangroves a plus que diminué de moitié durant la dernière décennie et continue peut être de baisser au cours des dernières années. Selon le rapport du Ministère de l'Agriculture et du Développement rural (MAD) [(17)] du Viêt-Nam (2005), au milieu du XX^{ème} siècle, la superficie des mangroves représentait 4 000 km^2 vers 1940, dont il ne reste plus que 644 km^2 en 2005 (Tab. 1.6).

Tableau 1.6. Croissance des surfaces de mangrove entre 1940-2005

Année	**Surface (km^2)**	**Évolution annuelle en (%)**
1940	4000	***
1962	2900	-1,45
1982	2520	-0,70
2000	1552,9	-2,65
2005	644	-16,14
***Moy.* 1940-2005**	*******	**-2,77**

(Source : MAD, 2005)

Il existe de nombreuses causes à la diminution de forêt au Viêt-Nam. Les taux élevés de déforestation ont été attribués à l'immigration importante, suite à la guerre des années 1965-1975 (Veilleux, 1994; De Koninck, 1999), aux besoins en bois de feu des habitants (surtout en région de montagne) (Brassard, 1998) et au développement des cultures commerciales (café,

[14] Ce rapport est disponible sur le site http://www.gso.gov.vn/default.aspx?tabid=512&idmid=5&ItemID=12574

[15] Ce projet est consultable en ligne à l'URL :
http://cema.gov.vn/modules.php?name=Doc&op=detaildoc&pid=142

[16] Cette résolution est consultable en ligne à l'URL : http://thuvienphapluat.vn/archive/Nghi-quyet/Nghi-quyet-08-1997-NQ-QH10-du-an-trong-moi-5-trieu-ha-rung-vb41302t13.aspx

[17] http://www.agroviet.gov.vn/en/Pages/default.aspx

caoutchouc, poivre, noix de cajou, etc.) dans les années 1990 (De Koninck, 1999 ; Tran, 2002; Roche et De Koninck, 2002).

Depuis la privatisation de l'économie agricole, on a observé l'augmentation de la superficie cultivée sur les coteaux, qui a conduit à un déboisement important dans les régions de montagne, en particulier dans les régions du Nord du Viêt-Nam (De Koninck, 1999; Castella *et al.,* 2006) ; « La croissance démographique exerce une pression sur la politique forestière. Le pays devait faire face aux besoins notamment en bois de chauffage et en bois rond industriel de près de 24 millions de personnes qui se sont ajoutés à la population pendant deux décennies 1979-1999 » (Dinh, 2006, p.10).

Le Viêt-Nam arrive en tête des pays d'Asie du Sud-Est pour exploiter la puissance hydroélectrique. Il y a 834 projets hydroélectriques (150 projets hydroélectriques au Centre ont été mis en service). On estime à plus de 500 km^2 la superficie des forêts qui ont été détruites pour l'édification des barrages hydroélectriques (Le, 2011).

L'expansion des plantations pour produire des marchandises pour les marchés mondiaux est devenue un facteur de plus en plus important de la déforestation (DeFries *et al.,* 2010; Meyfroidt et Lambin, 2011).

Les mangroves ont été converties en zone d'aquaculture, ce qui modifie fondamentalement les écosystèmes (Kathiresan et Bingham, 2001; Dinh, 2006). On estime que plus de 1 400 km^2 de mangroves ont été remplacés par des surfaces d'aquaculture dans la période 2006-2011, notamment au Sud du pays. Les mangroves du delta du fleuve Rouge ont été pratiquement détruites (Source : http://www.tinmoi.vn, consulté le 11 octobre 2013). Dans les plaines côtières du Centre-Sud, les changements rapides et intenses de l'utilisation du sol mettent en danger le fragile équilibre écologique de la mangrove (Kathiresan et Bingham, 2001).

- Projets urbains et industriels dans les plaines alluviales :

Selon la tradition, les modèles d'aménagement urbain et rural devaient être planifiés et mis en harmonie avec la nature. La maison devait être construite en lieu sûr, hors d'atteinte des inondations, des glissements de terrain et en un lieu abrité des vents de tempêtes. Mais la pression du développement, un certain manque de moyens et à défaut d'une vision de la planification, les constructions se sont multipliées sans tenir compte des caractéristiques physiques du terrain, qu'il s'agisse du développement de parcs industriels, de zones franches industrielles destinées à l'exportation, de zones urbaines nouvelles, de ports. Dans le même temps, les résidents ont construit de nouveaux foyers de résidence dispersés dans toutes les directions à proximité des routes, en zones inondables, et en empiétant sur les terrains

agricoles. En conséquence, ces constructions sont directement exposées aux risques naturels (inondation, typhon, changement climatique). De plus, la construction de ces nouveaux bâtiments et des infrastructures qui les accompagnent dans des zones inondables ne manque pas de modifier les conditions d'écoulement des cours d'eau. L'urbanisation des plaines alluviales s'accompagne de l'installation de populations nouvelles qui n'ont aucune expérience des crues de la rivière auprès de laquelle ils résident.

En effet, c'est l'ensemble du Viêt-Nam qui est affecté par un développement urbain et industriel rapide depuis les années 1980 avec la politique volontariste du « renouveau » « Đổi Mới » préconisée par les autorités de l'État, dont le plan prévoit de faire du pays une économie industrielle à l'horizon 2020. Signalons en particulier, les premiers investissements correspondant au décret 322-HĐBT [(18)] du 18 octobre 1991 par le Conseil des ministres portant création des zones franches d'exportation et ensuite le décret 192-CP [(19)] du 28 décembre 1994 pour la création de parcs ou zones industrielles (Mellac *et al.*, 2010). Des terres agricoles sont transformées en zones industrielles aux abords des villes et des ports. En 2010, la superficie totale des zones industrielles est d'environ 400 km^2 (Source : Ministère de la Planification et de l'Investissement du Viêt-Nam). Entre 2001 et 2007, environ 5 000 km^2 de terres agricoles ont été converties à des usages urbains ou industriels (Source : http://worldtradereview.com, consulté le 12 octobre 2013). Privilégiant l'accès aux marchés mondiaux par l'ouverture maritime, ce développement industriel et urbain affecte les deltas du Viêt-Nam, qui sont appelés à devenir les territoires urbains de demain (Sueur *et al.*, 2011).

- Exploitation des ressources naturelles :

Pour répondre à ses besoins de développement économique et urbain, le Viêt-Nam accélère l'exploitation de ses ressources naturelles ; sable noir (Titane), charbon, minerai de fer, granite, ainsi que le sable dans les lits fluviaux.

Le sable dans les lits fluviaux en particulier constitue du granulat particulièrement prisé par l'industrie de la construction, car il se prête à la fabrication du béton, contrairement aux grains de sable polis des dunes littorales. L'industrie du bâtiment et des travaux publics (BTP) privilégie l'extraction des ressources locales, au Centre du pays en particulier. Les carrières se multiplient sur les collines. Une part des matériaux extraits dans les provinces du Centre est

[18] Ce décret est consultable en ligne à l'URL : http://thuvienphapluat.vn/archive/Nghi-dinh/Nghi-dinh-322-HDBT-Quy-che-Khu-che-xuat-vb38198t11.aspx

[19] Ce décret est consultable en ligne à l'URL : http://thuvienphapluat.vn/archive/Nghi-dinh/Nghi-dinh-192-CP-che-khu-cong-nghiep-vb38931t11.aspx

exportée vers les grandes plaines deltaïques moins bien dotées en ressources minérales du Nord et du Sud du pays. Ce prélèvement massif de sédiments peut détruire l'équilibre hydroécologique des cours d'eau, avec des répercussions sensibles sur leur morphologie et les écosystèmes aquatiques associés.

L'extraction de sable dans les rivières créée d'une part des conditions favorables à l'écoulement. D'autre part, l'extraction de sable non planifiée ou non contrôlée peut être la cause de l'érosion des berges. Les modifications hydromorphologiques affectent les organismes qui vivent dans le fond de la rivière (Nguyen *et al.*, 2011).

De plus, l'exploitation des carrières sur les collines et les montagnes (au Centre-sud : Quang Ngai, Binh Dinh, Phu Yen, etc. par exemple), favorise l'érosion massive due au ruissellement des pluies.

+ Les défaillances de la sécurité civile

Dans le contexte de la lutte contre les risques naturels, il faut nécessairement une bonne préparation technique et matérielle de la sécurité civile (prévision, système alerte, sauvetage…) ainsi qu'une bonne coordination entre les ministères, du niveau central au local, entre les gestionnaires publics, les experts et la population (Geheb et Gichuki, 2003, Luong, 2012). Durant les dernières années, le Viêt-Nam a connu des améliorations dans la prévention des risques. Plusieurs projets sur les risques naturels ont été réalisés pour le pays, ce qui a permis d'élaborer une stratégie nationale de prévention, de contrôle et d'atténuation des catastrophes naturelles à l'horizon 2020 (décision 172/2007/QĐ-TTg [20] du 16 novembre 2007 par le Premier ministre). Ce dispositif est complété aujourd'hui par la loi 33/2013/QH13 [21] pour la lutte contre des catastrophes naturelles par le Président du Congrès du 19 juin 2013.

Cependant, les bienfaits de la nouvelle loi pourront être mesurés à partir de son entrée en vigueur seulement, donc on ne doit pas surestimer l'efficacité de cette loi prématurément. La prévision météorologique est le premier maillon de la chaîne de la protection civile. En fait, la prévision des risques naturels (inondation et typhon en particulier) est encore limitée. Selon le directeur adjoint de Direction générale de l'Irrigation M. NGUYEN Xuan-Dieu, « la prévision du Centre prévision d'hydrométéorologie centrale sur un certain nombre de typhons intenses est passive. Il est difficile d'anticiper la trajectoire des perturbations pour activer la prévention

[20] Cette décision est consultable en ligne à l'URL : http://www.phongchonglutbaotphcm.gov.vn/?id=12&cid=781

[21] Cette loi est consultable en ligne à l'URL : http://phapluat.tuoitre.com.vn/Van-ban/Moi-truong---tai-nguyen/Luat-phong-chong-thien-tai-cua-Quoc-hoi--so----.aspx

et la réponse aux inondations. L'exactitude des prévisions et des alertes pour certains typhons n'a pas été suffisamment fiable. La météorologie nationale ne peut pas prédire des crues éclairs et/ou rapides et ainsi que des glissements de terrain. En conséquence, ces déficiences de la prévision météorologique affecte les préparatifs de prévention et d'intervention dans les provinces, ce qui est susceptible d'aggraver le coût des catastrophes et même d'augmenter les pertes en vies humaines » (Source : http://vnexpress.net, consulté le 5 septembre 2013). C'est ainsi par exemple que 260 pêcheurs de la province de Quang Ngai (Centre-Viêt-Nam) ont été tués ou portés disparus en mer de l'Est au mois de mai 2006, en raison d'une prévision erronée de la trajectoire du typhon Chanchu (Source : http://vietbao.vn, consulté le 13 octobre 2013).

La coopération et le partage d'informations sont encore limités entre les autorités, les scientifiques et la population pour la lutte contre les risques naturels, les inondations en particulier (Nguyen, N.H., 1996; DMU, 2002; Luong, 2012). Bien que la loi de juin 2013 ait accru les moyens de prévention et d'intervention (article 14, paragraphe 4 : stratégie nationale sur la prévention des catastrophes naturelles), mais cette loi ne prévoit pas de dispositions nouvelles pour faciliter le partage d'information entre les autorités et les experts scientifiques.

La coordination entre les ministères pour la lutte contre les inondations est satisfaisante au niveau central, mais elle est encore insuffisante au niveau opérationnel du district ou de la commune. Il y a eu plusieurs cas où la directive d'alerte aux typhons et/ou aux inondations a été envoyée du niveau provincial au niveau district dans les délais nécessaires, et pourtant le district a été encore lourdement sinistré par les événements, car cette directive est restée dans le tiroir au niveau district (Source : www.baomoi.com/, consulté le 13 octobre 2013).

1.2.2. La gestion des inondations au Viêt-Nam

Au Viêt-Nam, la pression économique sur les sols est assez irrésistible, car l'expansion économique et démographique est vive et la ressource foncière est rare. Le paradoxe des stratégies de résistance aux aléas hydrologiques naturels, c'est qu'elles se traduisent invariablement par une multiplication des enjeux situés en zones inondables, partant par des risques naturels de plus en plus graves (Burby, 2006).

La gestion des risques naturels et du risque d'inondation en particulier a été incluse dans la Constitution [(22)] de 1992 et la loi de lutte contre des risques des catastrophes naturelles a rendu 33/2013/QH13 du 19 juin 2013 par le Président du Congrès. Cette loi renforce la lutte

[22] Cette Constitution est consultable en ligne à l'URL :
http://chinhphu.vn/portal/page/portal/chinhphu/NuocCHXHCNVietNam/ThongTinTongHop/hienphapnam1992

contre, la gestion des risques naturels, et réglemente les droits et obligations des organisations, ménages et individus engagés dans la prévention des catastrophes naturelles.

Bien que le gouvernement comprenne la nécessité d'une gestion du risque d'inondation, la lutte contre des inondations et typhons est encore faible et insuffisante selon le vice-Premier ministre HOANG Trung-Hai s'exprimant à la conférence de révision de la lutte contre des inondations, typhons et recherches et sauvetages en 2011. Les installations et les équipements spécialisés manquent en nombre et leurs performances sont limitées alors que l'évolution des inondations est de plus en plus complexe avec une augmentation de la fréquence et de l'intensité dans le contexte des changements environnementaux (Source : Comité de pilotage de la lutte contre des inondations, typhons et recherches et sauvetages à Ho Chi Minh-ville, 2011, http://www.phongchonglutbaotphcm.gov.vn).

On manque de carte du changement de l'environnement et des risques d'inondation au Centre en particulier pour des villes et zones rurales de littoral exposées au risque d'inondation. Ainsi de nombreux projets de développement urbain et industriel n'intègrent pas les caractéristiques physiques de leur environnement et ne prennent pas les risques d'inondation en compte. Par conséquent, lorsque survient une catastrophe naturelle, une inondation par exemple, les autorités sont en peine d'identifier la zone de danger et d'établir un plan d'évacuation des personnes exposées dans la zone à risque. On peut imputer à ces défaillances une part des pertes humaines provoquées par les inondations au Viêt-Nam dans les dernières années.

La gestion des catastrophes naturelles est complexe. Les responsabilités se chevauchent, certaines décisions ne sont pas encore effectives et les secours n'arrivent pas en temps voulu (voir le chapitre 6). Sur le seul sujet de la lutte contre les inondations et les typhons, il existait plus de 150 documents réglementaires (décisions, décrets,...) avant la loi de juin 2013 (Source : http://dangcongsan.vn, consulté le 14 octobre 2013).

Le gouvernement a investi dans les prévisions météorologiques et hydrologiques. Mais cet investissement n'est pas en rapport avec l'importance de prévisions météorologiques et hydrologiques précises, notamment dans le contexte du changement climatique. Selon M. TRAN Van-Sap, directeur adjoint du Centre national de recherches météorologiques, le réseau de stations hydrométéorologiques au Viêt-nam est très peu développé (520 stations [23] : au Nord soit 286 stations, au Centre est 178 et au Sud a 56 stations) avec une superficie totale de 331 698 km^2 et environ 2360 rivières et fleuves (voir la partie précédente) donc la prévision n'est pas précise.

[23] Ces données sont disponibles sur le site http://www.hymetdata.gov.vn/?u=con&t=0&cid=1040&p=634

Le Viêt-Nam manque particulièrement, de stations de mesure automatique aptes à transmettre ainsi des données aux centres météo-hydrologiques, donc la prévision météorologique n'est pas encore mise à jour en temps réel (Source : http://www.baomoi.com, consulté le 14 octobre 2013).

La protection contre les inondations emploie des méthodes traditionnelles, le renforcement des systèmes d'endiguement et de barrage ainsi que le dragage annuel du lit mineur des fleuves et rivières (Tran *et al.,* 2007). En effet, le système d'endiguement s'est fortement développé, bien que suivant un plan assez décousu (cf. chapitre 4), dans des plaines deltaïques du Centre du Viêt-Nam depuis des années 1990. Alors que le changement climatique et l'élévation du niveau de la mer auront des conséquences importantes pour ces zones de basse altitude (plaines deltaïques par exemple), créant encore plus de vulnérabilité humaine (Vörösmarty *et al.,* 2009). Les stratégies de gestion du risque d'inondation doivent avoir des attentes réalistes sur la façon dont une grande partie de la superficie d'un delta peut être morphologiquement, écologiquement et économiquement durable basée sur une compréhension de la dynamique du delta, et les changements dans les aménagements (Overeem et Syvitski, 2009).

1.3. L'évaluation environnementale par la géomatique dans l'étude des risques naturels

L'évaluation des risques naturels nécessite donc de croiser des informations géographiques de nature très diverse à haute résolution et à différentes échelles. L'évaluation des aléas naturels mobilise des données climatologiques, hydrologiques, géologiques et topographiques, celle de la vulnérabilité nécessite des informations géographiques sur la population, les activités économiques, les infrastructures, mais aussi la végétation et les écosystèmes. Dans une perspective de recherche appliquée, l'évaluation du risque se traduit par une mise en cartes du croisement de ces informations relatives aux aléas et à la vulnérabilité. L'estimation d'une probabilité temporelle de l'aléa qui excède les capacités de résistance (par exemple, les digues) n'est pas suffisante pour la gestion du risque. Il faut aussi spatialiser les enjeux et les risques. Toutes ces opérations requièrent un système d'information aussi complet que possible et une méthodologie qui recoure à la géomatique de manière intensive. Le recours à la géomatique, au sens de Bergeron (BERGERON, 1992) est nécessaire à l'intégration de grands volumes d'informations géographiques diverses. Selon Bergeron, « la géomatique est une discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion ». Notre thèse s'appuie donc sur les outils de la géomatique pour réaliser une évaluation environnementale du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh.

La mise en oeuvre des SIG pour étudier le risque d'inondation est couramment pratiquée dans les pays développés. Au cours des dernières années, le développement de la science et de la technique a appliqué dans la géographie s'est traduit par l'essor des méthodes géomatiques de traitement de l'information géographique. Dans les pays en développement, la combinaison de l'évaluation environnementale et de la géomatique dans l'étude du risque d'inondation est encore une approche nouvelle. C'est le cas au Viêt-Nam en particulier où les théories de l'évaluation environnementale ont été incluses dans l'étude des projets économiques seulement au début des années 2000.

L'évaluation environnementale a pour objectif d'analyser, d'identifier et ainsi de modéliser des enjeux économiques et environnementaux actuels. C'est un outil d'aide à la décision en matière d'aménagement du territoire. Il est essentiel d'apprécier comment les nouveaux développements urbains et industriels sont exposés au risque d'inondation. Il est nécessaire de développer des outils de connaissance précis du fonctionnement hydrodynamique du bassin versant, des plaines et des événements hydrométéorologiques pour mieux appréhender l'aléa sur le territoire vietnamien. La géomatique permet également d'appréhender les rétroactions entre l'hydrosystème et les activités humaines qui peuvent être des facteurs d'aggravation des inondations sur les territoires.

1.3.1. L'évaluation environnementale : histoire et définition

Nous souhaitons répondre à la série de questions suivantes : Comment évaluer l'impact des activités humaines sur l'environnement et ses effets sur des risques d'inondation ? Quelles sont les conséquences du développement local sur l'environnement ? La théorie de l'évaluation environnementale a été créée pour résoudre ces types de problèmes environnementaux dans une logique de développement durable (Fortin, 2009). « Le développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité; l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir. » (Brundtland, 1987, p.40).

L'évaluation environnementale a été introduite d'abord aux États-Unis en 1969 (Fortin, 2009). Depuis lors, de plus d'une centaine de pays et organismes internationaux ont adopté et adapté l'évaluation environnementale (Ministre des Approvisionnements et Services Canada., 1994; Fortin, 2009). Par exemple : Au Québec, elle est appliquée en 1975 (Convention de la Baie-James et du Nord québécois et conventions complémentaires de 1975) ; France en 1976

(Loi relative à la protection de la nature du 10 juillet 1976), notamment en juin 1992, à la conférence des Nations Unies de Rio de Janeiro (Brésil), connue sous le nom de « Sommet de la Terre ». La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, a adopté une déclaration des droits et des responsabilités pour demander à tous les pays d'entreprendre une politique dans le domaine de l'environnement, connue sous le nom « d'Agenda 21 » (Declaration de Rio sur l'Environnement et le Développement, 1992).

Au Viêt-Nam, près de 30 ans après le lancement de la politique de renouveau « Đổi Mới », le pays est passé de la situation d'un pays parmi les moins avancés, à celle de nouveau pays industriel émergents. Le déséquilibre de l'environnement est lié à ce développement économique et social. Le pays a édicté sa première loi sur la protection de l'environnementale en 1993 (29-L/CTN [24] du 27 décembre 1993 par le Président de l'Assemblée nationale). Mais à cette époque, les outils de l'évaluation environnementale ne sont pas mis en place. Le terme « d'évaluation environnementale » n'apparaît pas dans le texte, mais uniquement celui d'« impacts environnementaux». Il faut attendre jusqu'au 29 novembre 2005, l'adoption de la loi révisée sur la protection de l'environnement en 2005 (52/2005/QH11 [25] du 29 novembre 2005 par le Président de l'Assemblée nationale) « a ouvert au Viêt-Nam une première nouvelle en matière d'évaluation environnementale avec l'instauration de l'obligation de conduire une évaluation environnementale stratégique pour différents plans et stratégies nationaux, régionaux et provinciaux » (Dunn *et al.,* 2012, p.36). Cependant, l'application des méthodes d'évaluation environnementale est principalement réalisée dans l'économie et l'hydroélectrique (Dunn *et al.,* 2012). Par contre, l'évaluation des risques naturels (inondations par exemple) et autres risques environnementaux pour faire face au changement climatique est encore à ses balbutiements au Viêt-Nam.

Le 1er octobre 2013 à Hanoi (capitale du Viêt-Nam), il y a eu un premier séminaire sur « l'adaptation au changement climatique des régions côtières et l'expérimentation de la méthode d'évaluation des risques environnementaux ». Ce séminaire a eu pour but d'adapter la méthode d'évaluation environnementale « dans l'étude au changement climatique dans le delta du fleuve Rouge et l'amélioration des capacités d'adaptation de la biosphère de Cat Ba (ville portuaire de Hai Phong, Nord) en cas le changement climatique » (Source : http://parlervietnam.com, consulté le 15 octobre 2013).

[24] Cette loi disponible sur le site : http://thuvienphapluat.vn/archive/Luat-Bao-ve-moi-truong-1993-29-L-CTN-vb38694.aspx

[25] http://moitruongdulich.vn/index.php?options=items&code=1007

+ La définition de l'évaluation environnementale**.** Cette méthode cherche à "évaluer" donc à prendre en compte tous les facteurs et les phénomènes qui participent à une meilleure compréhension du sujet, par exemple un risque d'inondation.

Il existe plusieurs définitions de l'évaluation environnementale. Selon l'Agence Canadienne de Développement International, elle est « un processus visant à déterminer, interpréter, atténuer et surveiller les incidences environnementales d'un projet ou d'une mesure, que ce soit une politique, un programme, une proposition législative, un projet d'ingénierie ou une autre activité qui a un impact sur la santé et la sécurité humaines ou la qualité de l'environnement naturel et socio-économique ». L'évaluation environnementale est liée au concept de développement durable. Elle s'efforce de relier l'environnemental, l'économique, le social et ainsi que le politique (Sadler, 1996). « L'évaluation environnementale est donc l'analyse préliminaire, globale et critique des problèmes, effets et résultats, tant positifs que négatifs, en matière d'environnement des activités d'un établissement, d'un projet ou d'une politique » (Source : Dictionnaire Environnement [(26)]).

Au sens large, l'évaluation environnementale peut s'appeler aussi "évaluation géographique" : c'est une analyse géographique au sens premier dans la mesure où la discipline géographique s'est d'abord intéressée en priorité aux interactions entre la société et son environnement (Claval, 2012). Au sens restreint, elle peut étudier des impacts sur l'environnement (ÉIÉ) pour les grands projets d'infrastructure comme pour le développement industriel et urbain,… le terme « ÉIÉ » peut être considéré comme « *une étude d'impact sur l'environnement, en tant qu'instrument national, elle doit être entreprise dans le cas des activités envisagées qui risquent d'avoir des effets nocifs importants sur l'environnement et dépendent de la décision d'une autorité nationale compétente* » (Principe 17 de le Déclaration de Rio [(27)] sur l'environnement et le développement, 1992).

De plus, ÉIÉ comprend l'analyse et la prévision des impacts environnementaux par un projet, pour mesurer la protection de l'environnement avant la mise en œuvre du projet (Loi sur la protection de l'environnement du Viêt-Nam [(28)], 2005).

Actuellement, l'évaluation environnementale a été largement pratiquée dans le monde.

« Les techniques de géomatique combinées avec l'analyse de l'interaction homme-environnement semblent être une approche efficace pour l'étude des changements de

[26] http://www.dictionnaire-environnement.com/evaluation_environnementale_ID349.html

[27] http://www.velizy-villacoublay.fr/uploads/media/27principes_rio_02.pdf

[28] Cette loi est disponible sur le site
http://www.moj.gov.vn/vbpq/Lists/Vn%20bn%20php%20lut/View_Detail.aspx?ItemID=16747

l'environnement » (Benmessaoud, 2009). C'est donc la méthode adoptée dans la recherche de cette thèse.

1.3.2. L'utilisation de la géomatique

Né de l'informatisation de la cartographie, il semble que le néologisme « géomatique » a été forgé dans les années 1960 par le scientifique français Bernard Dubuisson [(29)]. Adopté d'abord par les québécois, le terme n'a toujours pas d'existence officielle en France, en dépit de la généralisation de son usage [(30)]. Il est concurrencé par l'expression « Système d'Information Géographique » (SIG) qui est une traduction directe de l'Anglais « Geographical Information System » (GIS).

- Application dans une étude d'environnement

Les SIG manipulent de l'information géographique qui désigne les éléments suivants : arpentage, géodésie cartographie, cadastre, positionnement global (GPS), photogrammétrie et télédétection, bases de données à référence spatiale relatives aux caractéristiques de l'environnement et du bâti. Les SIG permettent de gérer ces bases de données à référence spatiale et à produire des documents cartographiques et des analyses statistiques et spatiales qui servent de base à la formulation de diagnostics territoriaux et de plans de gestion pour les utilisateurs.

Les outils de la géomatique sont employés dans des domaines d'application aussi divers que, par exemple, l'urbanisme, l'aménagement du territoire, les systèmes de navigation embarqués, les globes virtuels, des applications militaires, l'agriculture, la météorologie, l'océanographie, l'archéologie, la criminologie, etc. L'évaluation environnementale est donc l'un des domaines d'utilisation possible de la géomatique.

La géomatique est désormais couramment utilisée par les chercheurs comme par les gouvernements et les entreprises. Elle permet la géovisualisation à 2 et 3 dimensions, éventuellement l'analyse spatio-temporelle à 4 dimensions ainsi que l'analyse de bases de données attributaires multidimensionnelles à référence spatiale (Billen, 2002). « Actuellement, une nouvelle expression est utilisée : la géomatique ou géoinformatique, terme générique utilisé par les Canadiens ces dernières années pour décrire le système de traitement des géoinformations et les techniques associées » (Wu, 2003).

[29] http://mondegeonumerique.wordpress.com/geomatique-et-cie/geomatique-et-geonumerisation/

[30] http://www.hypergeo.eu/spip.php?article68

Dans les chapitres qui suivent, les analyses de première main consacrées à la région du delta du fleuve Ha Thanh dans le Centre-Sud du Viêt-Nam (ville de Quy Nhon, province de Binh Dinh) s'appuient principalement sur un SIG constitué par nos soins et sa mise en œuvre pour réaliser l'évaluation environnementale du risque d'inondation.

* * * *

Le chapitre 1 a introduit les concepts et certaines méthodes de notre thèse. Ce chapitre a représenté de manière générale les risques que l'inondation fluviatile fait courir en permanence à la société humaine en région deltaïque. Il a proposé quelque définition des concepts fondamentaux liée aux cindyniques, et les méthodes (évaluation environnementale et géomatique) qui seront utilisées dans la suite de cette thèse pour appréhender le risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh au Viêt-Nam. Le chapitre 2 qui suit présente le cadre géographique de notre étude.

Chapitre 2 - Le cadre géographique

Le cadre géographique permet de déterminer les limites spatiales du travail et de présenter les fenêtres de l'analyse multi-scalaire. Nous présentons notre espace d'étude à différentes échelles spatiales : du niveau national jusqu'à la province de Binh Dinh en passant par une échelle régionale, et un focus sur le bassin versant du fleuve Ha Thanh. Cette présentation permet de situer les moyennes et grandes échelles retenues. Nous présentons également le développement des villes moyennes côtières, les conditions hydroclimatiques et les milieux environnementaux deltaïques au Viêt-Nam. Ce chapitre permet de poser les jalons géographiques de notre réflexion en partant d'une part, des caractéristiques humaines liées au contexte économique du pays et de la région du Centre et aboutissant à la détermination des enjeux humains et économiques, et d'autre part des caractéristiques physiques permettant de comprendre les spécificités hydroclimatiques engendrant des aléas naturels. Ces éléments serviront à intégrer les différentes formes de vulnérabilités, physiques et humaines dans le delta du fleuve Ha Thanh.

2.1. Le Centre-Viêt-Nam : développement des villes moyennes côtières

Le Viêt-Nam est un pays d'Asie du Sud-Est, s'étendant sur 1 650 km du Nord (23°23') au Sud (8°27')-(Atlas du Viêt-Nam, 2010). D'une surface de 330 957 km^2 (Bureau Général de la Statique, 2011), sa largeur ne dépasse pas 300 km (50 km pour la zone la plus étroite dans la province de Quang Binh au Centre). Le territoire est délimité au Nord par la Chine, à l'Est par la Mer de Chine méridionale ou *Bien Dong* en Viêt-Namien (Mer de l'Est ou Mer d'Orient), au Sud par le golfe de Thaïlande, à l'Ouest et au Sud-Ouest par le Laos et le Cambodge (Bui *et al.*, 2012)-(Fig. 2.1). Nous présentons principalement le Centre du Viêt-Nam, la région au cœur de nos problématiques de recherche.

2.1.1. Le fait urbain au Centre du Viêt-Nam

« Dès la fin du XIII^e siècle jusqu'à l'unification du pays en 1975, le Viêt-Nam est organisé en trois entités : le Tonkin (Bac Bo) au nord, l'Annam (Trung Bo) au centre et la Cochinchine (Nam Bo) au sud » (Cosaert, 1988).

- le nord se caractérise par un ensemble montagneux et la vaste plaine alluviale du fleuve Rouge (Pham, 2008);

- au centre, la chaîne annamitique (*Truong Son*) se développe en pente douce vers le sud et le sud-ouest;

- le sud est formé de la vaste plaine du delta du Mékong (Cosaert, 1988 ; Le, 1997).

La région du Centre est située à 650 km d'Hanoi et à près de 1100 km de Ho Chi Minh-Ville. Le pays se limite à une étroite bande de terre, bordée à l'Ouest par la chaîne annamitique, au Nord par les provinces de région du Nord-Ouest (Hoa Binh et Son La) et du delta du fleuve rouge (Ninh Binh) et au Sud par les provinces de région du Sud oriental (Binh Phuoc, Dong Nai et Ba Ria-Vung Tau)-(Fig. 2.1).

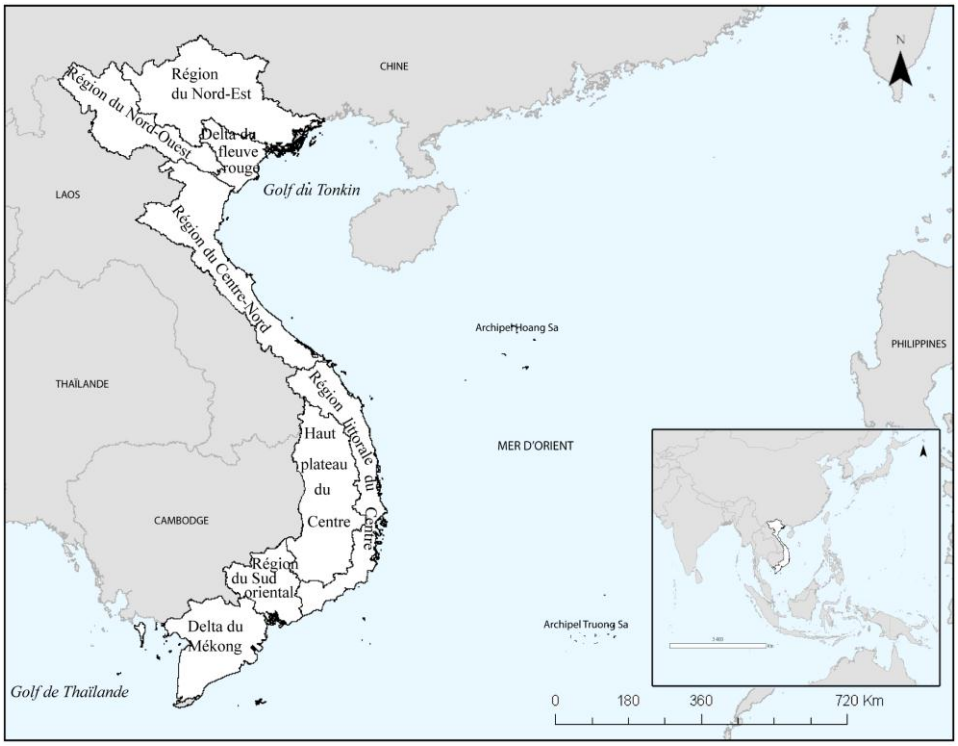


Figure 2.1. Les ensembles régionaux du Viêt-Nam (Ngo, 2012)

Le pays est partagé en trois unités régionales parallèles à la côte :

- Le Centre du Nord avec les provinces de Thanh Hoa, de Nghe An, d'Ha Tinh, de Quang Binh, de Quang Tri et de Thua Thien-Hué)-(Mai, 2009);

- Les Hauts Plateaux constitués des provinces de Lam Dong, de Dak Lak, de Kon Tum, de Gia Lai et de Dak Nong;

- Le Centre du Sud avec les provinces de Da Nang, de Quang Nam, de Quang Ngai, de Binh Dinh, de Phu Yen, de Khanh Hoa, de Ninh Thuan, et de Binh Thuan (Cosaert, 1988; Atlas du Viêt-Nam, 2010 ; Bui *et al.*, 2012)-(Fig. 2.2).

Nous présentons principalement le Centre du Viêt-Nam, la région où se situe notre terrain de recherche. Le Centre présente une superficie de 150 479 km^2, c'est-à-dire 45,5 % du territoire du pays et compte environ 24,33 millions habitants (27,7 % du pays) en 2011 (Tab. 2.1).

Tableau 2.1. Les régions du Viêt-Nam (Source : Bureau Général de la Statique [31], 2011)

Indicateurs	Nord	Centre	Sud
Superficie *(km²)*	116 332,5 (35,1 % du pays)	150 479,0 (45,4 % du pays)	64 146,1 (19.5 % du pays)
Population en 2011 *(estimation en millions)*	31 289,8 (35,6 % du pays)	24 328,5 (27,7 % du pays)	32 221,7 (36,7 % du pays)
Densité de population moyenne	269 hab./km²	162 hab./km²	502 hab./km²

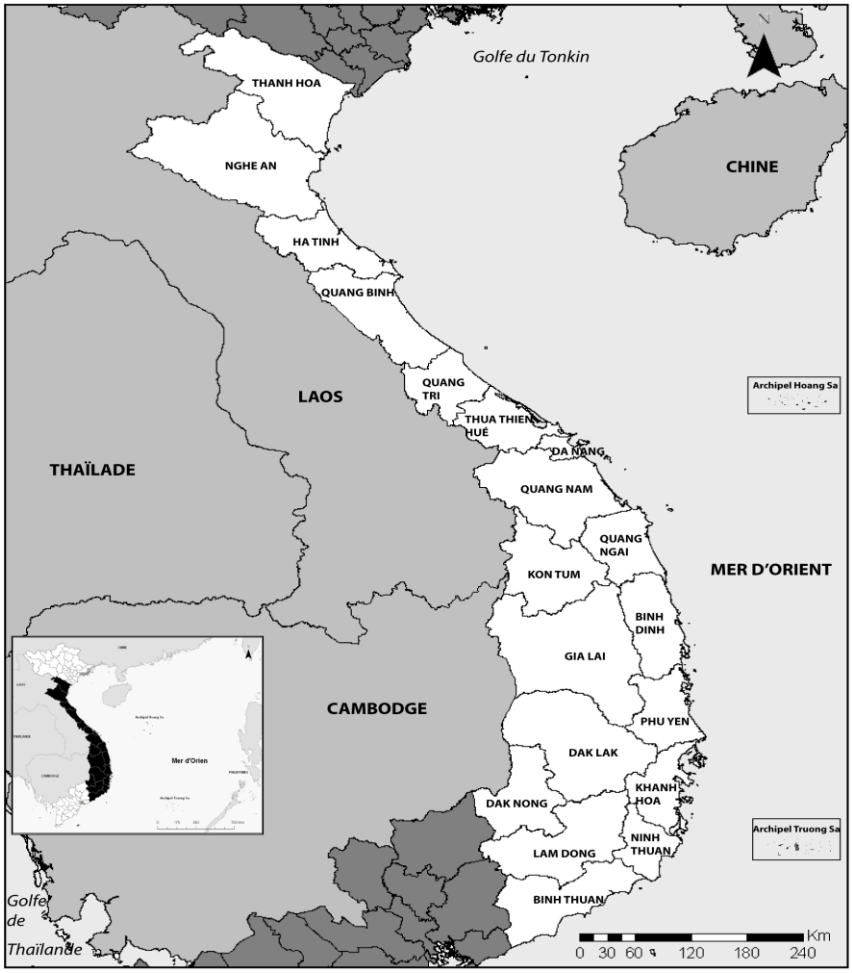


Figure 2.2. Les provinces du Centre du Viêt-Nam (Ngo, 2012)

Avec 162 habitants/km², la densité de population y est relativement faible au regard du reste du pays (moitié de celle du Nord et un tiers du Sud). Cependant, le Centre représente une position stratégique très importante dans la géographie, l'économie, la politique, la culture et la sécurité nationale (Truong, 2010). Le 18 février 2004, le Premier Ministre du gouvernement du Viêt-Nam a signé une décision pour la planification et la construction dans les principaux pôles économiques des provinces du Centre : Thua Thien-Hué, Da Nang,

[31] http://www.gso.gov.vn/default_en.aspx?tabid=491

Quang Ngai, Quang Nam et Binh Dinh (Décision N° 20/2004/QD-TTg [32]). Les provinces sont occupées par un chapelet de villes moyennes côtières, de la ville de Da Nang à la ville de Phan Thiet (Fig. 2.3), constituant des pôles de dynamisme économique dans la région du Centre.

Ce dynamisme économique est lié principalement à l'interface maritime longue d'environ 560 km, et correspond à une succession de cordons littoraux, sableux et rocheux, fermant des lagunes et des plaines deltaïques (Cosaert, 1988). La ville de Da Nang est la principale ville du Centre du Viêt-Nam, avec environ 1 million habitants et une densité d'environ 721 hab./km^2.

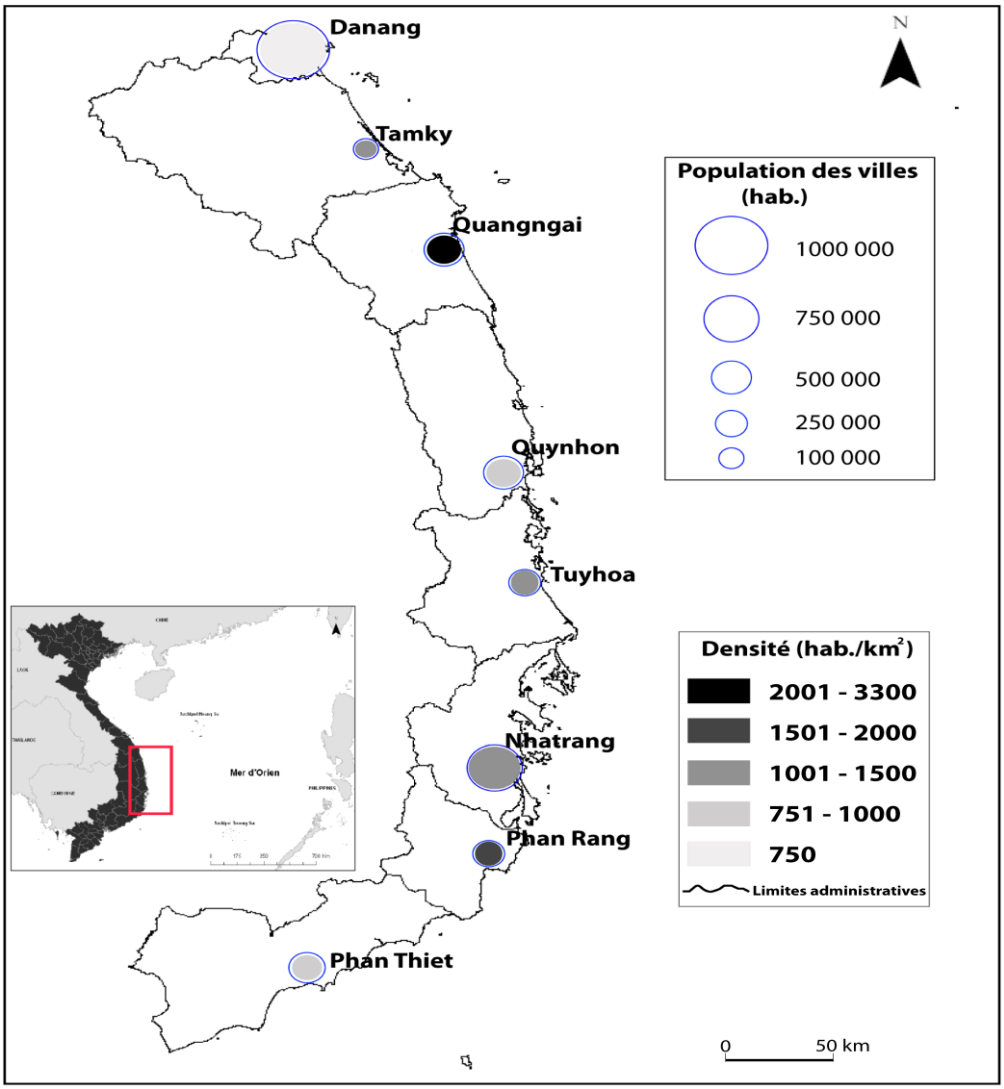


Figure 2.3. Villes moyennes côtières au Centre du Viêt-Nam

(Source : Bureau Général de la Statistique. Réalisation : Ngo, 2012)

[32] http://thuvienphapluat.vn/archive/Quyet-dinh-20-2004-QD-TTg-thanh-lap-To-chuc-dieu-phoi-phat-trien-vung-kinh-te-trong-diem-vb51882.aspx

Les stratégies de développement économique de la région du Centre sont dans la continuité de la libéralisation de l'Economie dans laquelle est engagé le Viêt-Nam depuis la fin des années 1980, avec le Đổi Mới (politique de renouveau). La croissance urbaine peut être considérée comme une illustration concrète de cette dynamique économique. « Le pays est ainsi passé d'une économie centralisée et planifiée à une économie de marché dite "à orientation socialiste" […]. Le développement économique s'accompagne d'une intensification de l'urbanisation » (Le, 2000 ; Mottet et Roche, 2008). L'expansion urbaine part le plus souvent de noyaux industriels, moteurs de cette économie. A titre d'exemple, au début 2008, on recensait 171 zones industrielles au Viêt-Nam, fin 2008 on en comptait déjà 194 (Nguyen, 2009).

Dans le Centre du Viêt-Nam, les villes moyennes côtières se sont développées et construites autour de nombreuses activités industrielles. Ce développement se poursuit, c'est le cas notamment des parcs d'activités industrielles suivants : Phu Tai pour la ville de Quy Nhon, Hoa Ninh pour Da Nang, Dung Quat à Quang Ngai, An Phu à Tuy Hoa...

En parallèle à ce développement des zones industrielles, les autorités ont aménagé de grandes zones économiques : Chu Lai-Dung Quat à Quang Ngai et Nhon Hoi à Quy Nhon. Ces zones économiques se répartissent sur environ 518 km du littoral et sont toutes dotées de ports : le port de Quy Nhon (construit en 1793), le port de Da Nang (1901) et le port de Nha Trang (1976). Ces "têtes de pont" économiques sont essentielles pour asseoir les stratégies de développement des villes du Centre. Ainsi, en 2005, les autorités Viêt-Namiennes ont aménagé deux grands ports maritimes : le port de Dung Quat à Quang Ngai (Décision N° 50/2005/QĐ-TTg [33]; Truong, 2010) et le port de Nhon Hoi à Quy Nhon (Décision N°141/2005/QĐ-TTg [34]). Ce dispositif portuaire permet les connexions économiques et humaines entre la région littorale et le reste du pays, comme les Hauts Plateaux, le delta du fleuve rouge et le delta du Mékong, mais également avec les pays frontaliers comme le Laos et le Cambodge. Les villes portuaires constituent des nœuds de communication incontournables et stratégiques en Asie du sud-est, en se positionnant à la croisée des routes nationales *1A HCM* (Ho Chi Minh), *14*, *19* et des flux internationaux des aéroports de Da Nang, de Cam Ranh, dans la province de Khanh Hoa, et de Phu Cat dans la province de Binh Dinh (Fig. 2.4).

[33] http://www.moj.gov.vn/vbpq/Lists/Vn%20bn%20php%20lut/View_Detail.aspx?ItemID=17540

[34] http://thuvienphapluat.vn/archive/Quyet-dinh-141-2005-QD-TTg-thanh-lap-ban-hanh-Quy-che-hoat-dong-Khu-kinh-te-Nhon-Hoi-tinh-Binh-Dinh-vb2257.aspx

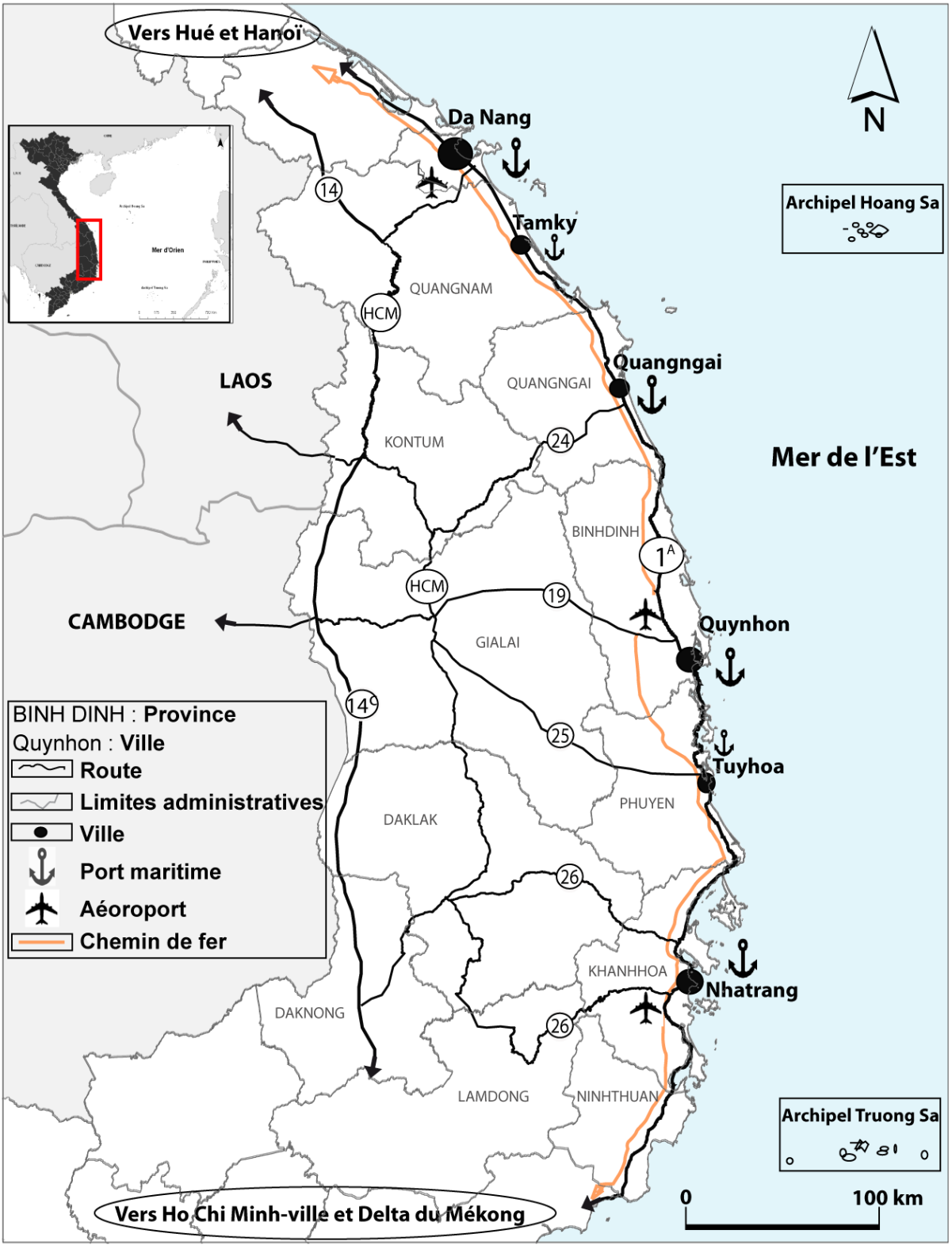


Figure 2.4. Réseau de communication de la région littorale du Centre du Viêt-Nam (Source : Atlas du Viêt-Nam, 2010. Réalisation : Ngo, 2012)

Ainsi, pour promouvoir le rôle central du développement économique de la région du Centre du Viêt-Nam, le Premier Ministre rendait publique, le 13 août 2004, la décision 148/2004/QD-TTg [35]. Cette décision fixait les principales directives socio-économiques pour la région aux horizons 2010 et 2020 :

- planification et construction d'un modèle de réseau urbain. Il s'agit de faire de Da Nang, la principale ville de ce réseau dans la région du Centre;

- investissements ciblés pour le développement urbain. La ville de Quy Nhon doit devenir le centre urbain de la région du Centre-Sud. Il s'agit de moderniser les autres centres urbains que sont Hoi An, Tam Ky, Quang Ngai et Nhon Hoi (Tab. 2.2);

- planification de nouvelles zones urbaines associées à des parcs industriels : Van Tuong à Quang Ngai, Nhon Hoi à Quy Nhon;

- extension et étalement du fait urbain : la ville de Da Nang doit passer à environ 1 million d'habitants, et sera étendue à 1 ou 2 quartier(s) vers le district de Hoa Vang (sud-ouest de Da Nang); la ville de Quy Nhon sera étendue vers le sud, au nord-est et à l'ouest.

Tableau 2.2. Evolution programmée des villes

Ville	**Population (millier de personnes)**	
	Année 2005	**Année 2020**
Tam Ky (province de Quang Nam)	120	200
Dien Ngoc-Dien Nam (ville de Quang Nam)	122	200
Quang Ngai (Province de Quang Ngai)	5	15
Van Tuong (ville de Quang Ngai)	3	80
Nhon Hoi (ville de Quy Nhon)	2	12

(Sources : décision 148/2004/QD-TTg en 2004 ; Bureau de Quang Nam de la Statistique ; Bureau de Quang Ngai de la Statistique ; Bureau de Binh Dinh de la Statistique)

2.1.2. La province de Binh Dinh

La province de Binh Dinh est située dans le Centre - Sud du Viêt-Nam, à 1 065 km au sud d'Hanoi et 649 km au nord d'Ho Chi Minh-Ville (Fig. 2.2&2.5). Elle s'étend sur une superficie de 6 050 km^2 avec 90 km de littoral. Bordée au nord par la province de Quang Ngai, où il y a la zone industrielle de Dung Quat, au sud par la province de Phu Yen, où il y a un grand potentiel pour développer du tourisme et des services, à l'ouest par la province de Gia Lai (le haut plateau), où il y a beaucoup de ressources naturelles potentielles (bauxite, basalte).

[35] http://thuvienphapluat.vn/archive/Quyet-dinh/Quyet-dinh-148-2004-QD-TTg-phuong-huong-chu-yeu-phat-trien-kinh-te-xa-hoi-vung-kinh-te-trong-diem-mien-Trung-2010-2020-vb52326t17.aspx

La province de Binh Dinh se situe sur un axe de communication routier entre le nord, le sud et l'ouest du Viêt-Nam : Ha Noi au nord et Ho Chi Minh-ville au sud (la route Nationale 1A et le chemin du fer) et les hauts plateaux, Laos et Cambodge à l'ouest (la route 19)-(Fig. 2.4).

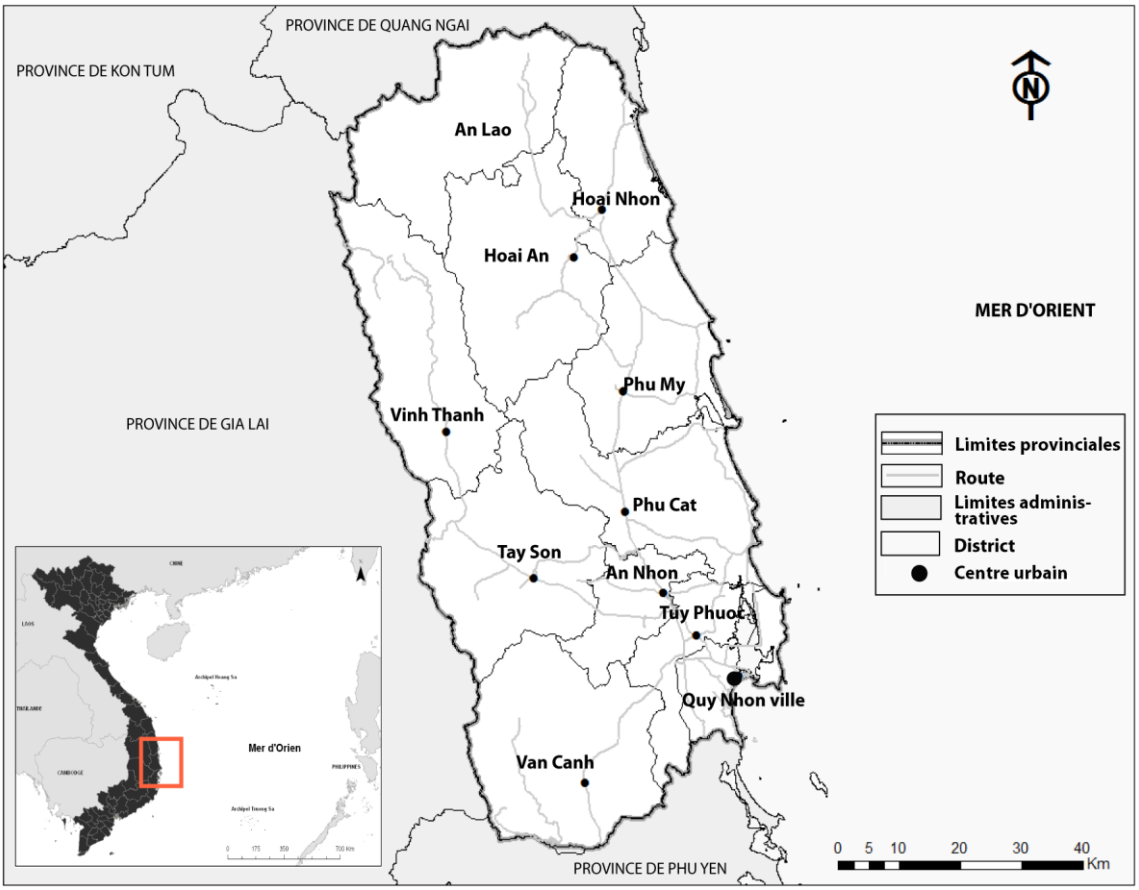


Figure 2.5. Position stratégique de la province de Binh Dinh au Viêt-Nam (Ngo, 2012)

Pour comprendre son importance et les projets de développement économique actuels programmés pour cette province (Fig. 2.6), il convient de réaliser un rapide aperçu historique de l'évolution administrative mouvementée de Binh Dinh.

Historiquement, la province de Binh Dinh est la terre de l'état du Champa. Le Royaume de Champā ou Tchampa était, entre 192 et 1832 (Tran, 1919) un État de culture hindouiste situé dans la zone centrale du Viêt-Nam moderne (Maspero, 1928). L'ancien royaume du Champa, fondé au début de l'ère chrétienne, se développe du X^{e} au XV^{e} siècle (Tran, 1919 ; Nguyen, 2010). Des vestiges de cette civilisation subsistent encore dans le paysage (Fig. 2.7).

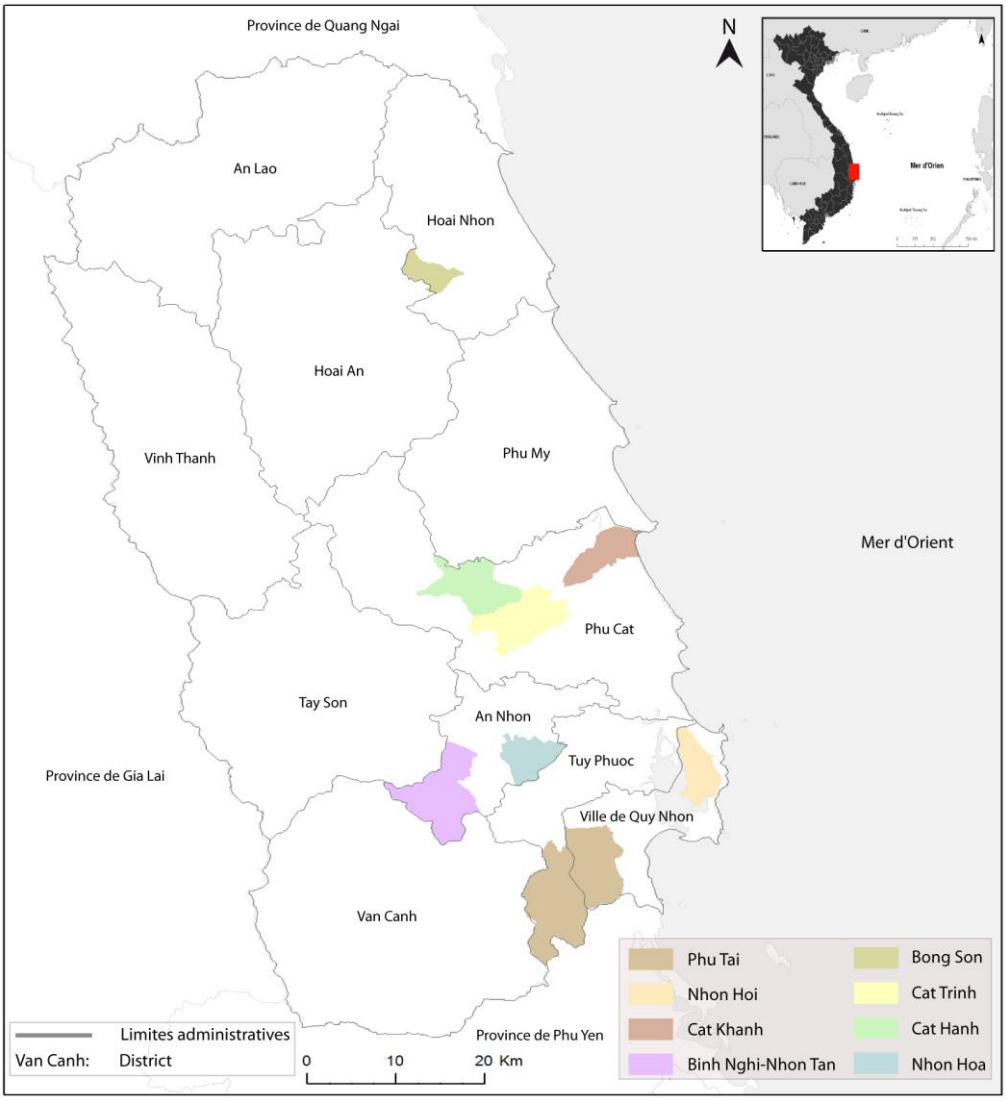


Figure 2.6. Projets de développement économique actuels programmés pour la province de Binh Dinh (Source : Comité des Personnes de la province de Binh Dinh. Réalisation : Ngo, 2013)

Figure 2.7. Deux tours de l'ensemble de Banh It (XIe siècle), village de Phuoc Hiep, district de Tuy Phuoc, de la province Binh Dinh (Source : http://sotaydulich.com, 2012. Réalisation : Ngo, 2013)

Plus récemment, durant la période de colonisation française, vers 1885, Binh Dinh est une grande province (Trung Ky) constituée des provinces actuelles de Gia Lai et de Kon Tum (les Hauts Plateaux) appartient à Binh Dinh. En 1890, les français y annexent la province de Phu Yen (Binh Dinh est alors appelée de Binh-Phu). Quy Nhon en est la ville principale. En 1899, Les français font de Binh Dinh une province indépendante (Duong, 1982). En 1910, Binh Dinh est une grande province comptant 557 876 habitants et comprenant sept districts (appelé « phủ » en Viêt-Namien)- (Gougad, 1910 ; Nguyen, 1996). En 1943, la province compte environ 780 300 habitants pour une surface de 6 100 km^2 (Annuaire Statistique du Viêt-Nam, 1975)- (Fig. 2.8).

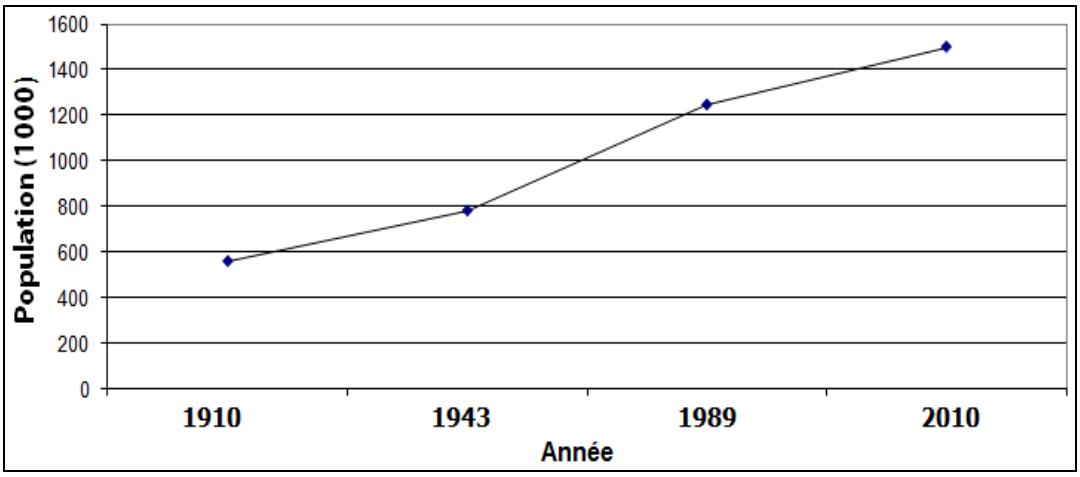


Figure 2.8. Evolution démographique de la province de Binh Dinh (1910-2010) (Sources: Nguyen, 1996 ; Annuaire Statistique du Viêt-Nam, 1975 ; Bureau de Binh Dinh de la Statistique)

Après la révolution d'Août 1945 menée par le Viêt-Minh, le 23 novembre 1945, le Président du Gouvernement provisoire décide une ordonnance 63/SL [(36)] pour l'organisation d'un Conseil populaire et d'un Comité administratif (Fig. 2.9). La province de Binh Dinh change à nouveau de morphologie et compte huit districts (Hoai Nhon, An Nhon, Phu Cat, Hoai An, Phu My, Tuy Phuoc, Binh Khe) et une ville (Quy Nhon).

[36] http://thuvienphapluat.vn/archive/Sac-lenh/Sac-lenh-63-SL-to-chuc-Hoi-dong-nhan-dan-Uy-ban-hanh-chinh-vb35912t18.aspx

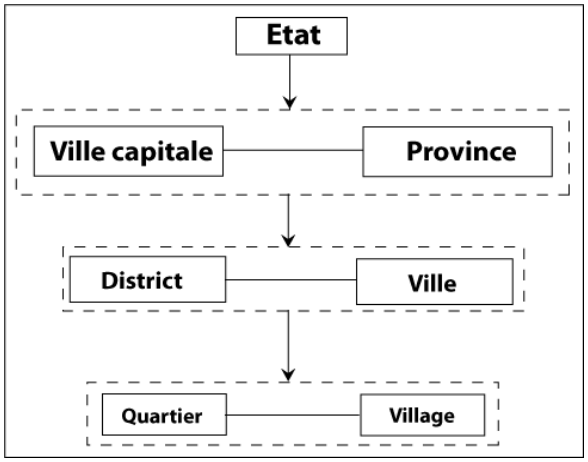


Figure 2.9. Niveaux d'échelles administratives au Viêt-Nam

(Source : Ordonnance 63/SL du 23 novembre 1945. Réalisation : Ngo, 2013)

Après la guerre d'indépendance de 1975, la province de Binh Dinh et la province de Quang Ngai sont annexées et deviennent une seule et même province : la province de Nghia-Binh (Do, 2005). Le 4 mars 1989, le Comité Central du Politburo du Viêt-Nam décide une nouvelle ordonnance 83-QĐ/TW [(37)] pour partager la province de Nghia-Binh. C'est ainsi que les deux provinces, Binh Dinh et Quang Ngai, retrouvent leur identité administrative.

Aujourd'hui, la province de Binh Dinh comprend dix districts (An Nhon, An Lao, Phu Cat, Phu My, Hoai An, Hoai Nhon, Tuy Phuoc, Tay Son, Van Canh, Vinh Thanh) et la ville de Quy Nhon (Fig. 2.5). Sa population totale atteint environ 1,5 millions d'habitants, soit 6,12 % de la population de la région du Centre et 1,7 % de celle du pays (Bureau Général de la Statistique, 2010), pour une superficie de 6 050 km^2, soit une densité de 246,2 hab./km^2 (Bureau de Binh Dinh de la Statistique, 2010) (Tab. 2.3).

Tableau 2.3. Les districts et la ville de Quy Nhon dans la province de Binh Dinh

Nom	**Superficie (en km^2)**	**Population (milliers)**	**Densité (hab./km^2)**
Quy Nhon	286	281,1	983,0
An Lao	692	24,3	35,0
Hoai Nhon	421	206,0	489,4
Hoai An	745	84,6	113,6
Phu My	550	169,7	308,5
Vinh Thanh	723	28,0	38,8
Tay Son	693	123,6	178,3
Phu Cat	680	188,5	277,1
An Nhon	243	178,8	735,9
Tuy Phuoc	217	180,4	831,3
Van Canh	800	24,7	30,9
Total	**6050**	**1489,7**	**246,2**

(Source: Bureau de Binh Dinh de la Statistique, 2010)

[37] http://www.cpv.org.vn/cpv/Modules/News/NewsDetail.aspx?co_id=30555&cn_id=167722

La position géographique de la province de Binh Dinh, lui confère une place importante dans le développement socio-économique de la région du Centre et même des Hauts Plateaux.

La politique urbaine de la province est fondée sur le plan directeur d'orientation du développement urbain pour 2020, élaboré par le ministère de la Construction, ministère responsable de la politique urbaine et l'aménagement. Elle est guidée par la loi N°16/2003/QH11 [(38)] du 26 novembre 2003 sur la Construction, et placée sous l'égide du Ministère de la Construction par la décision N°54/2009/QD-TTg [(39)], du 14 avril 2009 énoncée par le Premier ministre pour le plan directeur d'aménagement et de développement socio-économique de la province de Binh Dinh à l'horizon 2020.

Les orientations 2020 pour la province de Binh Dinh sont donc les suivantes :

- planification du développement, de l'industrialisation et de la modernisation : augmenter la proportion des industries, les constructions et les services ; réduire la proportion des ruraux, la sylviculture et pêche ;

- investissement pour le développement de la zone économique de Nhon Hoi;

- Quy Nhon sera le centre du développement économique, culturel et politique du Centre-Sud;

- en 2020, la province aura quatre petites villes supplémentaires : la petite ville de Binh Dinh du district d'An Nhon, celle de Bong Son du district d'Hoai Nhon, celle de Phu Phong du district de Tay Son et celle de Cat Tien du district de Phu Cat;

- nouvelles planifications de l'étalement urbain pour la ville de Quy Nhon à l'aval du fleuve Ha Thanh, sur la péninsule de Nhon Hoi et dans le nouveau quartier de Cat Tien du district de Phu Cat.

Ces orientations donnent l'ampleur des projets de développements économique et urbain programmés à court terme (horizon 2020) pour la province de Binh Dinh et son centre urbain, Quy Nhon.

2.1.3. La ville de Quy Nhon

La ville de Quy Nhon est située sur la côte centrale du Viêt-Nam dans la province de Binh Dinh. Elle dispose d'un cordon littoral sableux d'environ 42 km, lieu du développement touristique, et d'une interface portuaire, pôle dynamique de la province. La ville est connue des touristes étrangers et Viêt-Namiens pour ses plages de sable fin. Le territoire de Quy

[38] http://thuvienphapluat.vn/archive/Luat-xay-dung-2003-16-2003-QH11-vb51699.aspx

[39] http://thuvienphapluat.vn/archive/Quyet-dinh-54-2009-QD-TTg-phe-duyet-quy-hoach-tong-the-phat-trien-kinh-te-xa-hoi-tinh-Binh-Dinh-den-nam-2020-vb87343.aspx

Nhon est délimité par la mer de l'Est, au sud par la province de Phu Yen, à l'ouest par le district de Van Canh, et au nord par les districts de Tuy Phuoc et de Phu Cat (Fig. 2.10).

Quy Nhon est la ville capitale de la province de Binh Dinh. Son territoire couvre 285,53 km^2, soit 4,7 % de la superficie de l'ensemble de la province de Binh Dinh (6 039 km^2). La ville compte 280 942 habitants, soit 19 % de la population totale de la province de Binh Dinh (1.489.700 habitants). La densité moyenne est de 984 hab./km^2 (Fig. 2.3) et le taux annuel moyen d'accroissement démographique d'environ 1,87 % (Bureau de Binh Dinh de la Statistique, 2010).

Quy Nhon est très ancienne. Elle est une terre d'accueil des peuples anciens de la culture Sa Huynh [(40)], puis de la culture Champa au XII^{e} siècle. A cette évoque, Quy Nhon est considérée comme un petit pôle commercial animé. En 1602, Quy Nhon est une unité administrative au niveau de "Phủ" (comme une petite ville) par le Seigneur Nguyen Hoang. En même temps, Quy Nhon est le centre de l'économie et de la politique de la province de Binh Dinh (Do, 2005).

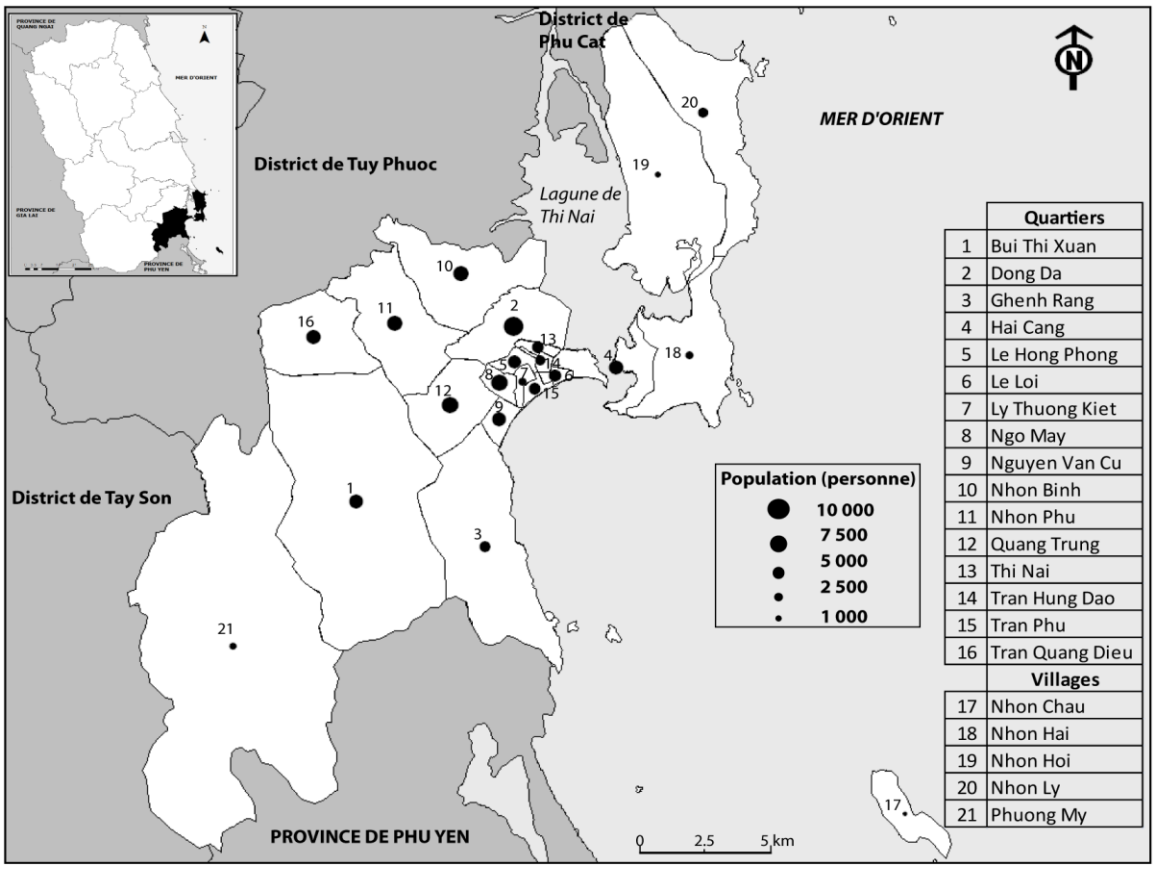


Figure 2.10. Répartition de la population des quartiers de Quy Nhon (Ngo, 2012)

[40] « Sa Huynh a fleuri dans le centre et le sud de l'actuel Viêt Nam entre 1000 avant notre ère et 200 après » (Source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Culture_de_Sa_Huỳnh).

Le 20 octobre 1898, l'Empereur Thanh Thai (1879 – 1954), 10e souverain de la dynastie des Nguyễn au Việt Nam décide d'établir sa capitale à Quy Nhon (Do et Nguyen, 1998).

Après la guerre d'indépendance de 1975, les deux provinces de Binh Dinh et de Quang Ngai ont fusionné pour n'en devenir qu'une seule : Nghia-Binh, dont Quy Nhon fût la capitale. La province de Binh Dinh est reconstituée en 1989 avec Quy Nhon comme capitale. A cette époque, la population de Quy Nhon est déjà nombreuse, avec environ 174 076 habitants, huit quartiers, sept villages et une superficie de 212 km^2 (Nguyen, 1998). Ainsi, la ville de Quy Nhon est depuis plus de 110 ans un centre politique, économique, culturel de la province de Binh Dinh.

Aujourd'hui, la ville Quy Nhon est découpée en 16 quartiers (Tran Quang Dieu, Bui Thi Xuan, Dong Da, Thi Nai, Quang Trung, Ghenh Rang, Ngo May, Nguyen Van Cu, Tran Hung Dao, Le Hong Phong, Ly Thuong Kiet, Tran Phu, Le Loi, Hai Cang, Nhon Binh et Nhon Phu) et 5 villages (Nhon Ly, Nhon Hai, Nhon Hoi, Nhon Chau et Phuoc My)-(Bureau de Quy Nhon de la statistique, 2010)-(Fig. 2.10).

En 2004, le plan d'aménagement et de développement de la ville prévoit, à l'horizon 2020, une extension de 334,73 km^2 soit 500 000 personnes (décision 98/2004/QD – TTg [41] du 1er juin 2004 du Premier ministre). Cette extension concerne :

- à l'ouest, les centres industriels de Phu Tai (dans les quartiers de Bui Thi Xuan et de Tran Quang Dieu) et Long My (dans le village de Phuoc My);

- au nord-est, le centre industrio-économique de Nhon Hoi qui constituerait une nouvelle centralité.

L'urbanisation de Quy Nhon se concentre sur les surfaces les plus planes, principalement au nord en zone inondable.

Pour analyser une partie des projets d'extension urbaine de la ville et les risques associés, nous choisissons deux quartiers en expansion : Nhon Binh et Dong Da (Fig. 2.11). Le risque d'inondation semble très marqué dans ces nouveaux quartiers positionnés à la sortie du delta du fleuve Ha Thanh, tout particulièrement le long de la route menant au pont de Thi Nai.

[41] http://thuvienphapluat.vn/archive/Quyet-dinh/Quyet-dinh-98-2004-QD-TTg-phe-duyet-dieu-chinh-Quy-hoach-chung-thanh-pho-Quy-Nhon-Binh-Dinh-den-2020-vb5897t17.aspx

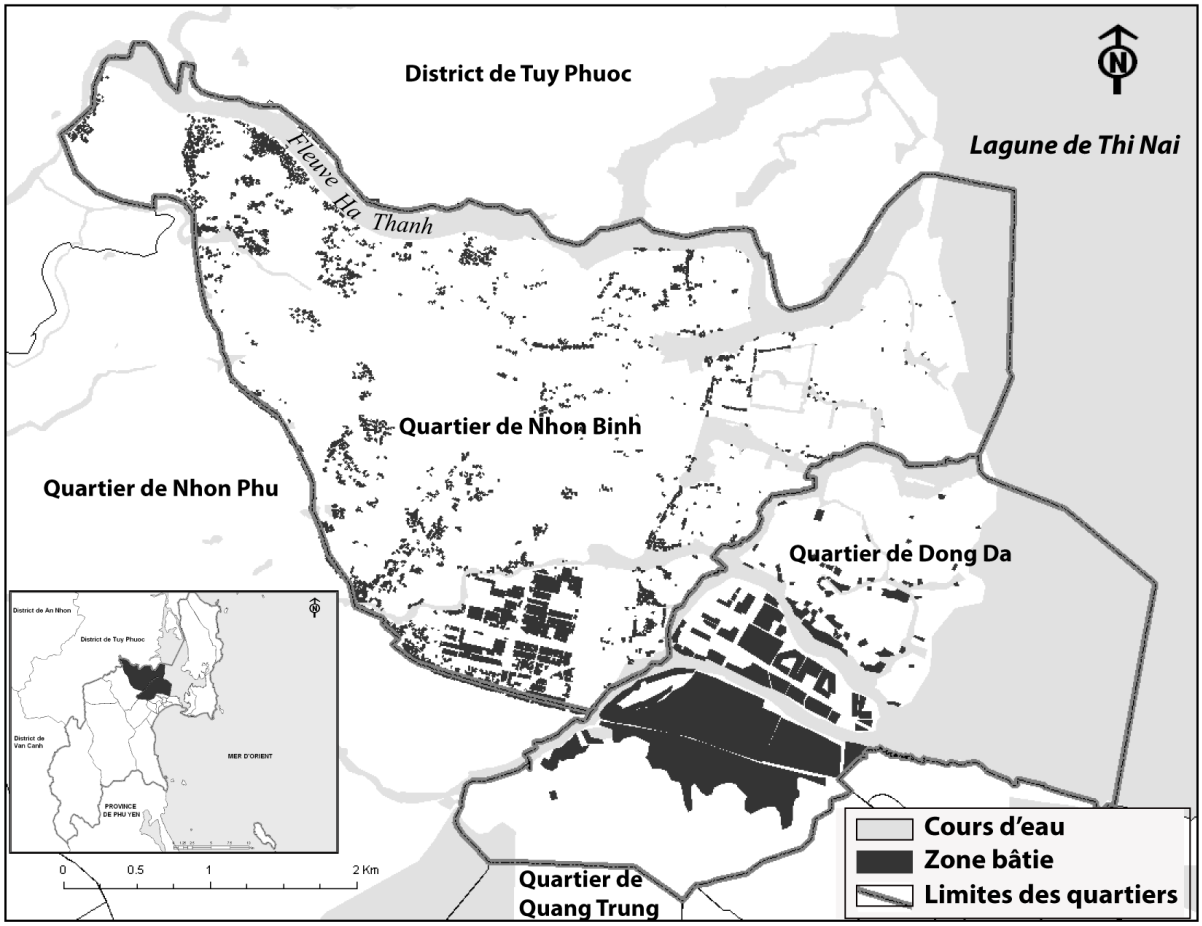


Figure 2.11. Localisation des quartiers Nhon Binh et Dong Da de la ville de Quy Nhon (Ngo, 2012)

Les villes moyennes côtières sont devenues les lieux de la dynamique de développement économique voulue par les politiques Viêt-Namiennes afin de créer des emplois, d'améliorer les conditions de vie et le niveau d'éducation des habitants. La ville de Da Nang doit asseoir son développement dans les domaines de la technologie et du tourisme balnéaire. La ville de Tam Ky doit se développer dans domaine de la mécanique-automobile. Les villes de Quang Ngai et Quy Nhon doivent développer leur potentielle industrio-portuaire (raffinerie, industries chimiques). Les villes de Nha Trang et Phan Rang axent leur développement sur le tourisme maritime.

L'expansion urbaine au Centre du Viêt-Nam résulte donc de plusieurs facteurs : des mouvements migratoires des campagnes vers les villes, de l'absorption de groupements ruraux à la périphérie des villes en extension et du développement économique et industriel. Des zones résidentielles, des zones urbaines et des zones industrielles sont construites massivement. Entre 2001-2005, au Viêt-Nam, des zones agricoles ont été converties en zones urbaines et industrielles, à un rythme 915 km^2/an (Source : http://www.monre.gov.vn, consulté le 12 janvier 2013).

Ce fait urbain dans la région du Centre pose déjà des problèmes environnementaux et sociétaux : développement périurbain dans des zones agricoles et naturelles, en zones inondables censées être non constructibles. La périurbanisation s'accompagne le plus souvent d'habitat spontané (sans équipements) et participe au mitage des espaces périurbains, sans respect des terres agricoles ou maraichères et sans tenir compte des zones inondables. L'anarchie urbanistique peut également régner avec l'absence d'équipements publics planifiés (non réalisation d'élargissement de voies, non plan de participation de la population). Les politiques d'urbanisation et d'extension des villes du Centre du Viêt-Nam interfèrent également avec l'environnement et les caractéristiques hydroclimatiques de la région.

2.2. Les conditions hydroclimatiques au Viêt-Nam

2.2.1. Caractéristiques générales du climat Viêt-Namien

Le climat vietnamien est de type subtropical humide au nord à tropical au sud. « Son caractère principal est d'être soumis au régime des moussons » (Pham, 2008). Au Viêt-Nam, il y a deux saisons de mousson : la mousson de sud-ouest (de mai à octobre) et la mousson de nord-est (de décembre à avril)-(Pham, 2008 ; Atlas du Viêt-Nam, 2010)-(Fig. 2.12).

La pluviosité moyenne est comprise entre 1 600 et 2 000 mm/an. Les plus forts niveaux de précipitations s'enregistrent dans les montagnes du nord-ouest du Viêt-Nam ainsi que sur les plateaux; cette pluviosité est de 2 400 à 3 200 mm/an. Inversement, les plus faibles pluviosités, de 800-900 mm/an, sont enregistrées sur les côtes du Sud du Centre du Viêt-Nam. Les températures moyennes annuelles sont de 22°C à 27°C (Fig. 2.13).

Pendant la saison sèche, les vents de la mousson viennent du nord-est et les vents à effet de foehn viennent du sud-ouest. Les précipitations sur le Viêt-Nam arrivent donc principalement de l'est dans le Nord et le Centre du pays et du sud dans le Sud et sur les Hauts-Plateaux du centre. Environ 90 % des précipitations se produisent pendant la saison des pluies; de lourdes pluies se déversent alors sur le pays.

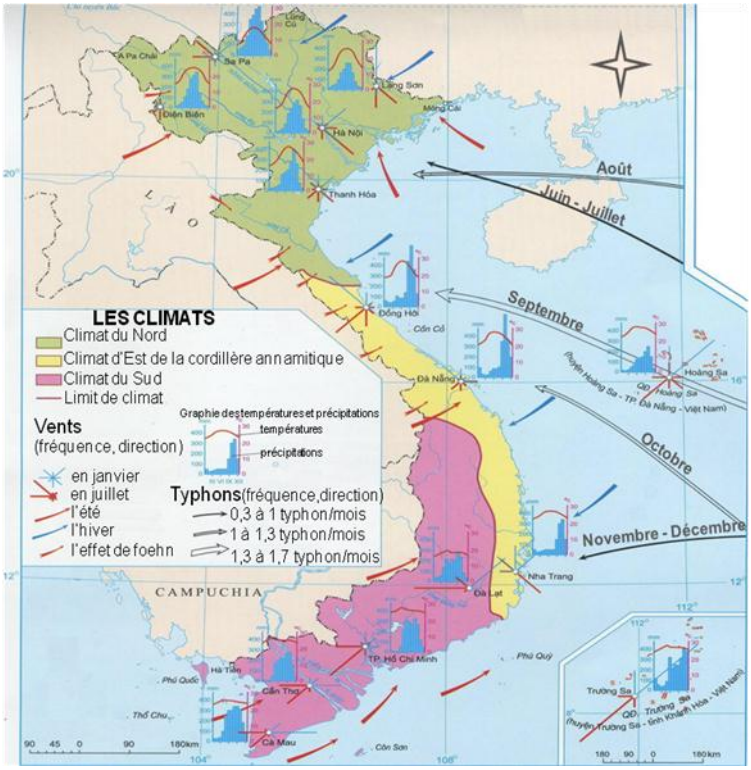


Figure 2.12. Les climats du Viêt-Nam (Source: Atlas du Viêt-Nam, 2010, p.7)

Les précipitations peuvent « dépasser les 4 000 mm dans certaines régions », comme dans le district d'A Luoi – province de Thua Thien – Hué avec 3 400 à 5000 mm par an (Nguyen et Tran, 2005).

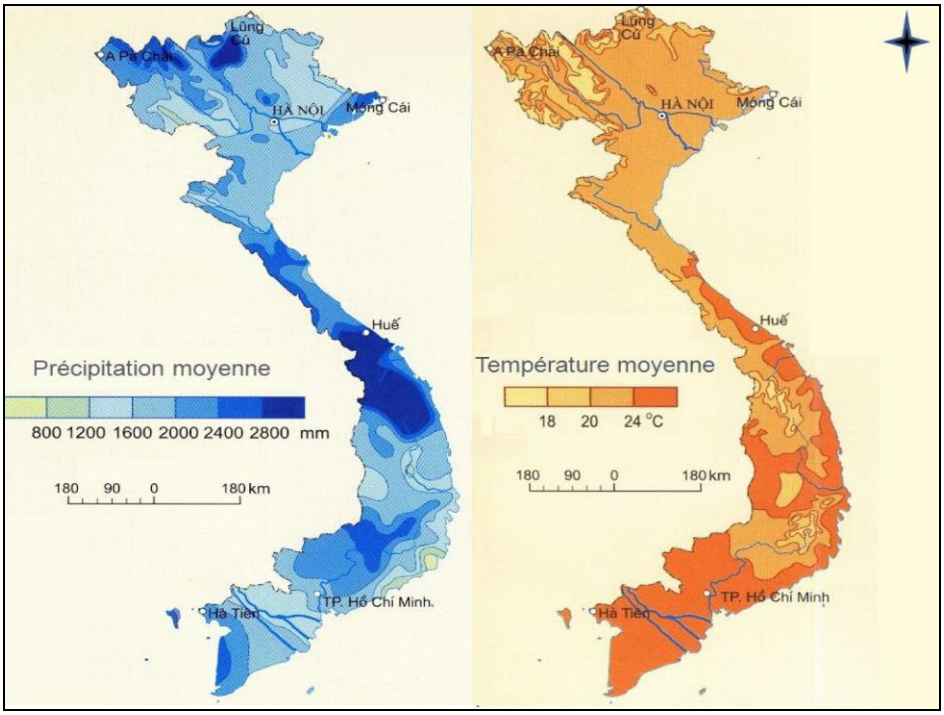


Figure 2.13. Précipitations et températures moyennes du Viêt-Nam.
(Source : Atlas du Viêt-Nam, 2010, p.7)

En raison du relief varié (Fig. 2.14), de l'influence des vents (Fig. 2.12), le climat est très diversifié. Le nord a un climat subtropical divisé en deux saisons : une saison fraîche et sèche entre novembre à avril. Pendant l'hiver vietnamien, les vents de la mousson viennent du nord-est, (Fig. 2.12 et 2.14) ; une saison chaude et très pluvieuse entre mai et octobre. La température moyenne annuelle est d'environ 24°C et les précipitations moyennes annuelles de 1 676 mm (Tab. 2.4 et Fig. 2.13). De septembre à novembre, de violents typhons touchent le littoral Viêt-Namien (Fig. 2.12).

Le sud est caractérisé, de décembre à avril, par une période sèche et ensoleillée, et de mai à novembre, par une saison des pluies. Le sud est moins touché par les typhons que le nord et le centre. La pluviométrie moyenne annuelle est d'environ 1 949 mm et la température moyenne d'environ 28°C (Tab. 2.4 & Fig. 2.13).

Tableau 2.4. Données climatologiques des régions du Viêt-Nam (1998-2008)

Mois	**Hanoi (Nord)**		**Da Nang (Centre)**		**Ho Chi Minh-ville (Sud)**	
	Température moyenne (°C)	Précipitations moyennes (mm)	Température moyenne (°C)	Précipitations moyennes (mm)	Température moyenne (°C)	Précipitations moyennes (mm)
Janvier	16.45	18.6	21.5	100	26.5	14
Février	17.45	26.2	22.5	30	27.5	4
Mars	20.5	43.8	24.5	30	28.5	12
Avril	24.2	90.1	26	30	29	42
Mai	28	189	28	60	29	220
Juin	29	240	29	80	28	331
Juillet	29.5	288.2	29	90	28	313
Août	28.8	318	29	100	28	267
Septembre	27.8	265.4	28	300	27	334
Octobre	25.25	130.7	25.5	550	27	268
Novembre	21.4	43.4	24	330	26	115
Décembre	18.55	23.4	21.5	220	26.5	56

(Source : Organisation météorologique mondiale-OMM [42])

[42] http://www.wmo.int/pages/index_fr.html

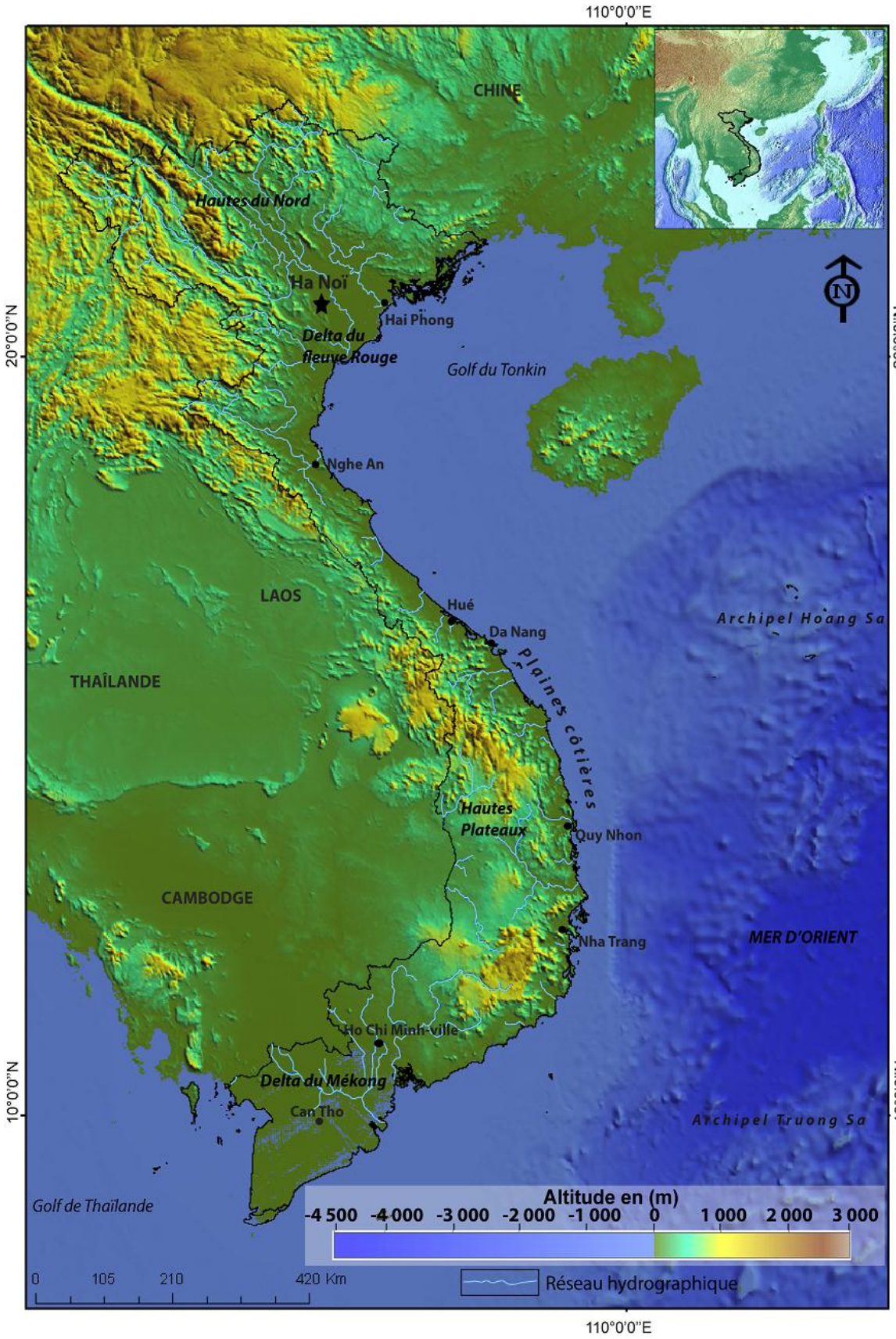


Figure 2.14. Relief, réseau hydrographique et principales villes du Viêt-Nam (Ngo, 2012)

2.2.2. Les risques hydroclimatiques et cycloniques

« Le Viêt-Nam appartient à l'Asie des moussons, marquée par de fortes précipitations et des typhons fréquents » (Fontenell, 2004, p.40). Les typhons se produisent souvent de juin à juillet pour le nord du pays, en août pour le centre, et en septembre-octobre pour le sud. Au Viêt-Nam, les typhons se produisent généralement dans la zone extracôtière da la Mer de Chine méridionale et se déplacent vers le Viêt-Nam en passant par la Mer des Philippines où ils génèrent de fortes pluies jusqu'à 1000 km à l'intérieur des terres et des vents forts jusqu'à 300 km/h (Source : http://www.cyclonextreme.com, consulté le 12 mars 2013). En s'approchant de la côte, ils provoquent sur côtes marines et de fortes pluies sur une grande surface. Ces phénomènes engendrent des crues des rivières côtières. A partir d'avril, le nombre de typhons augmente jusqu'au maximum en octobre (plus de 50 typhons enregistrés le mois d'octobre depuis 1945). La saison des typhons a donc lieu, chaque année, de septembre à novembre (Fig 2.15).

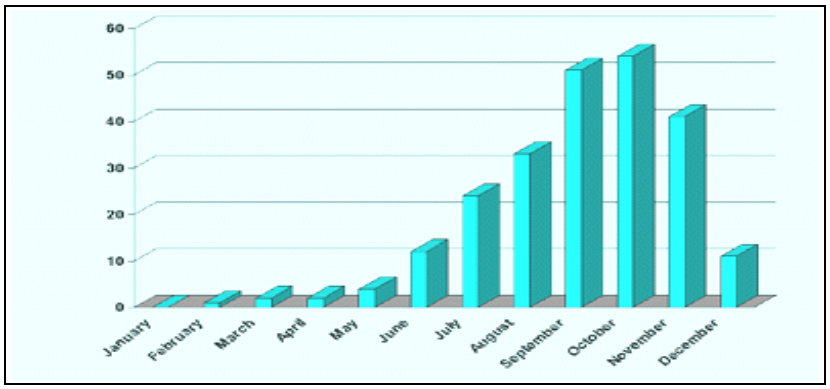


Figure 2.15. Nombre de dépressions tropicales et typhons au Viêt-Nam sur la période 1945-1998)
(Source: www.vnbaolut.com)

Au Viêt-Nam, la fréquence moyenne annuelle de typhons est d'environ 5 % par an (Fig. 2.16). De février à avril, il n'y a pas de typhons. D'avril à mai, il y a peu de typhons, touchant le littoral de la province de Quang Ninh (au nord) à la province de Ninh Thuan (au centre). De juin à juillet, c'est le début de la saison des typhons, principalement dans le nord et le centre, avec une fréquence maximum de 0,55 en juin pour la région située de Quang Ninh à Thanh Hoa. D'août à novembre, la fréquence atteint son maximum (Fig. 2.16).

Les dépressions tropicales typhons s'accompagnent de pluies diluviennes à l'origine de crues torrentielles dans les hauts bassins et de crues de plaine dans les deltas (Pham, 2008). Ces phénomènes naturels engendrent leur lot de conséquences sur les enjeux humains. A titre d'exemple, « le typhon appellé Lekima, avec des vents de 120 km/h, frappe le nord du Viêt-Nam, le 27 septembre 2007, et les inondations qui lui font suite sont à l'origine de la mort de

soixante-dix personnes, de seize disparus, de dix mille maisons détruites, de cent vingt-cinq mille maisons endommagées, de quarante mille hectares de rizières et cent vingt mille hectares de terres détruites, d'un million quatre cent mille mètres cubes d'ouvrages routiers et hydrauliques anéantis » (Source : d'après Pham, 2008 ; http://vietbao.vn/, consulté le 15 mars 2013)-(Photographie 2.1).

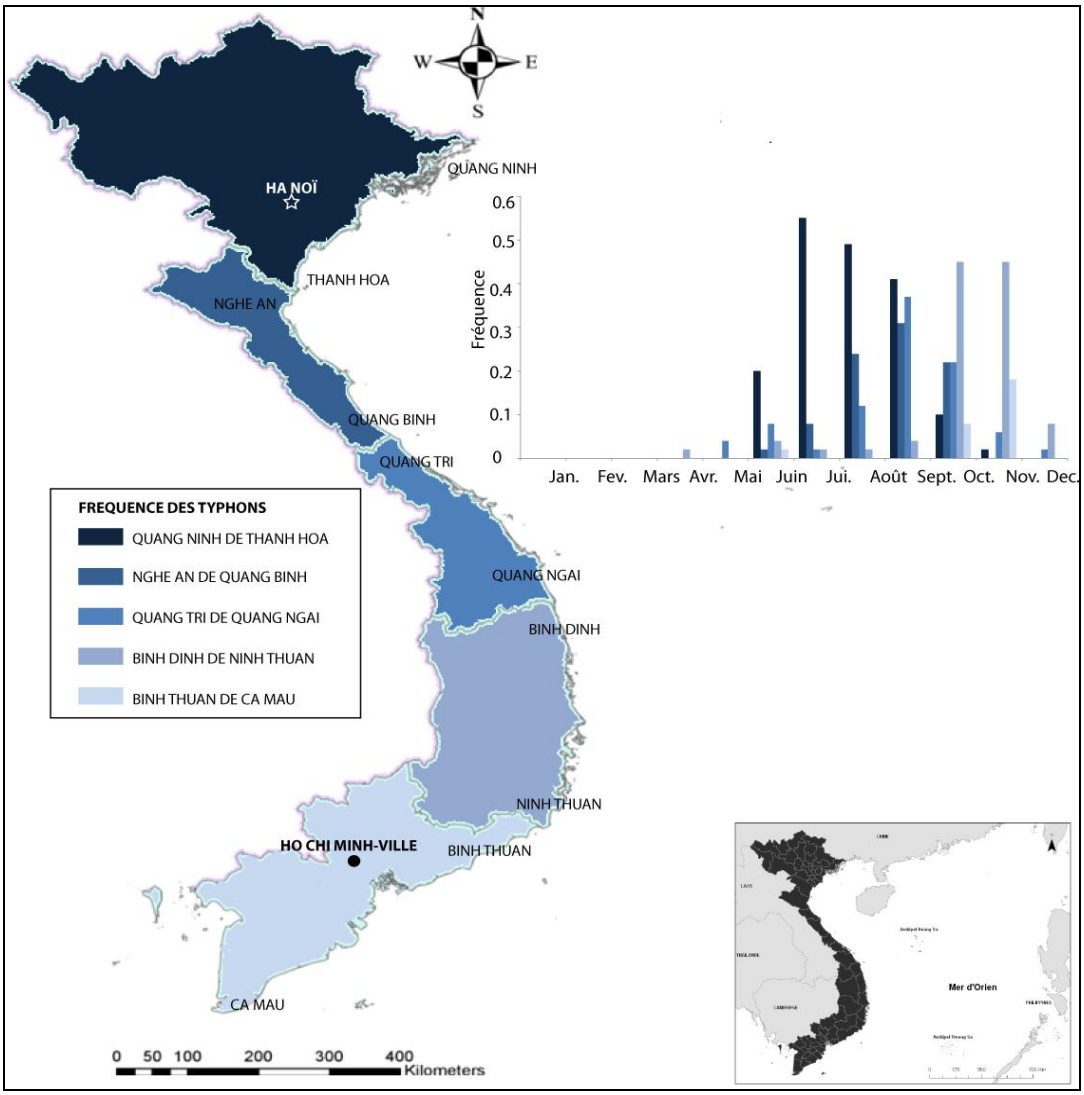


Figure 2.16. Fréquence des typhons au Viêt-Nam (1963 – 2010)

(Source : Centre des données de l'hydrométéorologie du Viêt-Nam. Réalisation : Ngo, 2012)

Photographie 2.1. Dommages causés par le typhon Lekima en 2007 (Source : http://vietbao.vn/)

En septembre 2005, le passage du typhon Damrey a provoqué le déplacement de 300 000 personnes (Pham, 2008). En octobre 2006, le typhon Xangsane a provoqué des inondations importantes au centre du Viêt-Nam, touchant environ 180 000 personnes, faisant 500 blessés et 71 morts. En août 2008, la tempête tropicale Kammuri, la neuvième de la saison, a frappé le nord du pays provoquant les pires inondations depuis des décennies, et causant la mort de 160 personnes. En novembre 2009, le typhon Mirinae a frappé la région littorale du centre du pays faisant 145 blessés, 123 morts et causant près de 207 millions d'euros de pertes économiques (Source : Centre de Prévention-Gestion de typhon et d'inondation du Viêt-Nam, http://www.ccfsc.gov.vn).

Ces exemples montrent clairement les risques liés au contexte climatique du Viêt-Nam et de l'Asie du sud-est en général. De nombreuses provinces du Viêt-Nam sont régulièrement touchées par ces phénomènes naturels exposant de manière quasi récurrente les populations, dépendant fortement de l'agriculture (70 % du pays), les plaçant dans une position de vulnérabilité (Hoang et Nguyen, 2011). Pour les habitants des habitats précaires, les évènements typhoniques et, les inondations présentent une menace constante (Rapport Mondial sur le Développement Humain, 2007 et 2008).

2.3. Les environnements deltaïques au Viêt-Nam

2.3.1. Caractéristiques générales des plaines deltaïques

Selon Dery (2004, p23), nous pouvons regrouper les diverses région du Viêt-Nam en cinq grandes unités physiographiques ou écorégions : les Hauts Plateaux du Nord, le delta du fleuve Rouge, les plaines côtières, les plateaux du Centre et le delta du Mékong (Fig. 2.17).

Nous nous intéressons aux environnements deltaïques, lieux de peuplement et d'expansion des crues. Au Viêt-Nam, les plaines deltaïques concernent le fleuve Rouge, le delta du Mékong et les fleuves côtiers (Fig. 2.17).

Le fleuve Rouge est en 8ème position des grands fleuves du Monde (Verger, 1991 ; Bethemont, 2000). « La création et l'alimentation du delta reposent avant tout sur l'alluvionnement du fleuve, estimé à 130 millions de tonnes par an » (Mottet, 2008). D'une superficie d'environ 169 000 km² (De Kort et Booij, 2007), l'altitude de la plaine deltaïque est comprise entre 0 et 10 mètres (Le, 1997).

« Les débits moyens passent ainsi de 898 $m^3.s^{-1}$ à 8992 $m^3.s^{-1}$ entre la période d'étiage et les plus fortes crues, les maxima dépassant 20000 $m^3.s^{-1}$ » (Fontenelle, 2004, p.30), « se traduisant par une élévation du niveau d'eau au droit de Hanoï de 2,50 à plus de 10 m » (Dang, 2001 ; Fontenelle, 2004, p.30).

« Le delta a une très forte vocation agricole : plus de 80 % des terres consacrées à l'agriculture » (Mottet et Roche, 2008). Le delta du fleuve Rouge est encore considéré comme le grenier à riz du Nord.

Entre le nord et le sud du pays, se succèdent des vallées côtières (Dobby, 1973). Elles « se présentent comme des répliques miniatures du fleuve Rouge » (Do Koninck, 1994). Les vallées côtières sont « étroites, enserrées entre les collines et les montagnes » (Déry, 2004, p.26) (Fig. 2.14) et relativement isolées (Dobby, 1973 ; Do Koninck, 1994). Et selon de Robequain (1948, p.64), « Elles sont courtes, pauvres en alluvions ; leurs deltas restent petits, séparés par des éperons aux pentes brusques et souvent boisées qui prolongent jusqu'au rivage la sauvagerie de l'arrière-pays ». Les cours d'eau prennent leur source dans la Cordillère annamitique et sont relativement courts et associés à d'étroites plaines sédimentaires.

Le Mékong est le dixième grand fleuve du monde et « le quatrième fleuve d'Asie par le débit (après le Yangzi Jiang, le Gange-Brahmapoutre et l'Ienisseï), son débit moyen atteignant 13 000 $m^3.s^{-1}$. Les chiffres concernant sa longueur varient de 4 350 à 4 909 km, et son bassin versant draine environ 810 000 km^2 » (Zhou et Guan, 2001).

Au Viêt-Nam, entre l'agglomération de Ho Chi Minh-Ville, la frontière du Cambodge, la Mer de l'Est et le Golfe de Thaïlande, « le fleuve se divise en deux branches principales qui s'appellent le Tiền Giang (« fleuve à l'avant ») et le Hậu Giang (« fleuve à l'arrière »). Celles-ci entrent en Mer de Chine méridionale par neuf bras, expliquant ainsi le nom Viêt-Namien du fleuve, *Sông Cửu Long* (fleuve des neuf dragons) » (Nguyen, 1999, p.589; http://www.insecula.com, consulté le 12 février 2012). Avec une superficie d'environ 39.734 km² (Source : Bureau Général de la Statistique, 2011), 80% de la plaine du Mékong ne dépasse pas les 2,5 m altitude (Nguyen, 2009). Ce delta constitue le réseau hydrographique le plus vaste du Viêt-Nam et « assure prés de 40% de la production alimentaire du pays » (Vo et Nguyen, 2010). La production de riz y était estimée, en 2000, à 16,5 millions de tonnes (Source : Bureau Général de la Statique, 2001).

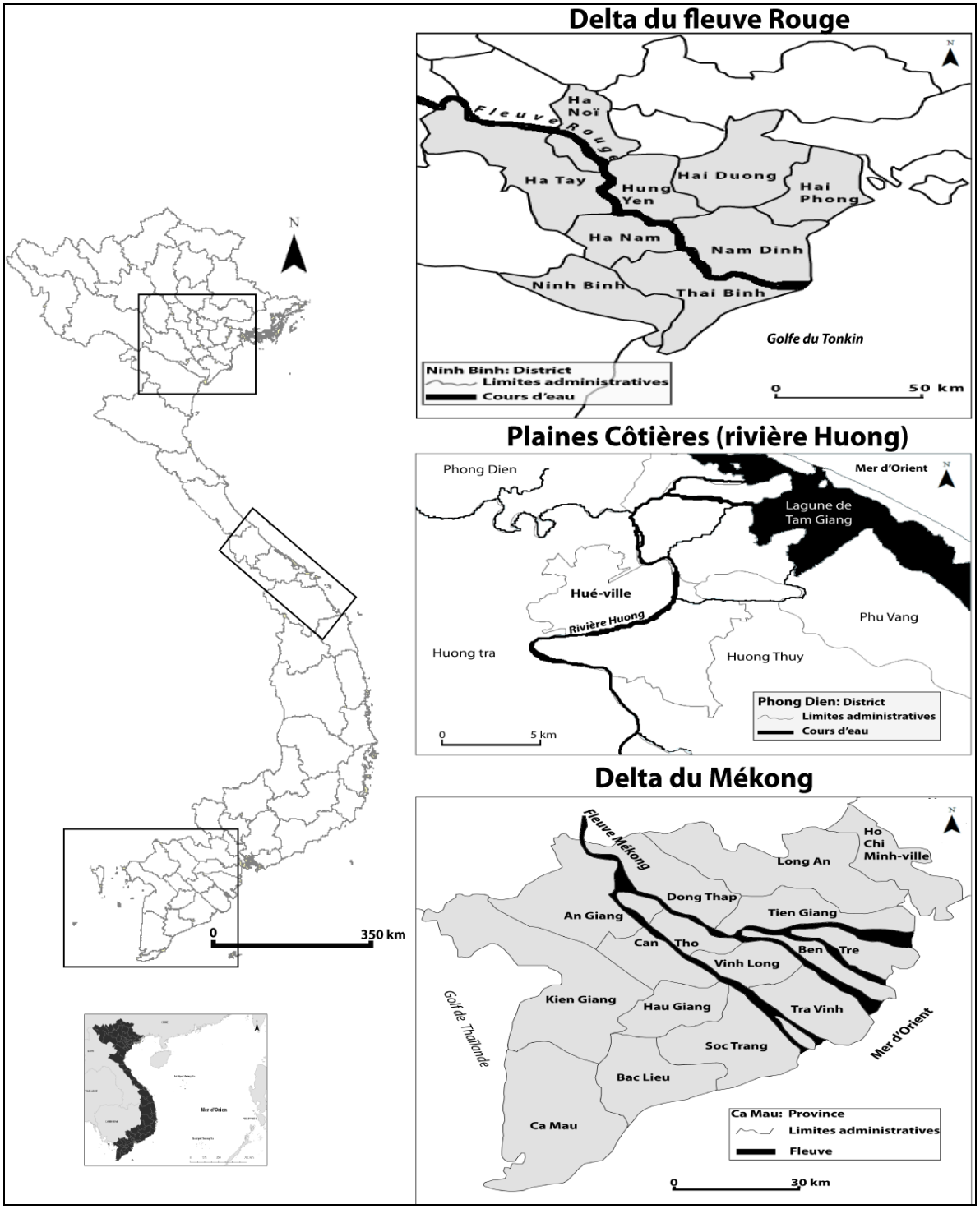


Figure 2.17. Les principales plaines deltaïques du Viêt-Nam (Ngo, 2013)

2.3.2. Le cadre physique de la province de Binh Dinh

Le cadre physique de la province de Binh Dinh et, plus précisément, du bassin versant du fleuve Ha Thanh doit être déterminé afin de mieux expliquer la particularité et la vulnérabilité dans le delta. Le delta correspond en effet à la terminaison géomorphologique du système fluvial Ha Thanh. Il convient donc de comprendre le fonctionnement et les caractéristiques propres du bassin versant que drainent le fleuve Ha Thanh et ses affluents. Ainsi, cette partie

dresse les grands traits physiques du bassin versant permettant à la fois de décrire les spécificités des écoulements et de comprendre le contexte fonctionnel du site étudié. On connaît mal le fonctionnement hydrologique de ces petits bassins montagnards et côtiers contrairement aux grands hydrosystèmes fluviaux (Fleuve Rouge et Mékong). Une meilleure gestion du risque hydrologique doit passer par une bonne connaissance du milieu physique exposé. Ce bassin versant se présente comme un couloir côtier où s'engouffrent les vents et se déversent les précipitations. La configuration en "château d'eau" de l'impluvium montagnard et la distance relativement courte avec la plaine deltaïque doit engendrer des conditions d'écoulement rapides et des temps de réponse très court des processus hydrologiques (l'étude plus approfondie des crues nous permettra de le mesurer). Les évènements cycloniques, réguliers au Centre du Viêt-Nam, doivent contribuer à accélérer ces processus et aggraver certainement la vulnérabilité des populations du delta.

a). Topographie

La province de Binh Dinh présente une topographie complexe, composée de quatre zones distinctes (Fig. 2.18) : une partie montagneuse, une zone de collines, des plaines d'inondation et enfin des lagunes avec leurs cordons littoraux.

- Les montagnes, couvrant plus d'environ 18 % de la superficie totale, se situent à l'ouest et au sud ouest et sont orientées nord-sud. Leur altitude varie de 700 à 1 000 mètres. Les pentes sont abruptes. Il s'agit des montagnes de Vung Chua (au sud-ouest) et Phuong Mai (à l'est) de la ville de Quy Nhon).

- Les collines, qui représentent une zone intermédiaire entre montagne et plaine. Elles ont une altitude plus faible (de 20 à 250 mètres), occupent environ 62 % de la superficie. On en trouve au centre de la ville de Quy Nhon (collines de Ba Hoa) et de manière dispersée dans la province (collines d'Ong Nui au sud-est du district de Tuy Phuoc).

- Les plaines s'étendent sur 1 092 km^2 (16 % de la surface totale)-(Fig. 2.18), qui ont une altitude comprise de 0 à 20 mètres environ. Elles jouent un rôle important dans la production agricole de la province (cultures vivrières). Chaque année, des inondations touchent ces plaines (Do, 2005).

- Les lagunes couvrant d'environ 4% de la surface de la province. On dénombre trois lagunes principales : Thi Nai, Tra O et Nuoc Ngot ou De Gi (Atlas du Viêt-Nam, 2010)-(Fig. 2.18 et 2.19). Les lagunes sont séparées de la Mer de l'Est par des cordons dunaires ou des montagnes. L'aquaculture et la pisciculture y ont été fortement développées.

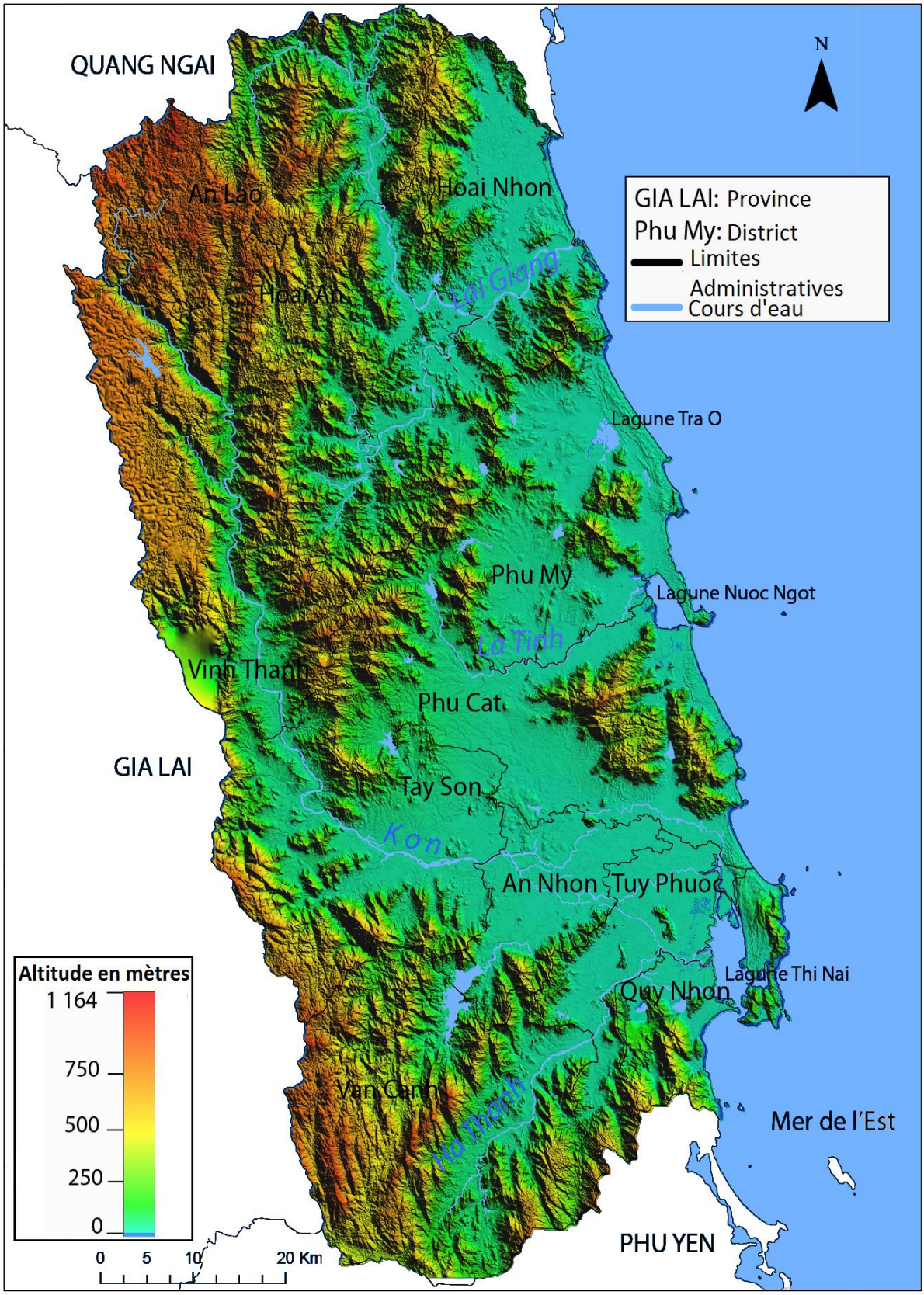


Figure 2.18. Topographie et hydrologie de la province de Binh Dinh

(Source de donnée : ASTER GDEM 30m. Réalisation : Ngo, 2013)

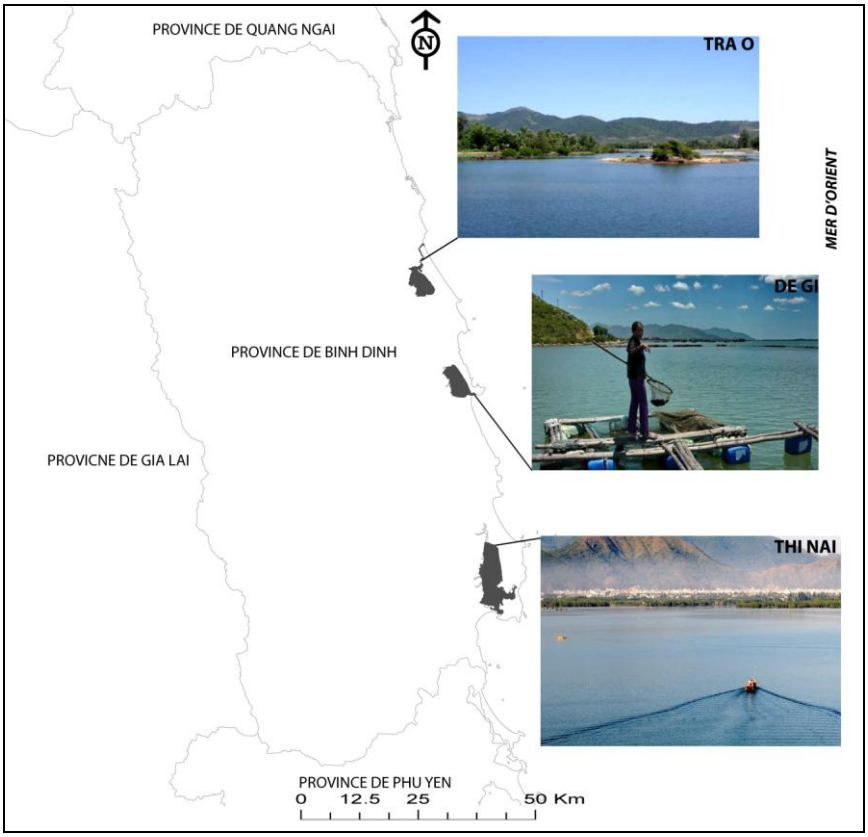


Figure 2.19. Les lagunes dans la province de Binh Dinh (Source de donnée : http://www.baobinhdinh.com.vn/. Réalisation : Ngo, 2013)

b). Hydrographie

+ Les cours d'eau :

La province est drainée par une multitude de cours d'eau qui se déversent pour la plupart dans des lagunes. La province de Binh Dinh est traversée par quatre cours d'eau principaux : Kon, Lai Giang, La Tinh et Ha Thanh.

Le fleuve Kon est le plus important cours d'eau de la province de Binh Dinh avec un bassin versant de 3 067 km² et une longueur de 178 km (Tab. 2.5). Il prend sa source dans la chaîne annamitique à une altitude de 700 à 1000 m. Le fleuve suit un trajet orienté Nord-Ouest/Sud-Est à Thach Quan dans le district d'An Nhon, Nord–Sud à Binh Tuong dans le district de Tay Son, et Est-Ouest à Binh Thanh. La rivière est située dans six districts (An Lao, Vinh Thanh, Tay Son, Phu Cat, An Nhon et Tuy Phuoc)-(Fig. 2.18).

La rivière Lai Giang est la deuxième grande rivière de la province de Binh Dinh avec un basin versant de 1466 km^2 et une longueur de 85 km (Tab. 2.5). Elle prend sa source dans la chaîne annamitique à une altitude de 900 à 1000 m. Elle est située dans deux districts (An Lao et Hoai Nhon).

La rivière La Tinh a une longueur totale de 52 km et un bassin versant de 719 km^2 (Tab. 2.5). Elle prend sa source dans la chaîne annamitique à l'ouest du district de Phu Cat, à une altitude de 900 à 1000 m. Elle est située dans les districts Phu My et Phu Cat (Fig. 2.18).

Le fleuve Ha Thanh a une longueur totale de 58 km et un bassin versant de 620 km² (Tab. 2.5). Il prend sa source dans la chaîne annamitique à une altitude de 700 à 900 m dans le district de Van Canh. Le fleuve suit un trajet orienté Sud-Ouest/Nord-Est.

Tableau 2.5. Caractéristiques des principaux bassins versants dans la province de Binh Dinh

N^0	**Bassin versant**	**Superficie du bassin (km^2)**	**Longueur (km)**	**Altitude moyenne (m)**	**Gradient altitudinal (%)**
1	Kon	3067	178	567	15,8
2	Lai Giang	1466	85	277	22,0
3	La Tinh	719	52	151	17,5
4	Ha Thanh	620*	58	179	18,3

(Source des données: Centre Hydrométéorologique de Binh Dinh; réalisation : Ngo, 2013)

+ Les lagunes :

La lagune de Thi Nai est une des plus importantes étendues d'eau saumâtre de la province de Binh Dinh, avec une superficie de 50 km^2 (Tran *et al.,* 2005) et une largeur moyenne de 3 km. Elle communique avec la mer par deux passes : l'une au niveau de la ville de Quy Nhon et l'autre dans le district de Tuy Phuoc (Fig. 2.18&2.19). Cette lagune reçoit de l'eau douce d'une multitude de cours d'eau (Kon et Ha Thanh)- (Ho *et al.,* 2005). La lagune possède environ 1 km^2 de mangroves, 0,2 km^2 d'herbiers et on y recense 47 espèces d'oiseaux. Ce site d'abri naturel est idéal pour développer l'économie maritime (Tran *et al.,* 2005).

La deuxième lagune, celle de Nuoc Ngot ou De Di, située aux districts de Phu My et Phu Cat (Fig. 2.18&2.19), d'une superficie de seulement 13 km^2, reçoit de l'eau douce de la rivière La Tinh, (Phung, 2011) et communique avec la Mer d'orient (Ho *et al.,* 2005). C'est un lieu de production d'huîtres (Phung, 2011).

La troisième lagune, celle de Tra O, d'une superficie d'environ 12 km^2 (Nguyen *et al.,* 2011) est située au nord-est du district de Phu My (Fig. 2.18&2.19).

c). Occupation du sol

La province de Binh Dinh a une superficie totale de 6 050,58 km^2 dont 22 % dédiés à l'agriculture, 51 % occupés par la forêt et 11 % pour les zones bâties (Tab. 2.6).

Tableau 2.6. Occupation du sol dans la province de Binh Dinh

Occupation du sol	**Superficie (km^2)**	**Part en (%)**
Agriculture	1 350,91	22
Forêt	3 063,44	51
Résidence	690,32	11
Autres	945,91	16
Total	**6 050,58**	**100**

(Source: Bureau de Binh Dinh de la Statistique, 2010)

L'occupation du sol est cartographiée à l'aide des données de la carte *Globe Land Cover Map* de 2009. Cela apporte de nombreux éléments d'information sur les types de surface dont dépendent les écoulements et les niveaux de vulnérabilités que nous étudierons dans un autre chapitre. En outre, les forêts sont les plus densément situées au nord-ouest, à l'ouest et au sud-est de la province de Binh Dinh. Ces forêts sont de différents types, comme la forêt sempervirente, les semi-caduques. Ces forêts sont très importantes car elles influencent les écoulements, notamment pendant la saison des crues (Cosandey et Robinson, 2012). Les surfaces agricoles se trouvent principalement au sud-ouest et au nord-ouest et l'est de la province de Binh Dinh. Il s'agit de la principale activité économique des districts de la province de Binh Dinh (Fig. 2.20) et est pratiquée par l'ensemble de la population. Les principales cultures sont le riz, le maïs, la patate douce et le manioc (cultures vivrières produites à présent de manière intensive). (Fig. 2.21).

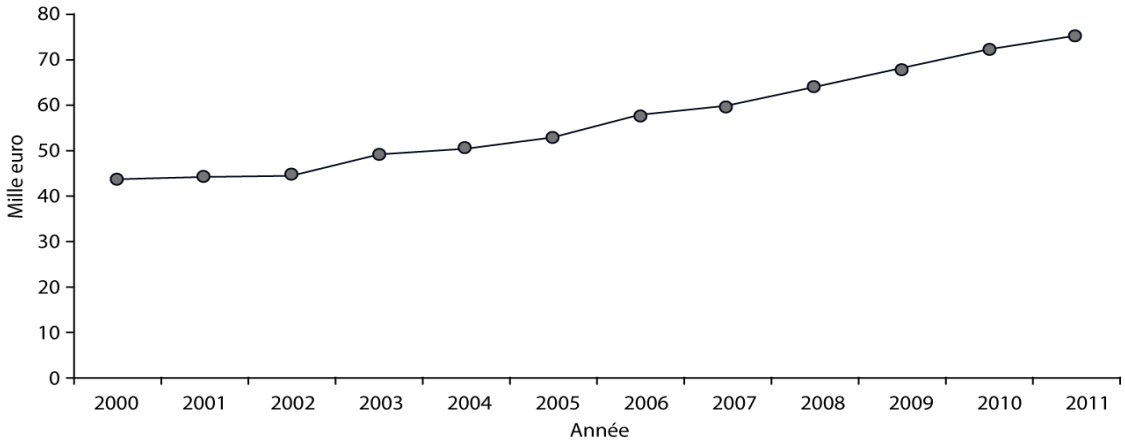


Figure 2.20. Evolution de la valeur économique représentée par l'agriculture dans la province de Binh Dinh (2000-2011) (Source : Bureau Général de la Statistique)

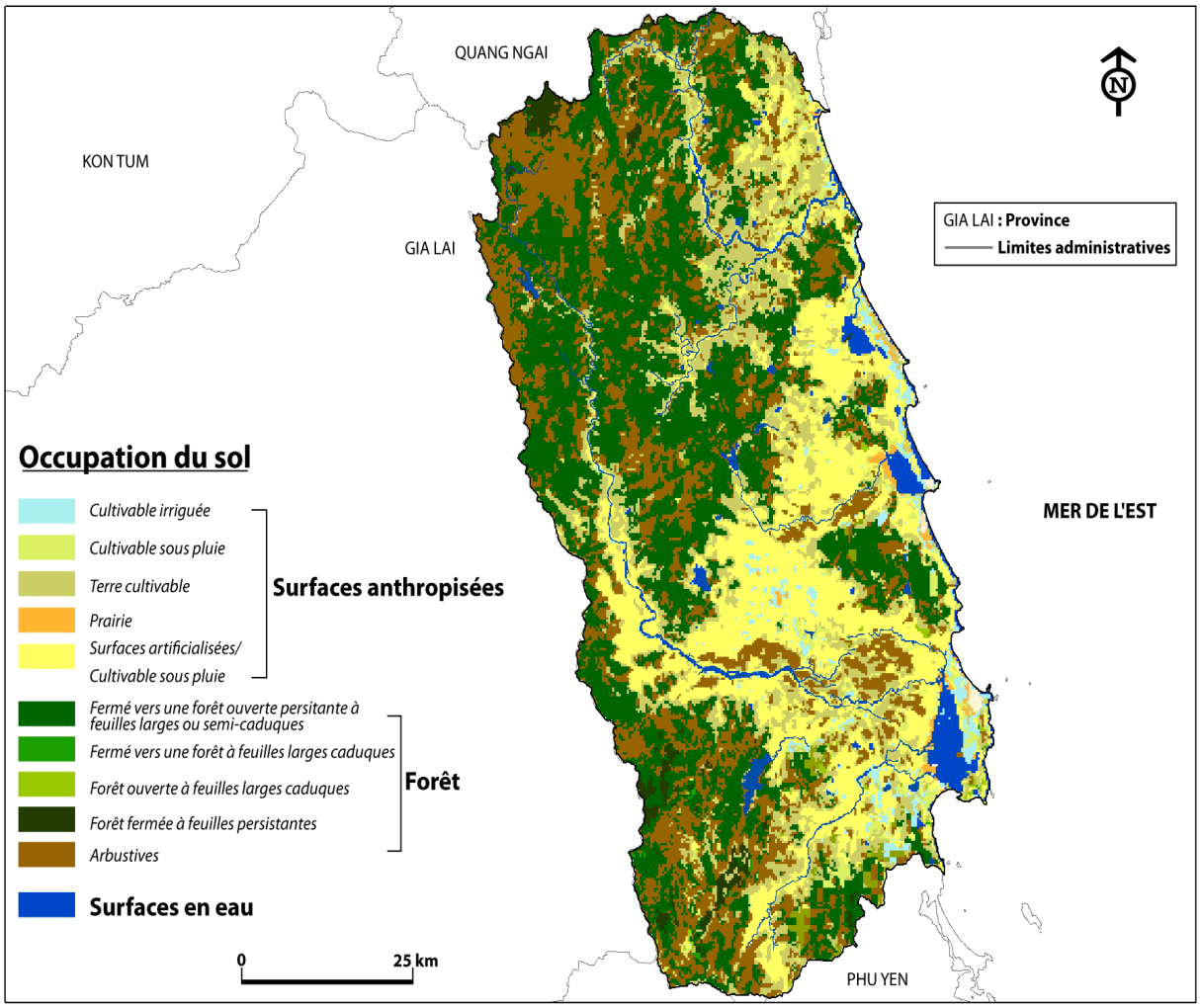


Figure 2.21. Occupation du sol de la province de Binh Dinh en 2009

(Source de donnée : Globe Land Cover 2009. Réalisation : Ngo, 2013)

d). Géologie

La province de Binh Dinh est située à l'est du bloc géologique de Kon Tum. Elle se compose de roches métamorphiques, magmatiques et sédimentaires d'avant l'âge du Précambrien [(43)] (Do, 2005). Au nord-ouest de Binh Dinh, on trouve une forte concentration des roches magmatiques et au nord (districts d'An Lao et Vinh Thanh) des schistes de quartz, biolite et granite à biotites, granites porphyriques à deux micas (districts d'An Lao et Hoai Nhon) (Fig. 2.22). Ce socle central est entouré de mélange de sédiments, d'argile, de sables d'origine fluviale, (districts de Tay Son, Phu My et Phu Cat). Il y a des concentrations fortes de granite dans les districts de Van Canh et Tay Son. Les granites sont estimés à environ 700 million m^3, avec de nombreux types comme les granites jaunes en nid d'abeille, les granites gris clairs, les granites rouges rubis. Ces granites ont une valeur économique. En effet, on recense près de 45 entreprises pour l'exploitation du granite avec environ 700 mille m^3/an de

[43] http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/decouv/articles/chap2/alvaro.html

volumes extraits. Ce minerai est ensuite exporté vers Taiwan, le Japon l'Europe de l'Ouest (Source : http://www.baobinhdinh.com.vn, consulté le 16 mai 2013). L'extraction du granite conduit à la déforestation, à l'érosion des sols sur les versants. Ce qui a des conséquences sur les écoulements dans le bassin versant (Cosandey et Robinson, 2012).

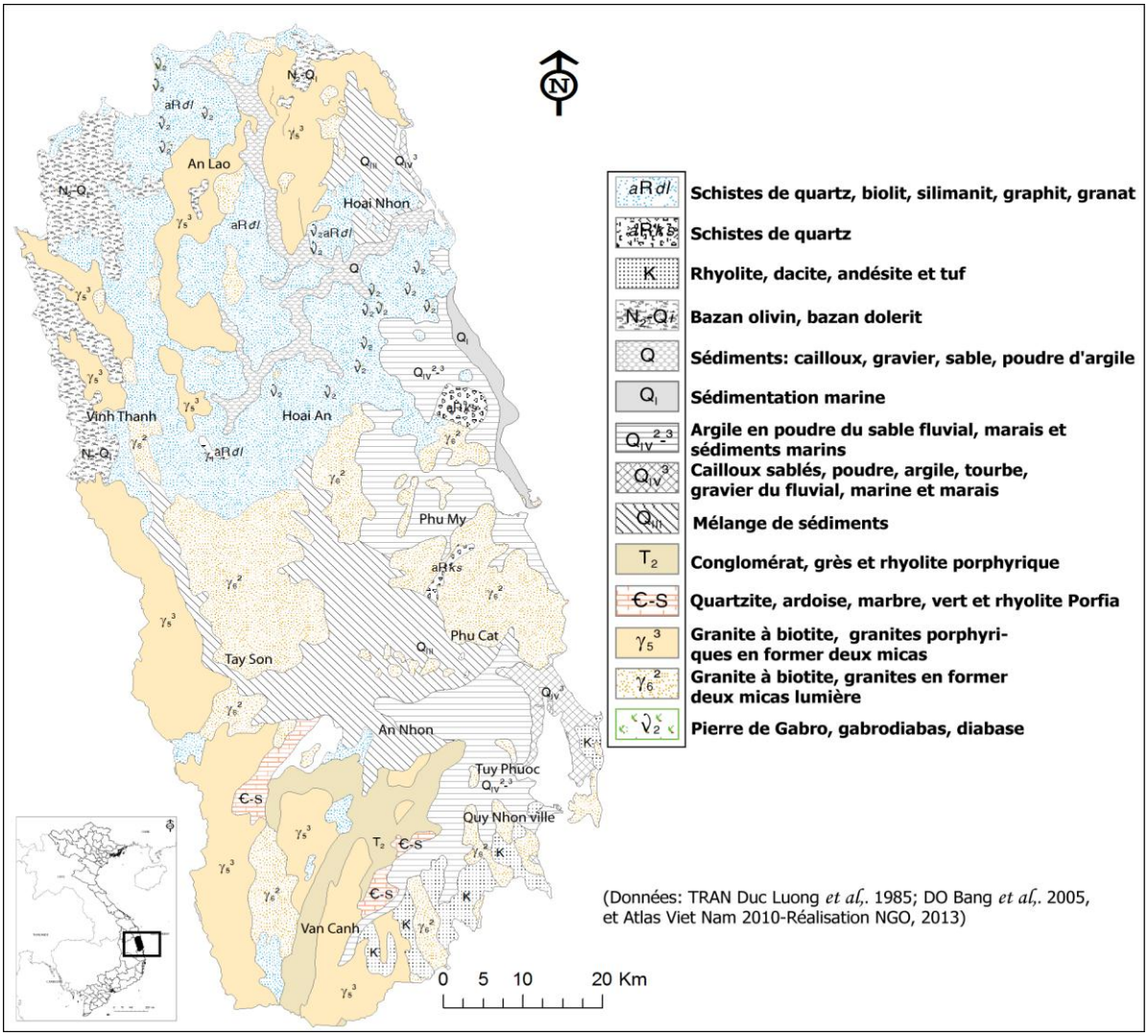


Figure 2.22. Géologie de la province de Binh Dinh

e). Climats

En raison de son déploiement en latitude, allant du 13°30'10" au 14°42'10" (Atlas Viêt-Nam, 2010) et de la disposition de le Cordillère annamitique (axe nord-ouest et sud-ouest), la province de Binh Dinh présente un climat de transition entre celui du nord et celui du Sud. Il s'agit d'un climat tropical typique de mousson influencé par le climat du sud.

Les températures sont élevées avec des moyennes annuelles de 26°C à 27°C (Ho *et al.*, 2005) (Fig. 2.23).

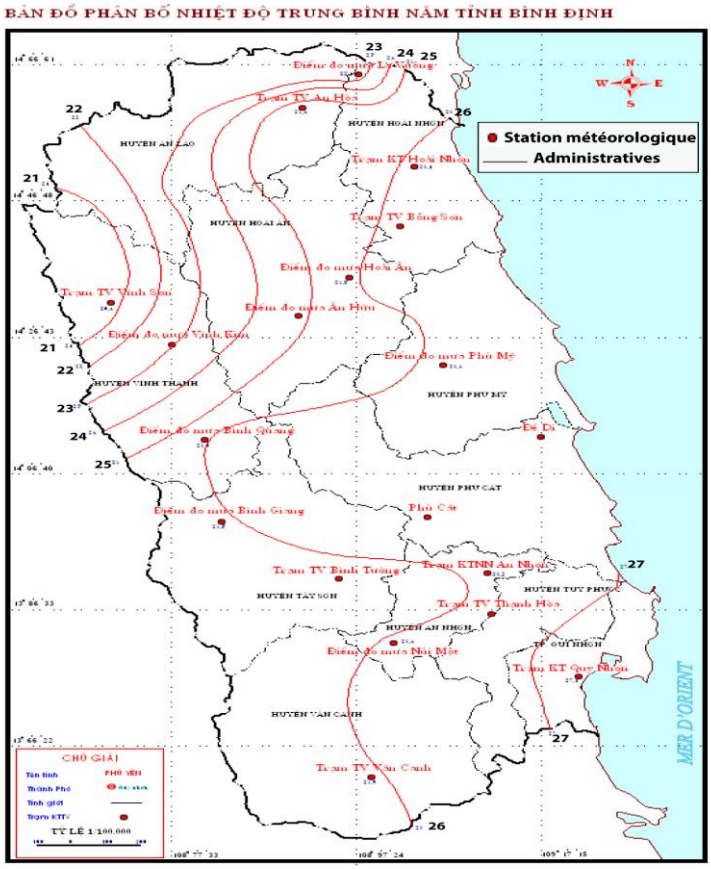


Figure 2.23. Températures moyennes annuelles dans la province de Binh Dinh

(Source : Centre Hydrométéorologique de la province de Binh Dinh)

De janvier à avril, les précipitations sur la province sont négligeables, c'est une période transitoire entre les deux moussons annuelles (de 15 à 60 mm en moyenne) avec des températures moyennes de 23°C. De mai à juin, en raison de la mousson de sud-ouest, les précipitations moyennes mensuelles sont de 75 à 100 mm et les températures moyennes de 27°C. De juillet à août, les précipitations moyennes mensuelles sont relativement faibles : de 37 à 70 mm et les températures moyennes de 29°C. A partir de la mi-septembre, avec la mousson de nord-est, les précipitations moyennes mensuelles sont supérieures à 230 mm. Elles sont particulièrement fortes d'octobre à novembre, et atteignent de 448 à 563 mm, avec des températures moyennes de 25,5°C. En décembre, malgré une nette baisse, elles restent élevées avec 197 mm d'eau en moyenne et une température moyenne de 23,5°C (Fig. 2.24&2.25).

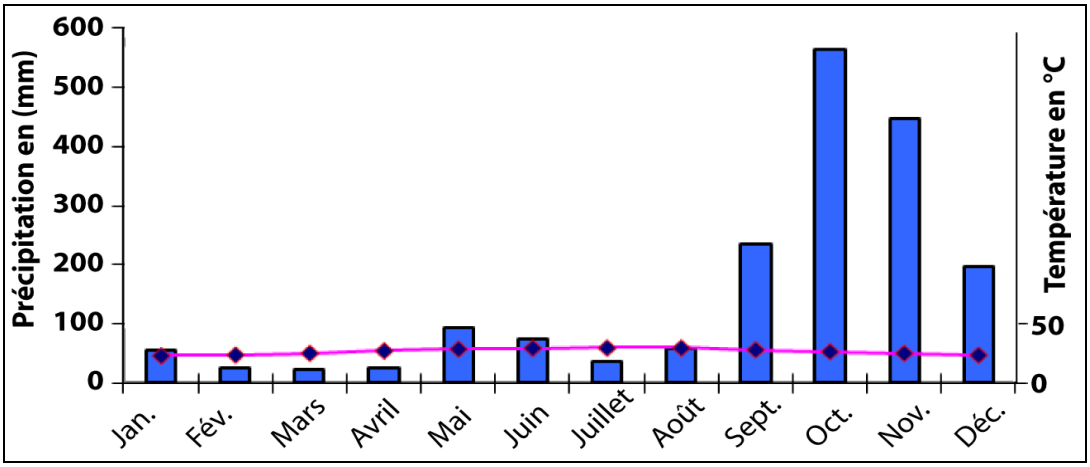
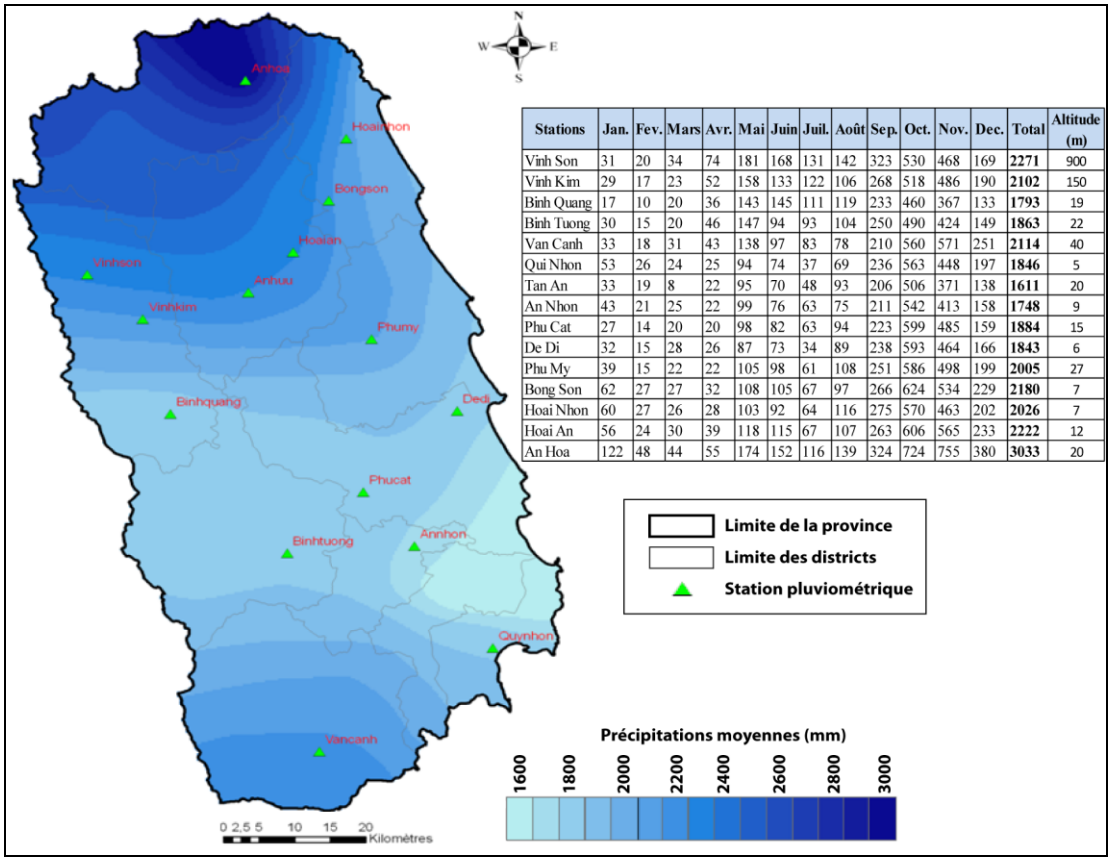


Figure 2.24. Diagramme ombrothermique de la station météorologique de Quy Nhon (1982-2003) (Source : Centre Hydrométéorologique de la province de Binh Dinh. Réalisation : Ngo, 2012)



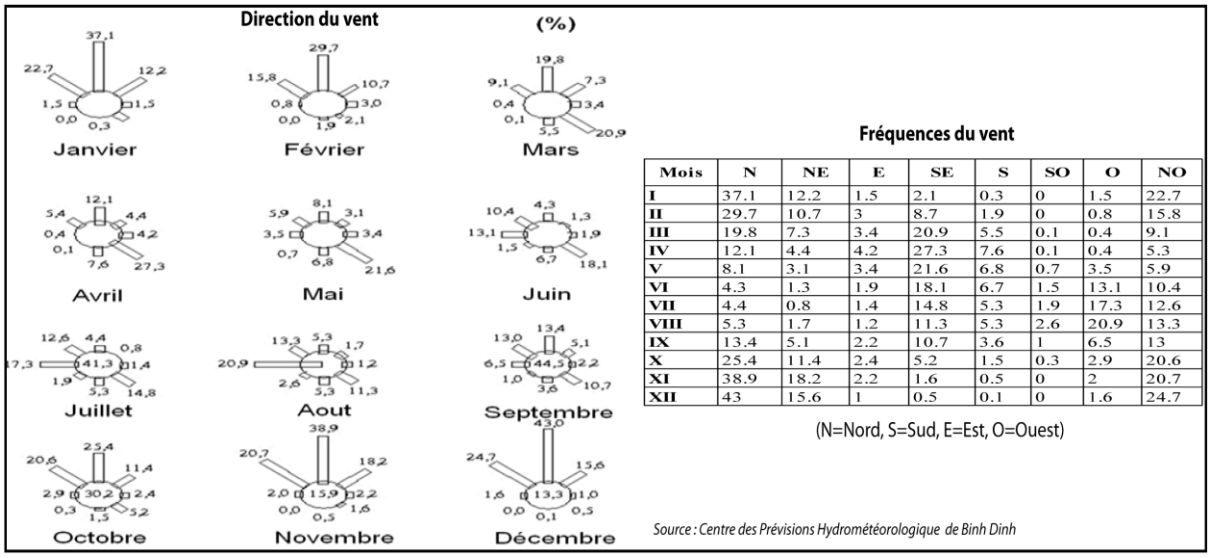
Stations	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total	Altitude (m)
Vinh Son	31	20	34	74	181	168	131	142	323	530	468	169	**2271**	900
Vinh Kim	29	17	23	52	158	133	122	106	268	518	486	190	**2102**	150
Binh Quang	17	10	20	36	143	145	111	119	233	460	367	133	**1793**	19
Binh Tuong	30	15	20	46	147	94	93	104	250	490	424	149	**1863**	22
Van Canh	33	18	31	43	138	97	83	78	210	560	571	251	**2114**	40
Qui Nhon	53	26	24	25	94	74	37	69	236	563	448	197	**1846**	5
Tan An	33	19	8	22	95	70	48	93	206	506	371	138	**1611**	20
An Nhon	43	21	25	22	99	76	63	75	211	542	413	158	**1748**	9
Phu Cat	27	14	20	20	98	82	63	94	223	599	485	159	**1884**	15
De Di	32	15	28	26	87	73	34	89	238	593	464	166	**1843**	6
Phu My	39	15	22	22	105	98	61	108	251	586	498	199	**2005**	27
Bong Son	62	27	27	32	108	105	67	97	266	624	534	229	**2180**	7
Hoai Nhon	60	27	26	28	103	92	64	116	275	570	463	202	**2026**	7
Hoai An	56	24	30	39	118	115	67	107	263	606	565	233	**2222**	12
An Hoa	122	48	44	55	174	152	116	139	324	724	755	380	**3033**	20

Figure 2.25. Précipitations moyennes dans la province de Binh Dinh (1987-1999) (Source : Centre Hydrométéorologique de la province de Binh Dinh. Réalisation : Ngo, 2013)

f). Tempêtes et vents

On note dans la zone d'étude deux saisons de vents dominants par année. Pendant l'hiver (d'octobre à février), les vents arrivent principalement du nord-est (de 25,4 à 43 %) et du sud-ouest (15,8 à 24,7 %). De mars à juin, ils arrivent du sud-est essentiellement, entre 18,1 et

27,3 %. De juillet à août, les vents arrivent de l'ouest avec une fréquence de 13 à 21 %. En septembre, les vents sont relativement bien repartis selon les directions (Fig. 2.26).

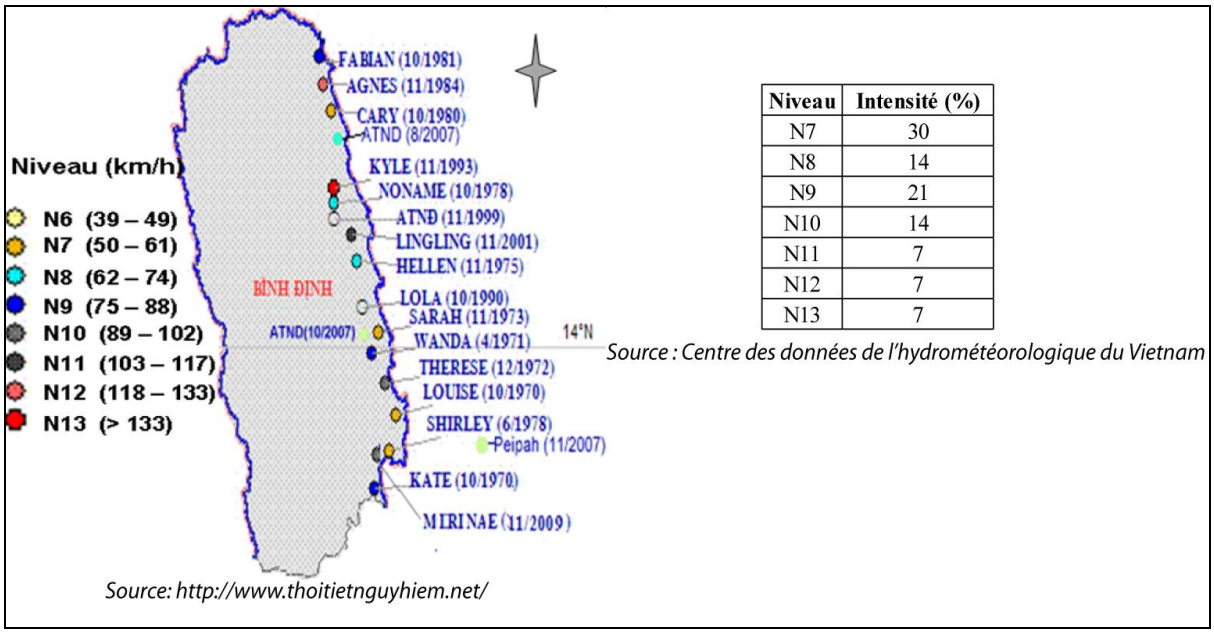


Mois	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
I	37.1	12.2	1.5	2.1	0.3	0	1.5	22.7
II	29.7	10.7	3	8.7	1.9	0	0.8	15.8
III	19.8	7.3	3.4	20.9	5.5	0.1	0.4	9.1
IV	12.1	4.4	4.2	27.3	7.6	0.1	0.4	5.3
V	8.1	3.1	3.4	21.6	6.8	0.7	3.5	5.9
VI	4.3	1.3	1.9	18.1	6.7	1.5	13.1	10.4
VII	4.4	0.8	1.4	14.8	5.3	1.9	17.3	12.6
VIII	5.3	1.7	1.2	11.3	5.3	2.6	20.9	13.3
IX	13.4	5.1	2.2	10.7	3.6	1	6.5	13
X	25.4	11.4	2.4	5.2	1.5	0.3	2.9	20.6
XI	38.9	18.2	2.2	1.6	0.5	0	2	20.7
XII	43	15.6	1	0.5	0.1	0	1.6	24.7

(N=Nord, S=Sud, E=Est, O=Ouest)

Figure 2.26. Les vents dans la province de Binh Dinh (1977-2003) (Réalisation : Ngo, 2013)

La province de Binh Dinh se situe dans une zone exposée aux dépressions tropicales. De 1970 à 2009, il y a eu 14 typhons de niveau 7 à niveau 13 (sans compter le niveau 6 et les dépressions tropicales). Au Viêt-Nam, on utilise l'échelle de Beaufort (Annexe 1) pour classer les typhons. Les typhons de niveau 7 représentent 30 % du total (typhon Louise-10/1970; typhon Sarah-06/1973; typhon Shirley-06/1978 et typhon Cary-10/1980). Les typhons de niveau 11 à 13 concernent 7 % : le typhon Kyte de niveau 13 (le plus fort) est apparu en novembre 1993-(Fig. 2.27).



Niveau	Intensité (%)
N7	30
N8	14
N9	21
N10	14
N11	7
N12	7
N13	7

Figure 2.27. Intensité des typhons dans la province de Binh Dinh (1970-2009)

2.3.3. Le fleuve Ha Thanh

Le bassin versant du fleuve Ha Thanh se situe au sud de la province de Binh Dinh entre 13’30° et 13’54° de latitude nord et entre 108’55° et 109’15° de longitude est (Fig. 2.28). Avec une superficie totale de 620 km^2, il représente 10,67 % du territoire de la province. Le fleuve Ha Thanh prend sa source dans la région montagneuse au sud-ouest de la province de Binh Dinh, dans le district de Van Canh. Il prend d’abord une direction Sud-Ouest/Nord-Est. Après avoir parcouru quelques communes du district de Van Canh, il continue de couler à travers le district de Tuy Phuoc et vers Nhon Binh et Nhon Phu deux quartiers de la ville de Quy Nhon. Il se divise en deux bras (Thanh Hung et Truong Uc) (Fig. 2.28), qui se jettent dans la lagune de Thi Nai. Avec une longueur de 58 km, le fleuve Ha Thanh est le troisième plus long cours d’eau de la province de Binh Dinh (Tab. 2.5).

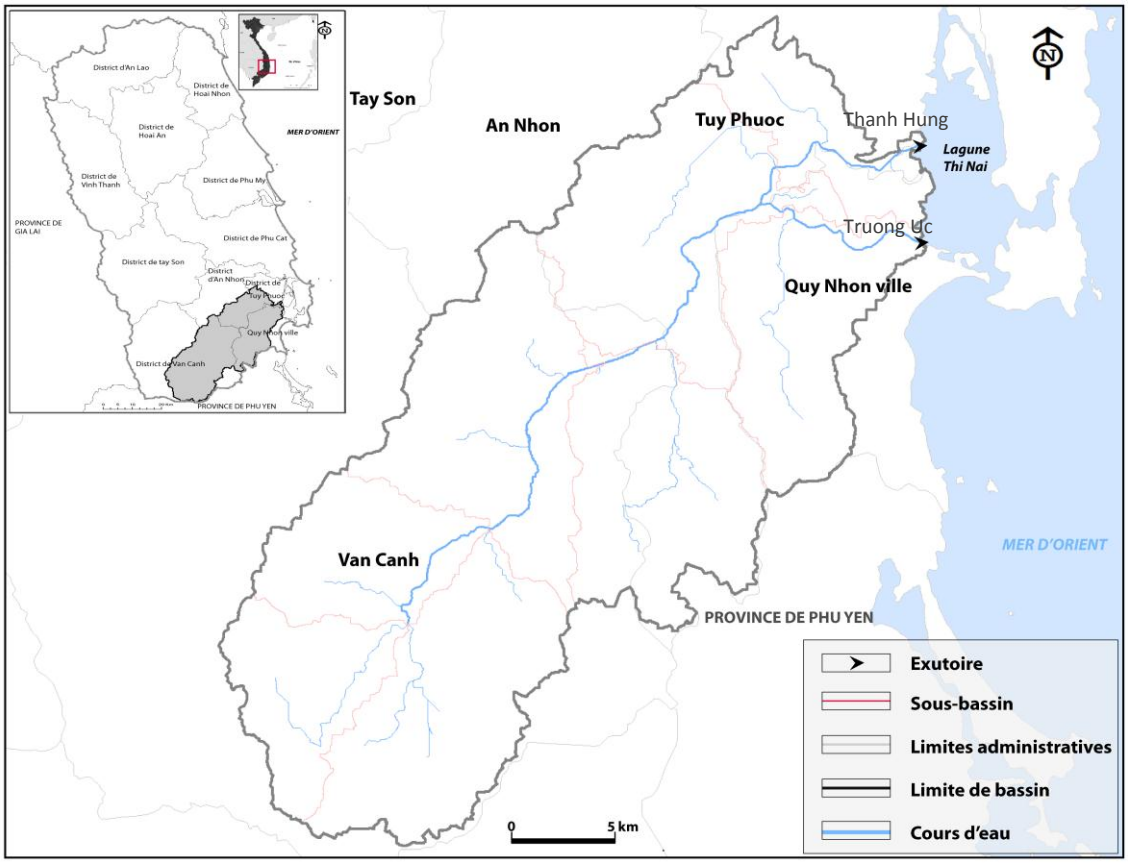


Figure 2.28. Localisation de bassin versant du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

a). Relief du bassin versant

Le bassin versant présente une forme allongée dont le fleuve Ha Thanh constitue l’axe de drainage, vers lequel convergent les différentes rivières descendant des versants abrupts. Les zones relativement planes sont situées au nord, nord-est et sont composées de champs, de marais salants (quartier de Nhon Binh et village de Phuoc Thuan), de plaines (villages de

Phuoc Thuan, Phuoc Hiep, Phuoc Loc et quartiers de Dong Da, Nhon Phu, Nhon Binh, Tran Quang Dieu). On retrouve également une plaine côtière, située au Sud-Est de la ville. La plaine forme l'aval de ce bassin versant et varie de 0 à 20 m d'altitude sur une distance de 25 km tandis qu'en amont de ce bassin versant (villages de Phuoc My, Canh Vinh, Canh Thuan et Canh Hoa), l'altitude varie de 200 à 750 m avec des pentes très fortes (Fig. 2.29).

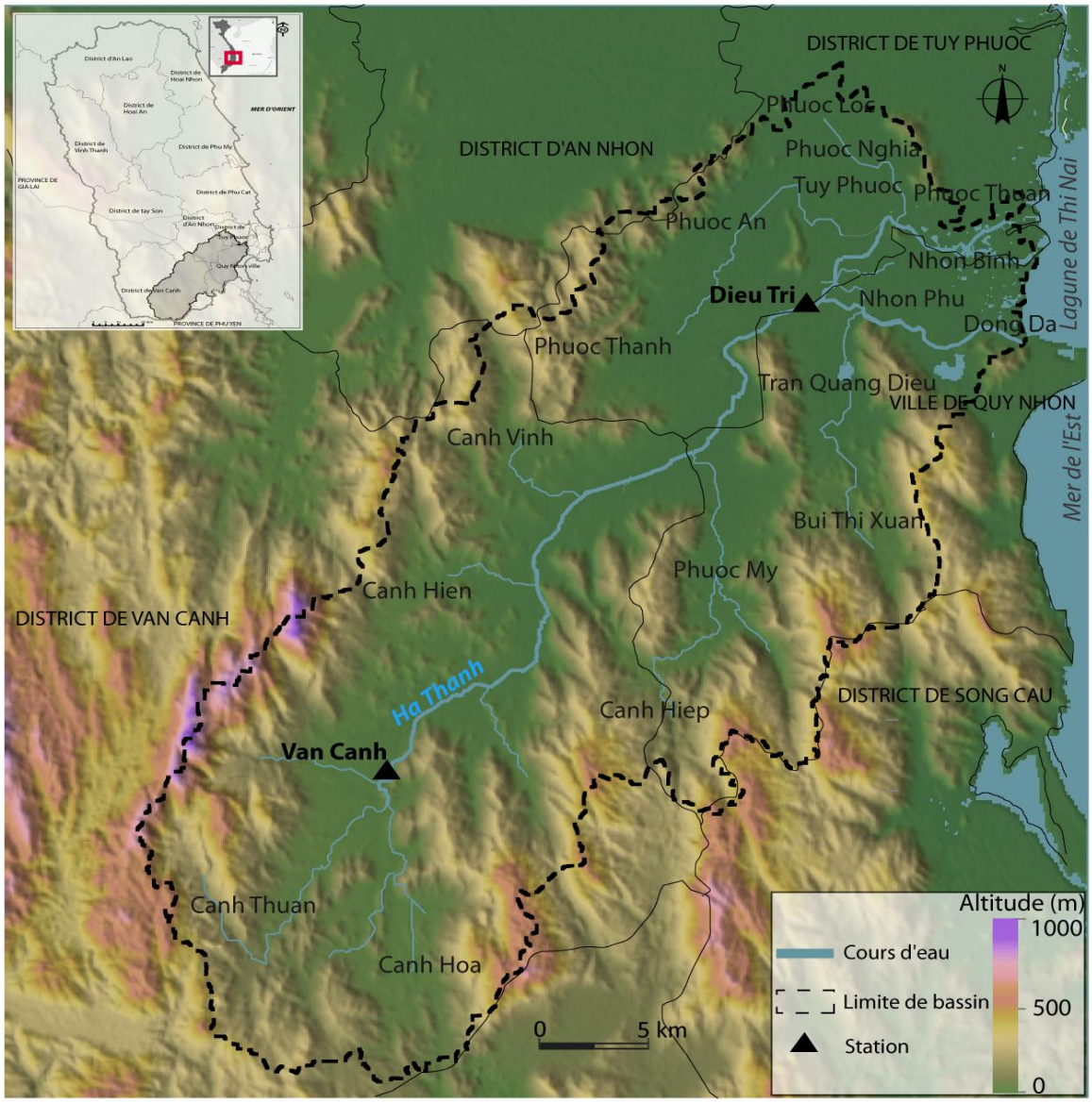


Figure 2.29. Relief du bassin versant du fleuve Ha Thanh

(Source : SRTM 90m. Réalisation : Ngo, 2013)

b). Régime hydrologique du fleuve

Le régime hydrologique d'un cours d'eau se définit « par les variations de son débit, habituellement représentées par le graphique de l'écoulement mensuel moyen (calculé sur un certain nombre d'années et aussi appelées débit "inter-mensuel" ou module mensuel) »- (Source : http://echo.epfl.ch, consulté le 25 mai 2013). Le régime hydrologique présente les

caractéristiques et la récurrence des étiages dans la saison des basses eaux et ainsi que celles des crues dans la saison des hautes eaux.

En outre, le régime d'écoulement est très important pour saisir et prévoir les variations générales des débits afin de gérer les ressources en eau et les risques d'inondation. Les données de débits d'un fleuve « pendant une longue série d'années montrent des variations saisonnières systématiques ». (Musy, 2003).

La figure 2.30 représente les coefficients du module mensuel moyen (CMD) du fleuve Ha Thanh.

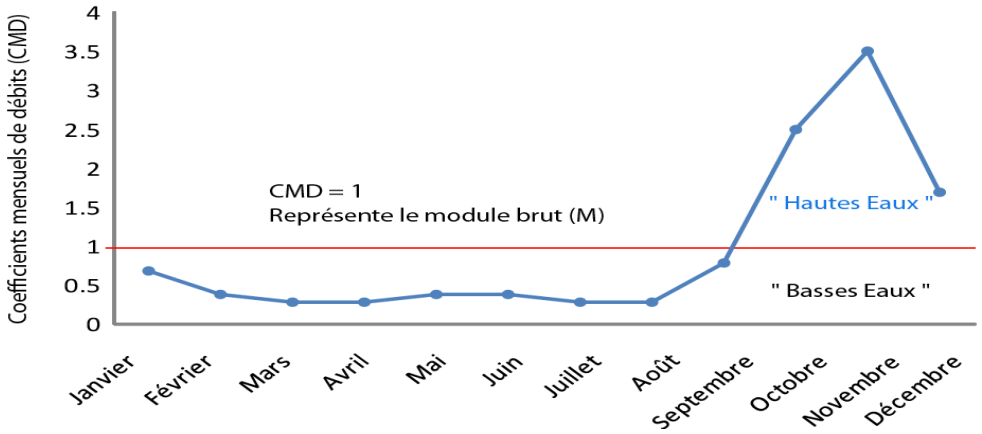


Figure 2.30. Coefficient mensuel de débits pour le fleuve Ha Thanh depuis 1982 (Ngo, 2013)

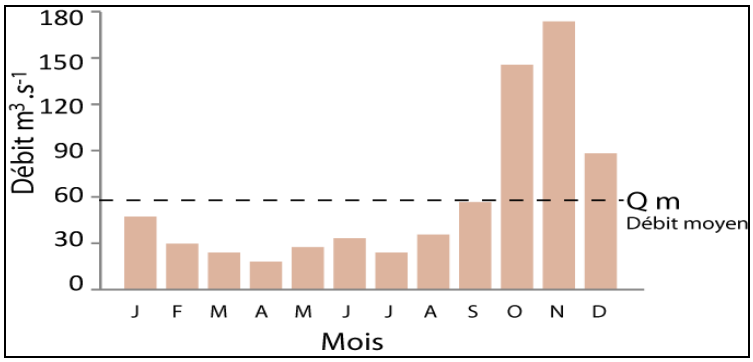


Figure 2.31. Estimation des débits moyens par mois depuis 1982 (Ngo, 2013)

La classification du régime hydrologique du fleuve Ha Thanh correspond à un régime simple (alternance annuelle de hautes eaux, d'octobre à décembre, et de basses eaux, de janvier à septembre) (Fig. 31). C'est-à-dire que « le régime hydrologique varie suivant deux saisons : la saison des pluies (la saison d'inondation) et la saison sèche (la saison de faible débit) » (Hoang *et al.*, 2007, p.2). En saison des pluies (hautes eaux), les coefficients mensuels atteignent un maximum de 3,0 correspondants à un mois de novembre marqué. En saison sèche (basses eaux), on remarque, au mois d'avril que le CMD est au minimum avec 0,2 (Fig. 2.30).

Grâce à la figure 2.31, nous pouvons distinguer le type de régime simple du fleuve Ha Thanh. Il est caractérisé selon la classification des régimes hydrologiques (Pardé, 1993) et est influencé par les typhons. Les typhons des régions tropicales engendrent des pluies généralisées sur plusieurs centaines de kilomètres (Fig. 2.32). Les quantités de pluie peuvent alors dépasser plusieurs centaines de litres par m² par jour et ainsi plusieurs dizaines de litres par m² en une heure (Source : http://www.cyclonextreme.com, consulté le 10 novembre 2011).

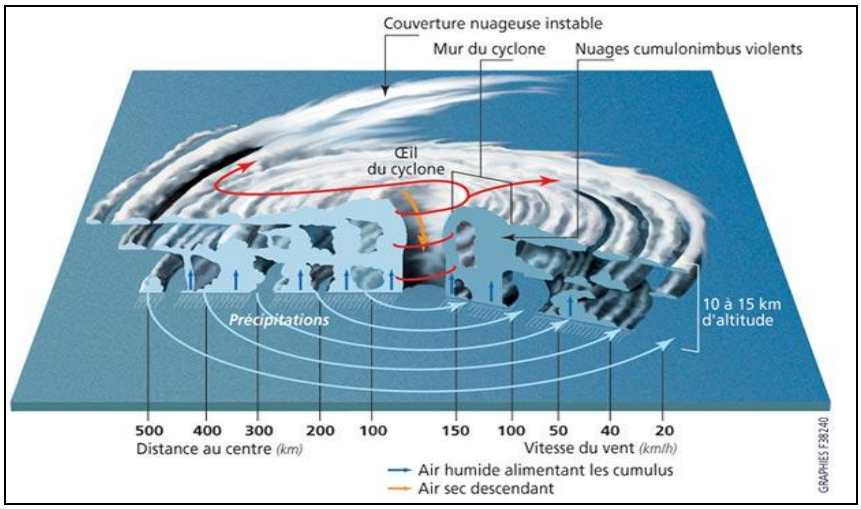


Figure 2.32. Morphologie-type d'un typhon
(Source : http://www.cyclonextreme.com)

En raison de leur trajectoire, des dépressions, des tempêtes tropicales et des typhons passent régulièrement dans le bassin du fleuve Ha Thanh. L'influence des moussons et le décalage de la zone de convergence intertropicale sont à l'origine de fortes précipitations pendant la saison cyclonique de septembre à novembre.

c). Pédologie/Géologie

Les données géologiques et pédologiques sont des variables de contrôle du système fluvial et de son fonctionnement hydrologique. Il faut les intégrer à l'analyse des conditions d'écoulement et aux événements hydrologiques qui affectent le delta. La modélisation des flux hydrologiques tient compte également des caractéristiques pédologiques et du niveau d'érodabilité des sols du bassin, ce qui influence ses flux mais également les flux de matériaux.

Le bassin est constitué d'une mosaïque de sols liés à l'histoire géologique de la région (Do, 2005). Ils sont issus de basaltes (roche volcanique), de terrains sableux, d'alluvions et de granit. Dans les hauts bassins, les sols sont essentiellement ferralitiques. Dans le delta,

l'interface fluvio-océanique engendre des sols jeunes, remaniés et constitués d'alluvions (fluvisols) et mêmes salés (dépôts marins) (Fig. 2.33).

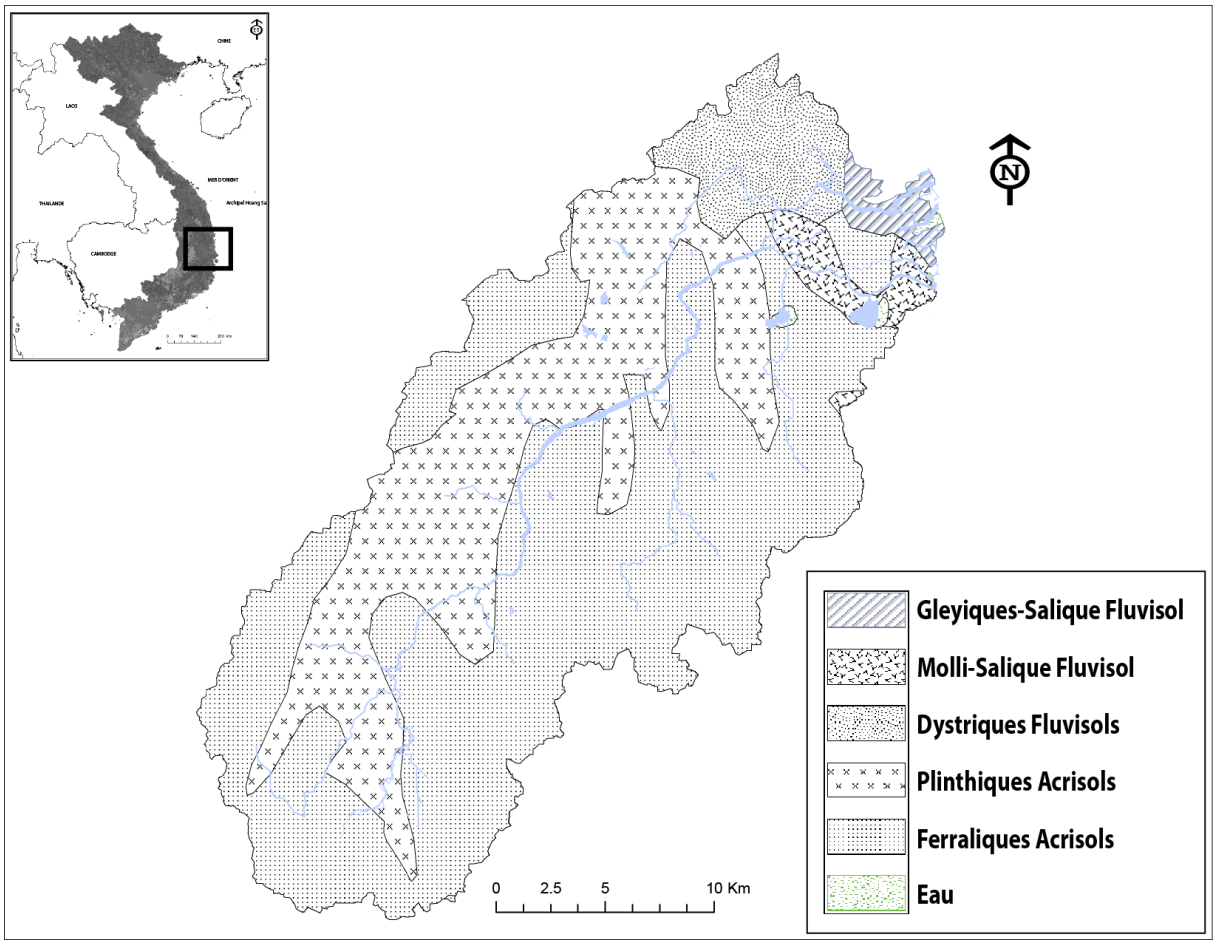


Figure 2.33. Pédologie du bassin versant du fleuve Ha Thanh (Source : Département de l'Agriculture et du Développement Rural de la province de Binh Dinh et le FAO. Réalisation : Ngo, 2012)

La plaine deltaïque du fleuve Ha Thanh est recouverte de couches alluvionnaires sur lesquelles sont installées les activités agricoles. Ces dépôts fertiles sont liés à la dynamique fluviatile et au fonctionnement du fleuve, corroborés aux dépôts marins, et sont à l'origine des activités anthropiques dominantes dans le delta (riziculture) et de la diversité des milieux rencontrés (mangrove par exemple dans l'interface fluvio-océanique).

Les dépôts alluvionnaires dans la plaine deltaïque du fleuve Ha Thanh peuvent être décrits ainsi:

- Dépôts limoneux-argileux (Flsg) : la mangrove se développe sur ces couches fertiles (150 cm environ);

- Dépôts argileux limoneux (Flsm) : épaisseur du sol d'environ 125 cm;

- Dépôts argileux (Acf) : issue de l'érosion de la roche-mène. L'argile marine sédimentée dans les eaux profondes du fleuve Ha Thanh (110 cm d'épaisseur) (Tab. 2.7).

Tableau 2.7. Les types de sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

N°	Nom Viêt-Namien	Code	Nom FAO	Code FAO	Texture	Profondeur (cm)	Fertilité	Capacité de rétention
1	Đất mặn sú vẹt	Mm	Gleyic-Salic Fluviso	Flsg	limoneux-argileux	150	0.98	1.5
2	Đất mặn trung bình	M	Molli-Salic Fluvisol	Flsm	Argile limoneuse	125	0.16	1.3
3	Đất phù sa chua	Pc	Dystric Fluvisols	Fld	limoneux-argileux	130	0.77	1.5
4	Đất xám có tán loang	X4	Plinthic Acricols	ACp	Sableux	125	0.48	1.5
5	Đất xám feralit	Xf	Ferralic Acrisols	Acf	Argile	110	0.4	0.4
6	Sông hồ	water	Water	water	Eau	0	0	0

(Source : http://sonongnghiepbinhdinh.gov.vn et www.fao.org)

D'un point de vue géologique, le versant Sud-Ouest du bassin est constitué de granites dans le district de Van Canh. Le versant Nord-Est, le bassin a une bonne capacité de rétention, et est assez perméable. (Fig. 2.34).

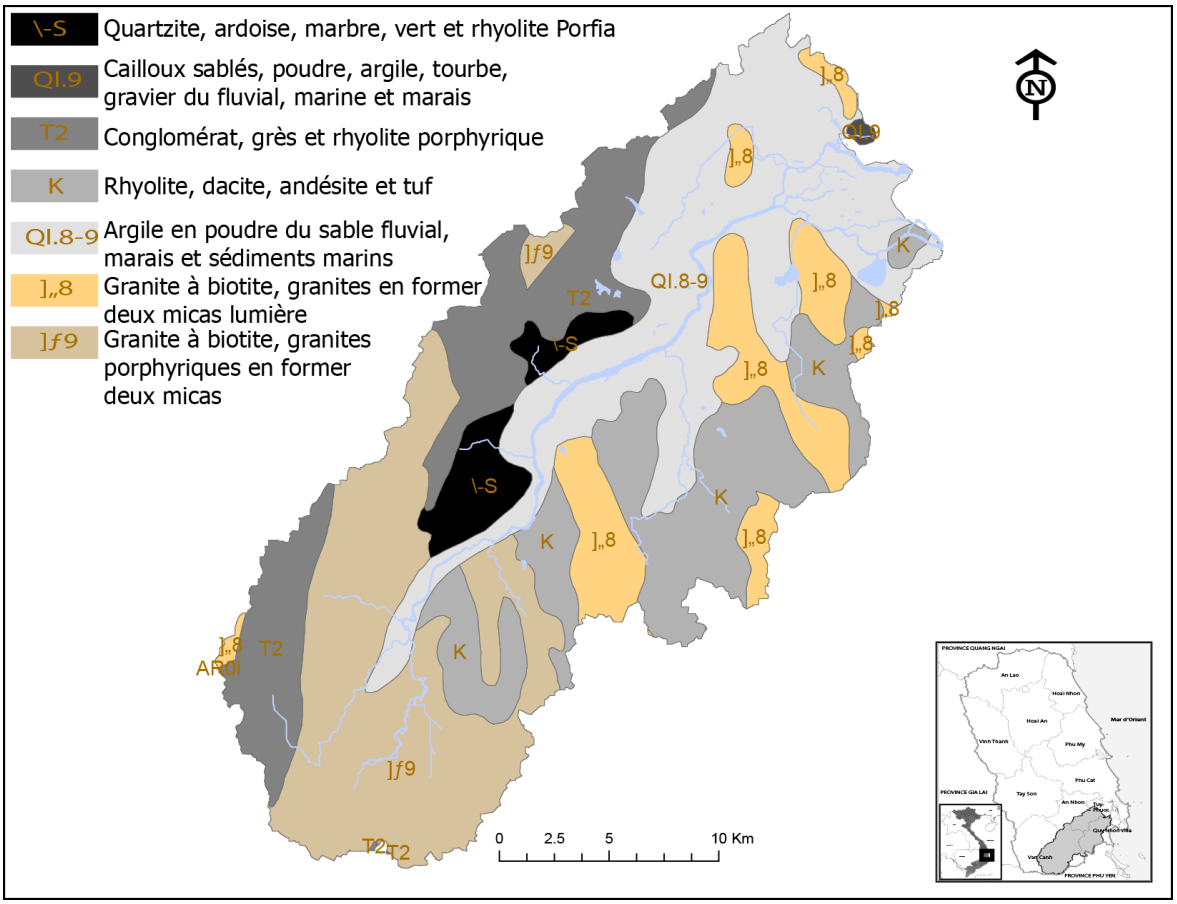


Figure 2.34. Géologie sur le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Source des données : Huynh *et al.*, 2008; http://idm.gov.vn/ et http://www.diachatvn.com. Réalisation : Ngo, 2013)

* * * *

Ce chapitre a permis de poser le cadre géographique de notre recherche au Centre du Viêt-Nam à travers le prisme du fait urbain planifié et du contexte hydroclimatique dans le bassin du fleuve Ha Thanh, dans la province de Binh Dinh (Fig. 2.35). La province est face à une période de renouveau en terme de développement économique. Les villes moyennes côtières du Centre du Viêt-Nam sont les principales cibles de la politique de développement. La province connait une période de typhons, provenant du nord et de la Mer de l'Est d'octobre à novembre. Les précipitations doivent ensuite être évacuées par le bassin du fleuve Ha Thanh lequel se termine en delta, lieu visé par la planification urbaine de Quy Nhon. Selon Mottet et Roche "2008, p.40", « cela a et aura une incidence sur le risque d'inondation puisque développement urbain et développement du risque sont indissociables ». En effet, le développement urbain de Quy Nhon, que nous préciserons un peu plus dans un prochain chapitre, est issu d'une planification politique et entre, à un moment donné, en interférence avec le milieu physique, le delta du fleuve Ha Thanh. Toute pression anthropique sur ce type de milieu fluviatile engendre des contradictions avec son fonctionnement "naturel". C'est ce que nous tenterons également de mettre en lumière dans notre recherche.

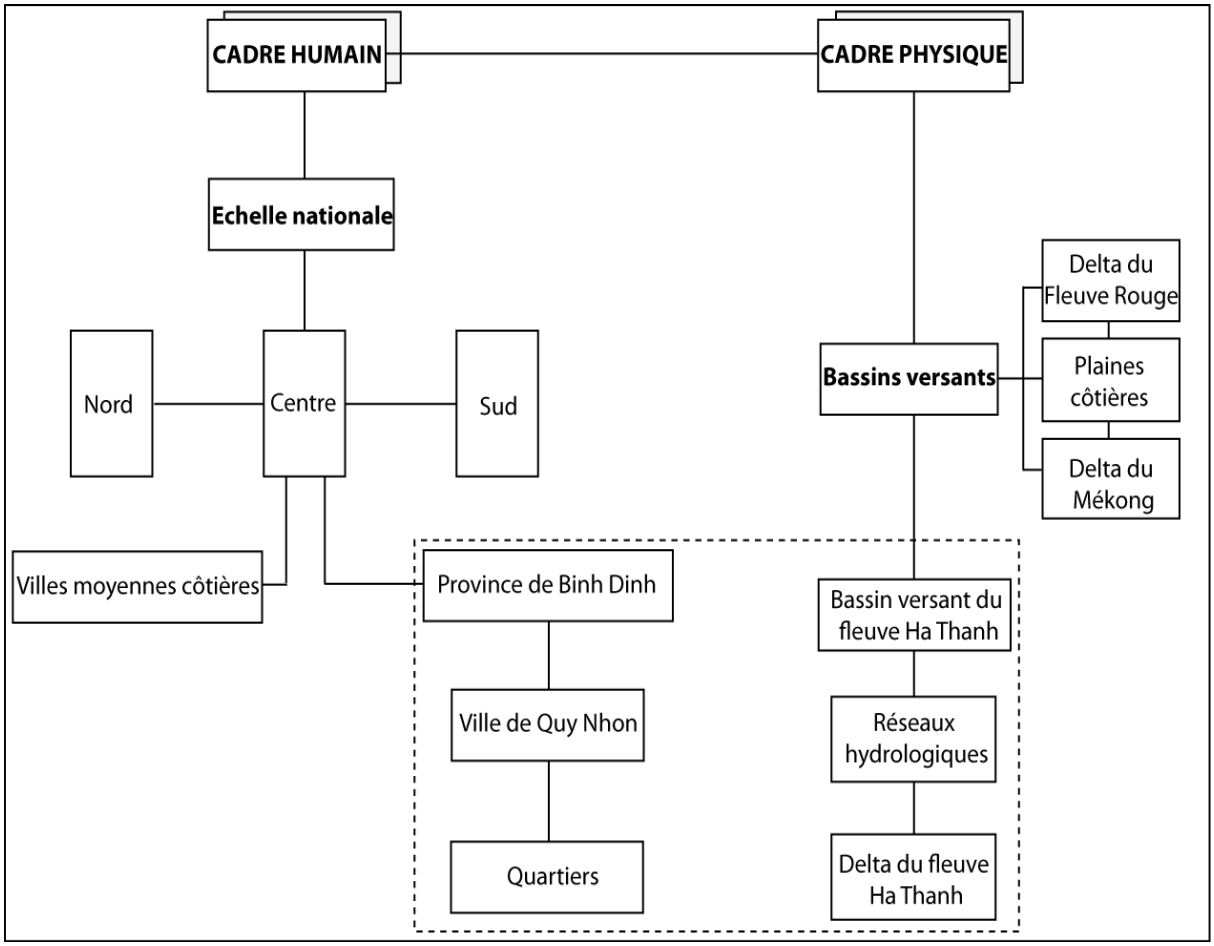


Figure 2.35. Différentes échelles spatiales abordées dans le chapitre 1 (Ngo, 2013)

Chapitre 3 - Le cadre méthodologique

Ce chapitre expose le cadre méthodologique de notre recherche. Nous présentons dans un premier temps des méthodes appliquées pour répondre aux questions soulevées dans l'introduction. Nous avons choisi plusieurs niveaux d'échelles pour l'analyse spatiale et temporelle, du 20^{e} siècle jusqu'à 2013 (Fig. 3.1).

- 1976-2009 : moyenne échelle focalisée sur l'évolution de l'occupation des sols, le diagnostic environnemental de la plaine d'inondation et les rythmes d'évolution de la ville. Les cartographies ont été réactualisées en 1976, 1988, 2000, 2002, 2009 et 2011;

- 2011 à 2013 : la grande échelle permet d'analyser et de spatialiser la vulnérabilité sociale de la plaine inondable.

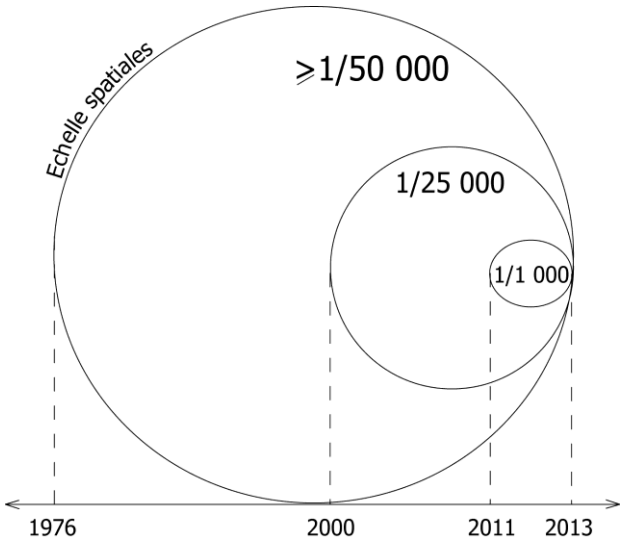


Figure 3.1. Les échelles spatio-temporelles de l'analyse géographique (Ngo, 2012)

L'étude met en œuvre la géomatique pour l'évaluation environnementale du risque d'inondation, via une analyse multicritères à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG), la télédétection et dans une moindre mesure la modélisation hydrologique (Fig. 3.2). Les enquêtes auprès des populations exposées aux changements programmés dans la plaine alluviale complètent l'évaluation environnementale.

Dans la province de Binh Dinh, de nombreux risques sont connus comme les mouvements de terrain (montagnes des districts de Van Canh, An Lao et Vinh Thanh) (Do, 2007), l'impact du changement climatique sur le développement durable de la ville de Quy Nhon (Luong, 2009), les conditions hydrométéorologiques qui provoquent des pluies et des inondations dévastatrices dans les bassins versants (Phan et Nguyen, 2010). Cependant, la plus grande menace au Viêt-Nam et plus précisément dans la province de Binh Dinh est le

risque d'inondation associé aux typhons. Comme on l'a déjà évoqué précemment, le niveau de risque et les dévastations induits par les inondations et les typhons augmentent d'années en années (Rapport Mondial, 2007/2008; Mai, 2009).

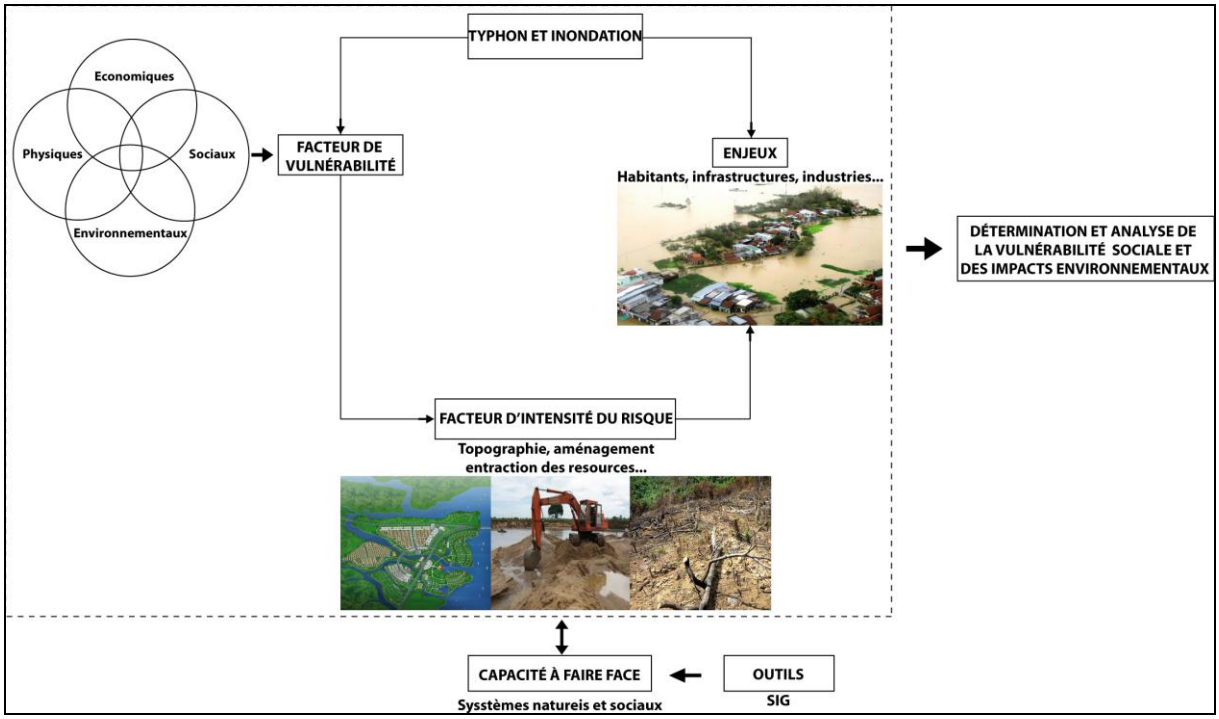


Figure 3.2. Démarche méthodologique dans l'analyse des risques naturels (Ngo, 2012)

Le delta du fleuve Ha Thanh est un espace dont la vulnérabilité est accrue face au risque d'inondation par sa forte concentration de population, d'infrastructures et de zones industrielles. Cette vulnérabilité varie selon les facteurs tels que la topographie, l'aménagement, l'extraction des ressources naturelles ou encore la déforestation.

3.1. Méthodologie à moyenne échelle : caractérisation et évolution des sites étudiés

3.1.1. Les objectifs de l'approche à l'échelle moyenne

Ce système permet de répondre aux objectifs principaux :

- étudier l'évolution spatiale de la ville de Quy Nhon pour la période 1976 – 2009;

- étudier l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh pour la période 1988-2011 afin d'analyser l'évolution spatiale de la vulnérabilité;

- étudier la dynamique d'évolution du fleuve Ha Thanh dans le delta des années 1988, 2002 et 2011.

C'est dans cette démarche d'étude d'un territoire exposé aux risques naturels que l'utilisation d'un Système d'Information Géographique (SIG) s'avère nécessaire pour :

- compiler et gérer les données Rasters et vectorielles;

- mettre en relation et interroger les diverses données du territoire;
- gérer les différentes échelles spatio-temporelles;
- générer l'analyse spatiale.

Il s'agit de réaliser les tâches suivantes (identifiées dans les différents chapitres de la thèse) :

- spatialisation des enjeux;
- cartographie des zones d'aléas;
- cartographie du risque d'inondation;
- analyse de la vulnérabilité sociale face aux impacts environnementaux;
- essais de modélisation hydrologique et 3D.

Cette démarche permettra de réaliser au final une prospective sur le territoire étudié :

- anticiper les changements environnementaux programmés;
- spatialisation des zones refuge à privilégier en période d'inondation;
- création d'une base de données spatialisées pour l'aide à la décision.

3.1.2. Protocole d'élaboration du SIG

« Un SIG est un outil d'analyse spatiale reposant sur la superposition de données iconographiques, qualitatives et quantitatives, toutes géoréférencées dans le même système de projection » (Grivel, 2008, p.108). Depuis les années 1960, les SIG « se sont substitués rapidement aux logiciels de gestionnaire de bases de données et de la qualité croissante de leur restitution cartographique » (Zaninetti, 2005, p.15) dans tous domaines où le géoréférencement des données est indispensable (gestion urbaine, aménagement du territoire, agriculture, santé, environnement, risques naturels)-(Slater, 1993; Klein et Laurin, 1999; Fosting, 2003).

Ils intègrent différents types de données issues de la télédétection (photographies aériennes, images satellitales), de la cartographie, de la technologie GPS (Fosting, 2003; Grivel, 2008). Ils sont utilisés pour la caractérisation et l'évolution de bassin versant, de zones humides (Gurnell et Montgomery, 1999; Grivel et Gautier, 2012). Nous décrivons longuement le protocole méthodologique qui a permis l'élaboration du SIG.

a). Les données du projet SIG

Pour notre recherche, l'élaboration du SIG propose plusieurs étapes clés : collectes des données du référentiel spatial (cartes et images satellitales), géoréférencement, intégration et création de données vectorielles (lignes, points, polygones). Le SIG est développé sous le

système de projection UTM, en ellipsoïde WGS84 (World Geodesic System 1984) ; zone 49N ; demi-grand axe a = 6 378 137,0 m ; aplatissement f = 1/298, 257 223 563.

Ces coordonnées d'origine proviennent de l'Institut de Géomatique du Viêt-Nam (Décision n°83 [44], 2000), sous la projection nationale VN-2000. Au laboratoire CEDETE, le SIG est constitué sous la gamme de logiciels *ESRI* (*ArcGis© 10*).

- Les données Rasters du référentiel spatial :

+ Carte de la planification.

La carte de la planification date de 2004, à l'échelle 1/100 000, et est disponible au Comité populaire de la ville de Quy Nhon pour l'aménagement et le développement de la ville à l'horizon 2020. La carte de planification a été utilisée pour évaluer l'évolution du processus d'urbanisation et surtout pour observer l'aménagement détaillé du territoire. Ces zones de planification sont concernées par les zones inondables de notre étude.

+ Carte de précipitation moyenne annuelle et de température moyenne annuelle.

Les deux cartes sont disponibles à l'échelle 1/100 000 en format papier au Centre Météorologique-Hydrologique de Binh Dinh. Ces cartes datent de 2005 et constituent des bases cartographiques de précipitations moyennes annuelles et de températures moyennes annuelles dans le bassin du fleuve Ha Thanh.

Tableau 3.1. Rasters utilisés

Nom	Année	Format	Référence	Echelle
Carte de la planification	2004	*Papier*	Comité populaire de la ville de Qui Nhon	1:100 000
Carte de précipitation moyenne annuelle	2005		Centre Météorologique-Hydrologique de Binh Dinh	
Carte de température moyenne annuelle			Centre Météorologique-Hydrologique de Binh Dinh	
Photographies aériennes	2005	**Jpg*	http://vietnaturetravel.com/	
	2012		http://www.skyscrapercity.com/	
Images satellitales	1988	**Tif*	http://earthexplorer.usgs.gov/	
	2002			
	2009		Université de Quy Nhon, Viêt-Nam	
	2011		Google Earth	

+ Les photographies aériennes 2005 et 2012 :

[44] http://thuvienphapluat.vn/archive/Quyet-dinh/Quyet-dinh-83-2000-QD-TTg-su-dung-He-quy-che-He-toa-do-quoc-gia-Viet-Nam-vb46519t17.aspx

Nous disposons de deux photographies aériennes obliques réalisées en 2005 et 2012 (Fig. 3.3). Elles apportent des informations précieuses pour représenter et évaluer l'évolution du processus d'urbanisation de la ville de Quy Nhon (voir en détail le chapitre 5).

Figure 3.3. Apports des photographies aériennes obliques dans l'évolution du paysage de la lagune de Thi Nai (Sources : http://vietnaturetravel.com et http://www.skyscrapercity)

+ L'apport des photographies anciennes

Nous avons trouvé des photographies anciennes de 1930, 1967, 2005 et 2010 (Tab. 3.2 et Fig. 3.4).

Tableau 3.2. Références des photographies anciennes

Type	**Année**	**Auteur/Organisme**	**Coordonnées géographiques du lieu de la prise de vue**	**Orientation**
Photographie	1930	Docteur français Gaide, Médecin Général Inspecteur, Inspecteur Général des Services Sanitaires et Médicaux de l'Indochine	13°46'57" N; 109°14'15" E	Sud-est
	1967	Robert. S (soldat d'armée d'État Unis pendant la guerre du Viêt-Nam)	13°45'36" N; 109°11'44" E	Nord-sud
	2005	http://binhdinh.vietccr.vn	13°45'13" N; 109°11'13" E	
	2010	NGUYEN Huu Xuan	13°45'11" N; 109°11'35" E	

Nous avons utilisé les photographies de la période de 1930 à 2010 pour l'étude de l'évolution du site de de Quy Nhon et son expansion urbaine avant 1975.

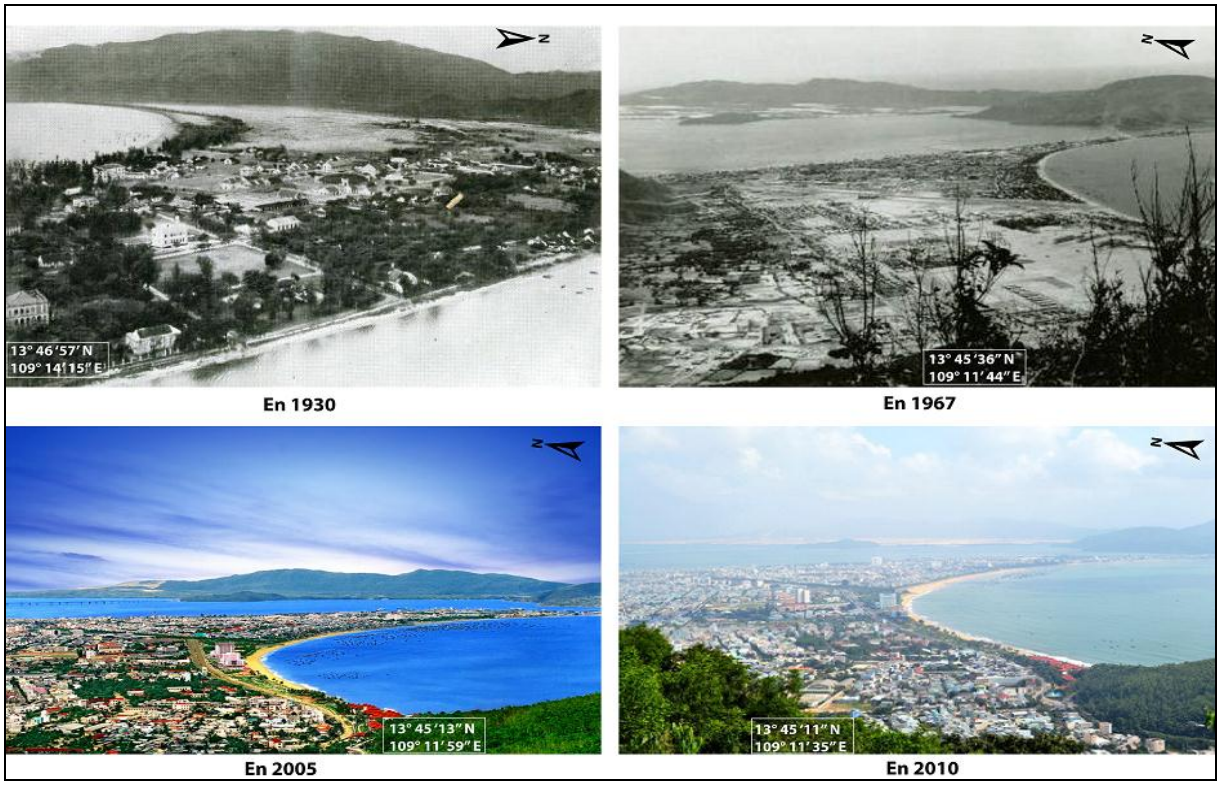


Figure 3.4. Apports des clichés anciens et actuels pour l'évolution de la ville de Quy Nhon de 1930 à 2010

- Les images satellitales :

Pour caractériser l'occupation du sol dans la zone d'étude, nous utilisons l'image satellitale SPOT 4 (22 mars 2009). Cette image présente seulement la zone principale du centre-ville de Quy Nhon. Par conséquent, pour étudier le bassin versant du fleuve Ha Thanh à moyenne échelle, nous utilisons l'image satellitale issue de *Google Earth*© (9 juin 2011). Nous avons mosaïquée cette image dans un logiciel de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) (Fig. 3.5). La rectification des images se réalise sous SIG. Cette méthode permet de mieux classifier, sous un logiciel de télédétection, les images pour dresser l'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh.

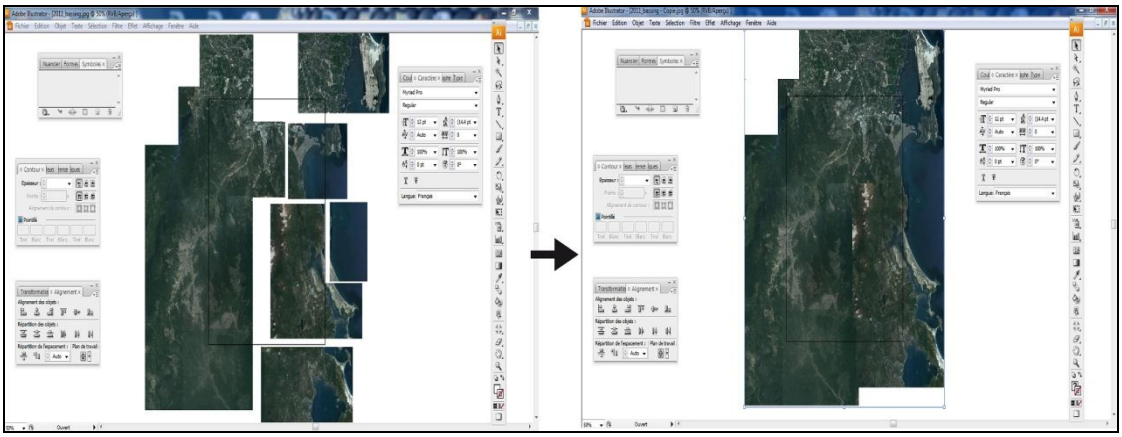


Figure 3.5. Mosaïque des images satellitales à l'aide d'un logiciel de DAO (Ngo, 2010)

- Les données vectorielles :

De nombreuses données vectorielles sont utilisées pour enrichir la base de données spatialisée et montrer les caractéristiques et l'évolution des sites étudiés. Les données vectorielles sont dans des formats différents : *.tab* (*Mapinfo*©), *.dng* (*Microstation*©), *.dwg* (*AutoCad*©) et *.shp* (*ArcGis*©)-(Tab. 3.3). Ces formats de données ont été ensuite convertis vers le format en *.shp* (*ArcGis*©).

Tableau 3.3. Données vectorielles

Nom	Année	Lieu	Format	Référence	Echelle
Carte topographique	2005	Province de Binh Dinh	**tab, *shp*	Ministère des Ressources naturelles et de l'Environnement de la province de Binh Dinh	1:100 000 et 1:10 000
Carte administrative			**tab*		1:100 000
Carte hydrologique					
Carte géologique				Confédération de Géologie et des Ressources minérales au Centre et l'Institut des géosciences et des ressources naturelles du Viêt-Nam	
Carte pédologique					
Carte d'occupation du sol	2010	Ville de Quy Nhon	**dng*	Centre d'Information du Service des Ressources et de l'Environnement de Binh Dinh	1:25 000
Carte topographique					
Carte cadastrale			**dng/dwg*		1:25 000, 1:500
Cartes administratives	2005	Viêt-Nam	**shp*	http://gis.chinhphu.vn http://www.climategis.com	1:1 000 000 et 1:100 000
		Le monde		http://www.naturalearthdata.com	1:150 000 000

b). Méthodologie géomatique du projet

Toutes les données vectorielles ont été créées et intégrées dans les projets **SIG (INTER)** et **MH-SIG (HYDR)**-(Fig. 3.6). Nous avons ainsi digitaliser le fonds iconographique.

SIG (**INTER)** : les cartes (1976 et 2009) et les images satellitales (1988, 2002 et 2011) ont été utilisées pour créer des données vectorielles : des polygones (activités humaines, occupation du sol, limites…), polylignes (aménagements fluviaux, réseaux hydrologiques et profils topographiques) et points (toponymie, exutoire du fleuve Ha Thanh, points GPS…). Grâce au SIG, nous pouvons réaliser des évolutions diachroniques : 1976-1999 et 1999-2009 pour la croissance démographique et développement de la ville ; 1988-2002 ; 2002-2009 et 2009-2011 pour la typologie de formation et évolution d'occupation du sol, et aussi suivi de la morphologie du fleuve (Fig. 3.6).

MH-SIG (HYDR) : pour un essai de modélisation hydrologique, nous avons utilisé le modèle hydrologique HEC-HMS. Ce modèle utilise les données vectorielles du **SIG (INTER)**. Par exemple, le réseau hydrographique et un MNT ont été utilisés dans ce modèle. Nous tenterons de faire une simulation hydrologique et de dresser une carte d'inondation (Fig.

3.6). Le développement du SIG permet de créer une base de données hydrogéomorphologiques du bassin et du delta, ce qui n'existait pas avant.

+ Exploitation de l'image satellitale issue de Google Earth

Le 18 octobre 2001, l'image satellitale à très haute résolution spatiale (QuickBird) été publiée sur *Google Earth*© (Lillesand *et al.*, 2007). De nombreux chercheurs ont déjà utilisé les images satellitales issues de *Google Earth*© : "Google Earth, GIS, and the Great Divide : A new and simple methode for sharing paleontological data" par Conroy et al (2008) ou Lisle (2006), "*Google Earth*© : A new geological resource". Selon Vernard et al. (2010), « on peut envisager d'utiliser les images issues de *Google Earth*© en tant que données soumises à traitement » (p.61). L'image satellitale de *Google Earth*© est utilisable pour la classification supervisée de l'occupation du sol (Bernabe et Plaza, 2010).

L'image satellitale a été fait par un géoréférencement sous *ArcMap*© avec les erreurs QM (*Quadratic Mean*) = 0.00004 (Fig. 3.7).

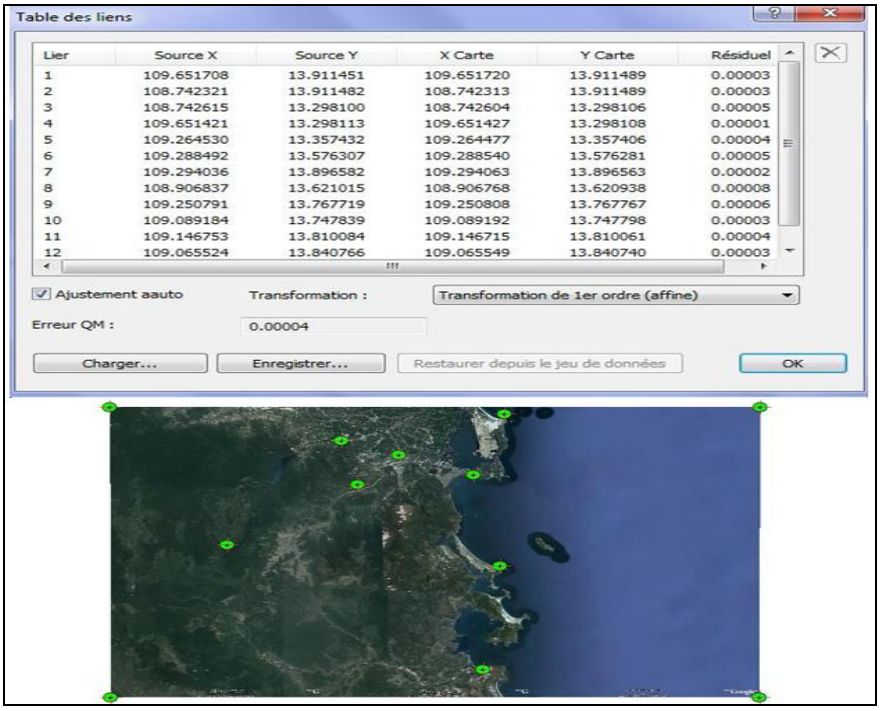


Figure 3.7. Géoréférencement d'un jeu de données raster du bassin versant Ha Thanh (Ngo, 2012)

Cette image satellitale nous permet d'analyser l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh. En outre, à partir de cette méthode, nous pouvons obtenir une autre image satellitale de meilleure qualité numérique (10 m de résolution spatiale). Cette image satellite a été utilisée pour vectoriser plusieurs types d'objets géographiques : bâtiments, routes, digues, barrages.

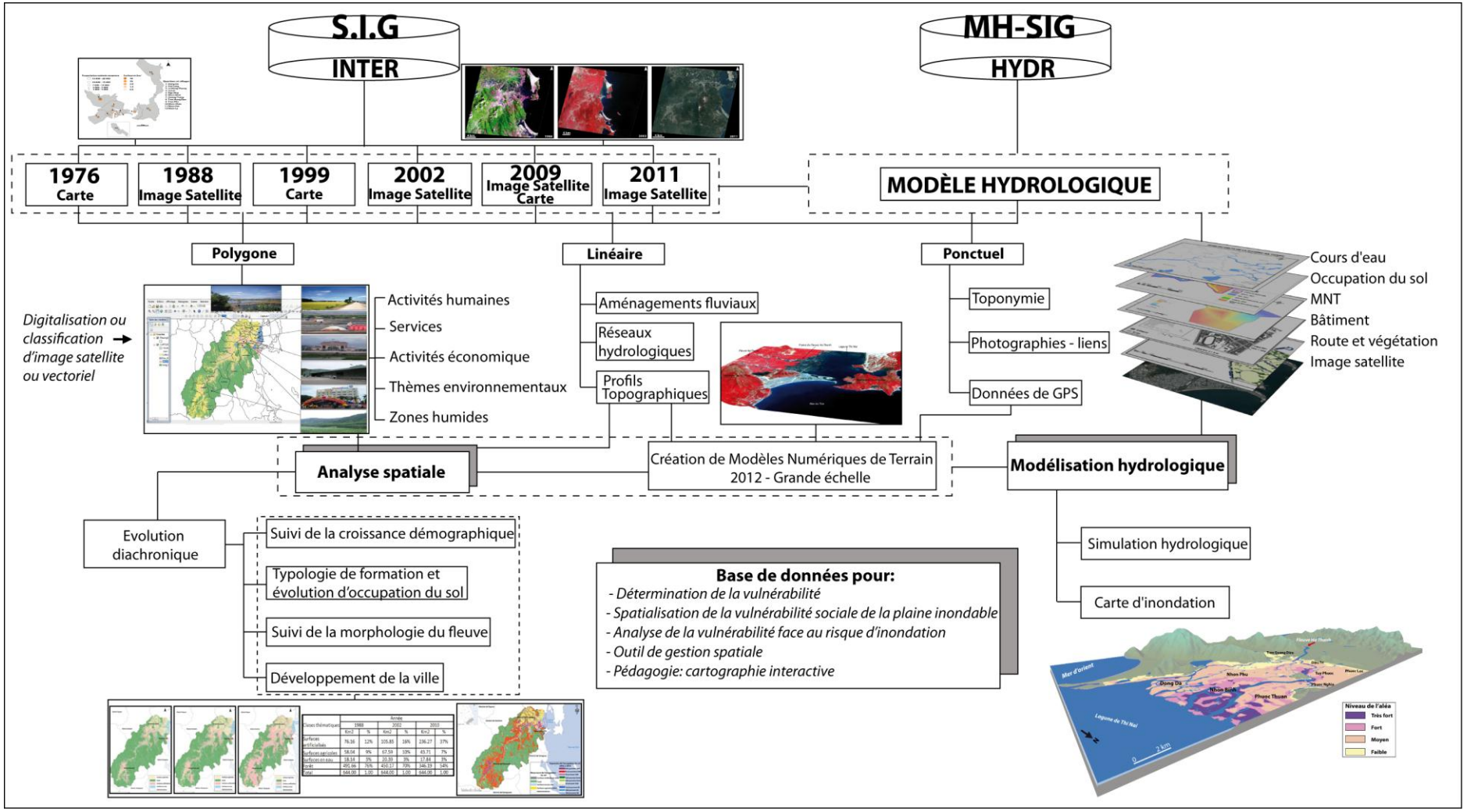


Figure 3.6. Organisation du S.I.G à l'échelle moyenne (Ngo, 2012)

- Carte de précipitation moyenne annuelle de la province de Binh Dinh.

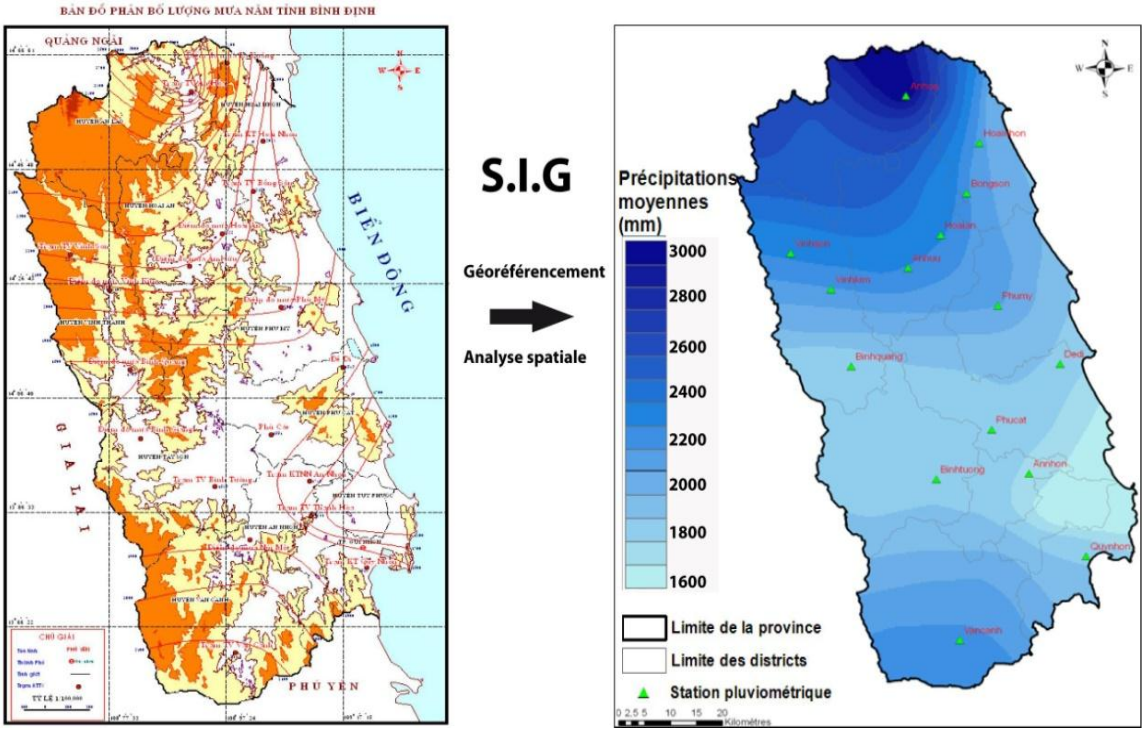


Figure 3.8. Transformation de données matricielles en données vectorielles : exemple de la cartographie des précipitations moyennes annuelles de la province de Binh Dinh (Source de donnée : Centre Hydrométéorologique de la province de Binh Dinh. Réalisation : Ngo, 2013)

Selon la même méthode de digitalisation et à l'aide de l'extension *3D Analyst*© d'*ArcGis*©, nous avons créé la carte de précipitation moyenne annuelle (Fig. 3.8). Les données sont représentées sous le type linéaire pour les contours de précipitation moyenne annuelle et le type polygone pour les limites administratives de la province de Binh Dinh.

+ Détermination des limites du bassin versant du fleuve Ha Thanh :

*** Intégration des données diverses**

- Les aménagements fluviaux sont représentés sous le type linéaire : digues, barrages-écluses, ponts, routes sur remblais (Fig. 3.9). Ces ouvrages sont représentés dans le SIG avec des liens dynamiques vers des figures et des photographies.

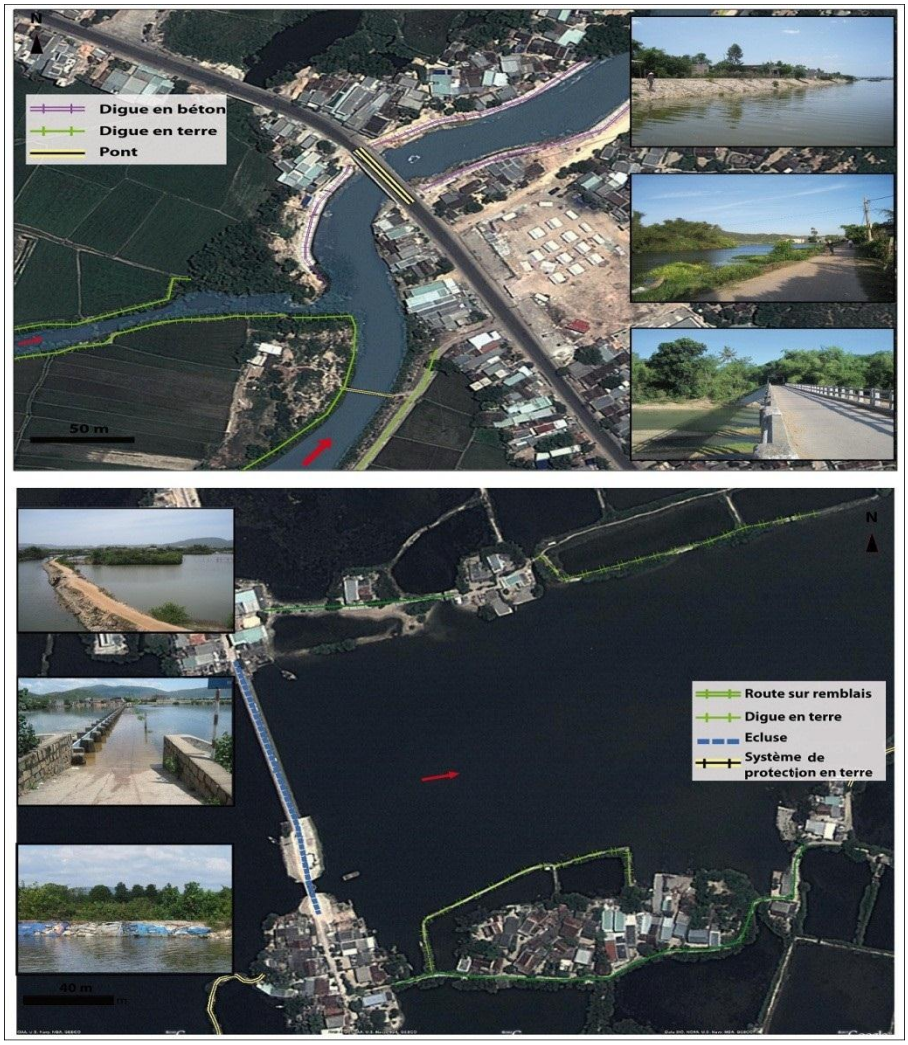


Figure 3.9. Différents types d'aménagements fluviaux et leur légende dans le SIG (Ngo, 2013)

- La topographie de la plaine d'inondation est représentée sous le type linéaire : courbes de niveau à partir de la carte d'altitude de la province de Binh Dinh, à l'échelle 1/10 000 (2010)-(Fig. 3.10).

Table

cours_niveaux_Project

OBJECTID *	Shape *	Id	Shape_Length	Altitude	Nom
568	Polyligne	568	172.915206	30	Contour
569	Polyligne	569	228.718324	35	Contour
570	Polyligne	570	3254.554048	35	Contour
571	Polyligne	571	1027.096468	50	Contour
572	Polyligne	572	168.286815	40	Contour
573	Polyligne	573	414.573065	10	Contour
574	Polyligne	574	860.534735	70	Contour
575	Polyligne	575	396.823619	65	Contour
576	Polyligne	576	297.169806	65	Contour
577	Polyligne	577	220.719723	10	Contour
578	Polyligne	578	140.706665	20	Contour

0 (0 sur 929 sélectionnés)

cours_niveaux_Project

Figure 3.10. Extrait du tableau d'attribution d'une couche topographique (Ngo, 2012)

- Intégration des points levés au GPS et au théodolite pour créer les MNT (topographie terrestre et bathymétrique).

- Le **réseau hydrographique** a été crée à partir du MNT à l'aide la fonction "*Analyse Spatiale d'hydrologie*" ou *ArcHydro*© dans le logiciel *ArcGis*©. Ce réseau a été représenté sous le type linéaire et caractérisé dans une table correspondante :

+ **Identité de la forme** : numérotation (**1, 2, 3**…) pour chaque cours d'eau ;

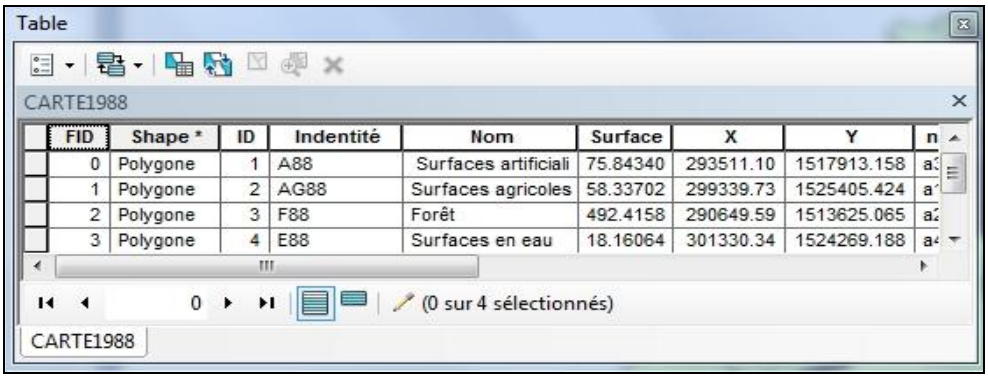
+ **Shape_Leng** : pour représenter la longueur du cours d'eau en mètres (m) ;

+ Subbasin : numéro de sous-bassin

- L'**occupation du sol** :

La **typologie** que nous avons choisie pour réaliser la classification des images satellitales de 1988, 2002 et 2011 comprend quatre thèmes : surfaces artificialisées, surfaces en eau, surfaces agricoles et forêt. Les polygones sont caractérisés dans une table correspondante (Fig. 3.11). La méthode de classification est présentée dans la partie suivante.

Fichiers : [couche1988] – [couche2002] – [couche2011]



FID	Shape *	ID	Indentité	Nom	Surface	X	Y	n
0	Polygone	1	A88	Surfaces artificiali	75.84340	293511.10	1517913.158	a
1	Polygone	2	AG88	Surfaces agricoles	58.33702	299339.73	1525405.424	a
2	Polygone	3	F88	Forêt	492.4158	290649.59	1513625.065	a
3	Polygone	4	E88	Surfaces en eau	18.16064	301330.34	1524269.188	a

Figure 3.11. Extrait du tableau d'attribution d'une couche thématique (Ngo, 2012)

+ **Identité** de la forme : par exemple, à partir de 1988, nous avons numéroté A88 pour les surfaces artificialisées, E88 pour les surfaces en eau, AG88 pour les surfaces agricoles et F88 pour la forêt;

+ Type de forme (**Nom**) : artificialisées, eau, agricole et forêt ;

+ **Surface** en mètre carré (m^2) ;

+ Coordonnées **X** (latitude) et **Y** (longitude) du centroide de chaque polygone.

- Les **activités humaines** : (Fig. 3.12).

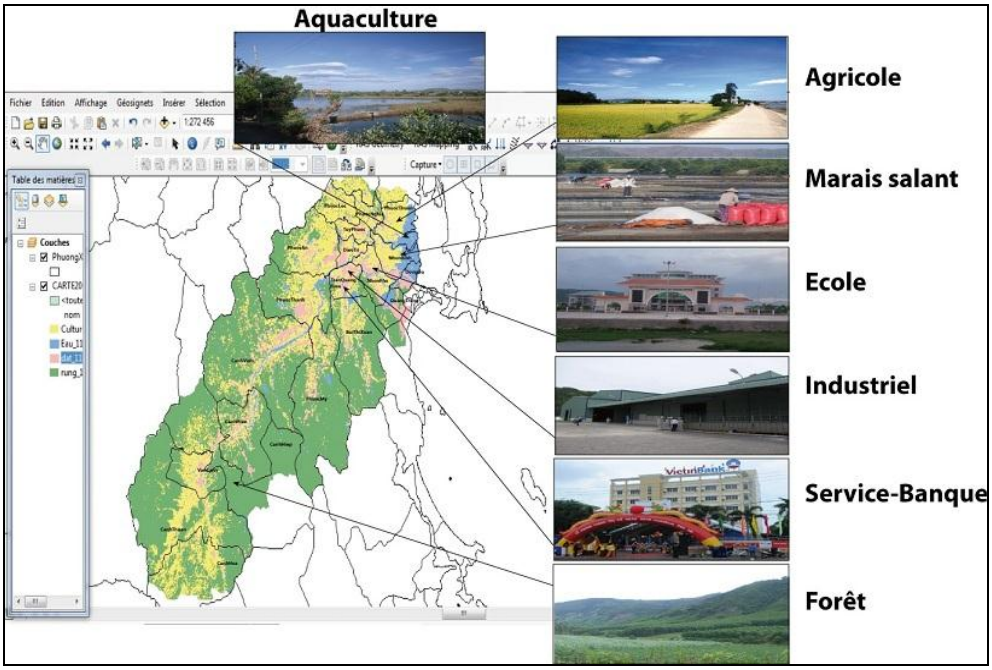


Figure 3.12. Identification sous SIG des activités humaines dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

- Les **habitations/populations** : les populations ont été intégrées dans la carte administrative en vectoriel (*.shp*) pour les années 1976, 1999 et 2009.

Fichiers : [couche1976] – [couche1999] – [couche2009].

Table

Carto1976_habitants

OBJECTID	Shape *	Id	Indentité	Nom_Quarti	Population	Densite	Surfaces	Sh
18	Polygone	19	po76	Nhon Ly	6275	376.4789	17.027082	
19	Polygone	20	po76	Nhon Hai	4282	322.6754	12.749968	
20	Polygone	21	po76	Nhon Chau	1826	497.9995	3.831026	
45	Polygone	22	po76	Ngo May	12520	9145.229	1.229707	
46	Polygone	23	po76	Tran Phu	15020	30630.74	0.632276	
48	Polygone	24	po76	Le Hong Phong	16816	15302.99	0.992039	
49	Polygone	25	po76	Tran Hung Dao	13436	28961.52	0.468275	

0 (0 sur 12 sélectionnés)

Carto1976_habitants

Figure 3.13. Extrait du tableau d'attribution d'une couche thématique de population de la ville de Quy Nhon en 1976 (Ngo, 2012)

+ Identité du polygone : par exemple à partir de 1976, nous avons numéroté **po76** pour la population en 1988, **po99** pour la population en 1999 et **po09** pour la population en 2009;

+ Type de forme : **population**, **densité**, **démographie**;

+ Nombre de population du type **entier long**.

3.1.3. Développement et applications de la géomatique

a). Apports de la télédétection

« La télédétection comprend l'ensemble des procédés et techniques qui permettent d'acquérir à distance des informations sur les objets terrestres, en utilisant les propriétés des ondes électromagnétiques émises ou réfléchies par des objets »-(Girard et Girard, 1999, p. 529). Elle désigne les propriétés physiques des objets observés selon les effets des rayonnements électromagnétiques.

Durant les années 1960, le terme technique de télédétection a été utilisé la première fois aux États-Unis. Le 23 juillet 1972, les Américains ont lancé le satellite ERTS-1 (Earth Ressource Technologie satellite) appelée Landsat-1.

La télédétection et les SIG sont des outils spécialement appropriés pour l'évaluation environnementale et ainsi que l'étude des risques naturels (Meyer *et al.*, 2001; Wade *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 1999; Mandimbiharison et Raharison, 2003; Sitayeb et Benabdeli, 2008). De nombreuses études ont mis en œuvre les SIG et la télédétection pour réaliser la cartographie de l'occupation du sol et ses changements (Burel et Baudry, 1999; El Garouani *et al.*, 2007).

Il s'agit de nombreuses méthodes qui ont été réalisées et appliquées pour la détection des changements de l'occupation des sols (Bonn, 1996; Mas, 2000; Lu *et al.*, 2004; Hoang *et al.*, 2007). Pour notre recherche, la compréhension de la dynamique socio-économique du bassin versant du fleuve Ha Thanh s'explique en fontion de l'occupation du sol (Hoang *et al.*, 2007; El Garouani *et al.*, 2007).

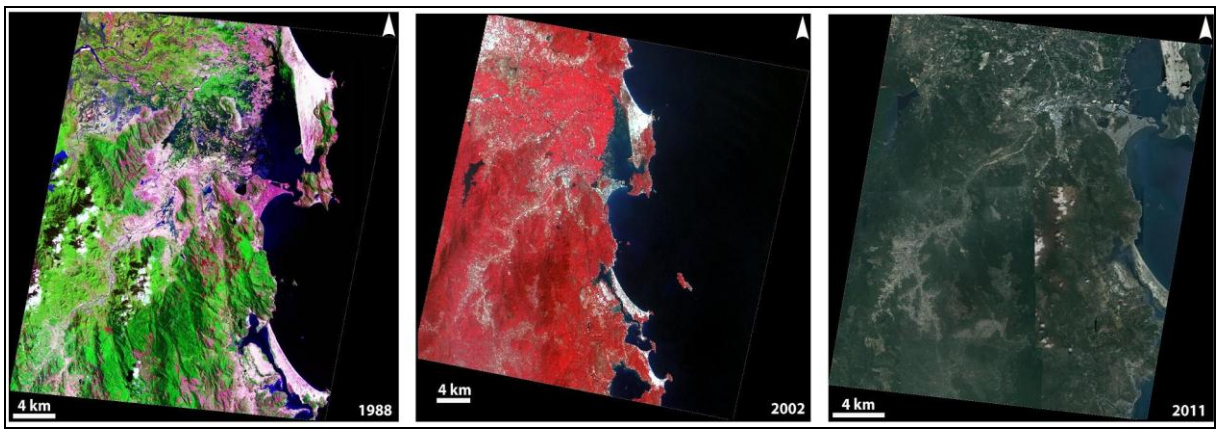


Figure 3.14. Quelques images satellitales utilisées pour le bassin versant du fleuve Ha Thanh : Landsat 1988, 2002 et QuickBird de 2011 (Réalisation. Ngo, 2012)

L'occupation du sol de notre zone d'étude et ses évolutions spatio-temporelles sont cartographiées à partir des images satellitales de 1988, 2002 et 2011 (Fig. 3.14 et Tab. 3.4).

Tableau 3.4. Récapitulatif des images satellites utilisées (Ngo, 2012)

	Capteur	Date de prise	Résolution
Images	LANDSAT TM	27-08-1988	30 m
	LANDSAT TM	25-07-2002	30 m
	QUICK BIRD	09-06-2011	30 m

b). Développement de l'analyse spatiale

Pour développer l'analyse spatiale, nous générons trois cartes d'occupation du sol en 1988, 2002 et 2011 à l'échelle 1 : 100 000. Des cartes d'évolution sont ainsi créées sur deux pas de temps (1988-2002 et 2002-2011).

Notre travail se déroule en trois étapes principales: les pré-traitements, les classifications et la cartographie des changements de l'occupation du sol (Fig. 3.15).

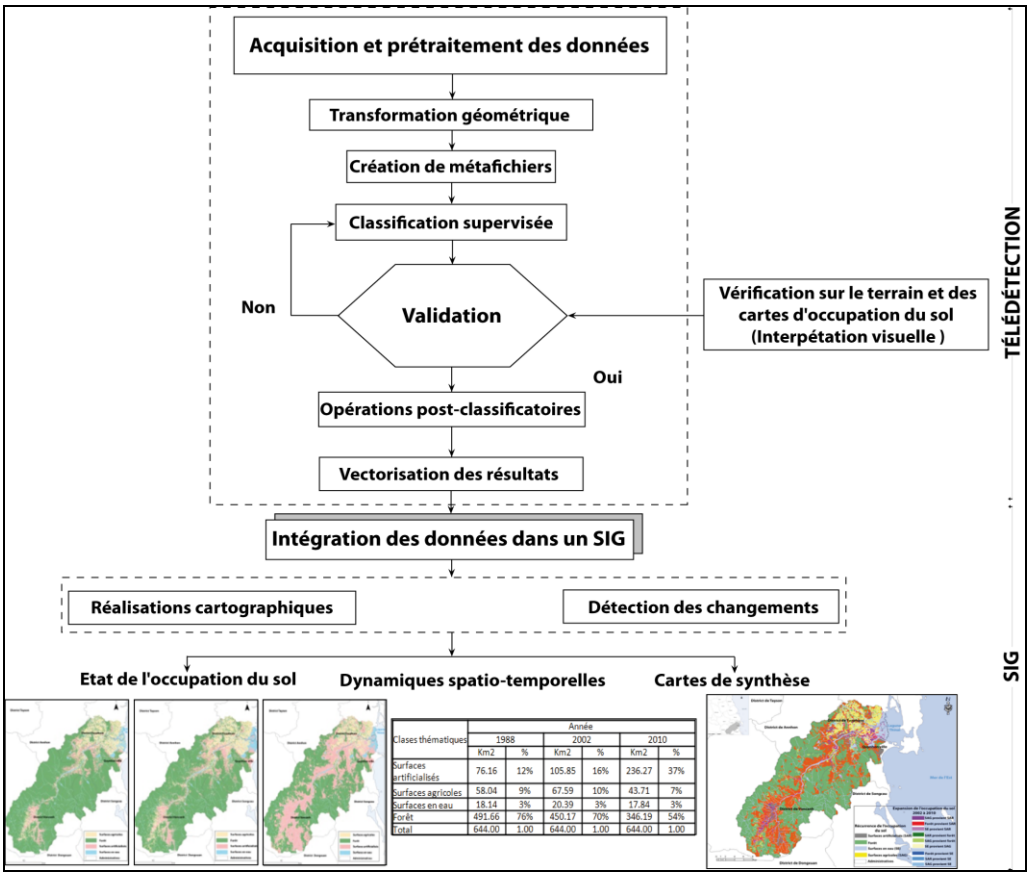


Figure 3.15. Organigramme de la méthodologie en télédétection (Ngo, 2012)

Il s'agit de plusieurs méthodes de classification des images satellitales. La méthode de classification supervisée a été appliquée puisque nous connaissons l'essentiel du terrain d'étude (Xiajoin Zhu et Goldberg, 2009). Quatre grands thèmes d'occupation du sol sont retenus : les surfaces artificialisées, les surfaces en eau, les surfaces forestières et les surfaces agricoles. À partir de ces thèmes, neuf classes ont été créées (Tab. 3.5). La classification dirigée (supervisée) est choisie selon la méthode dite du plus proche voisin (*nearest neighbor classifier*) avec

vérification sur le terrain (Alban, 2005; Hoang *et al.*, 2007; Xiajoin Zhu et Goldberg, 2009) et le coefficient Kappa [45] (Fig. 3.16).

Tableau 3.5. Classes thématiques appliquées pour la classification supervisée

(Ngo, 2013 d'après Hoang *et al.*, 2007)

Classes thématiques	Groupes	Description
Type de sol 1	Surfaces artificialisées	Urbain à forte densité (centre ville ou ville des districts)
Type de sol 2		Urbain à faible densité (incluent des jardins et villages)
Type de sol 3		Constructions, zones industrielles et routes
Rizières	Surfaces agricoles	Rizières
Milieu humide 1		Milieu agricole très humide
Milieu humide 2		Milieu agricole humide
Milieu sec		Milieu agricole sec, terres agricole en friche, sans récolte, etc.
Forêt	Forêt	Feuillus, plantations d'acacia, de pin, d'eucalyptus, de bambou
Eau	Surfaces en eau	Rivières, lacs, lagune et zones inondées

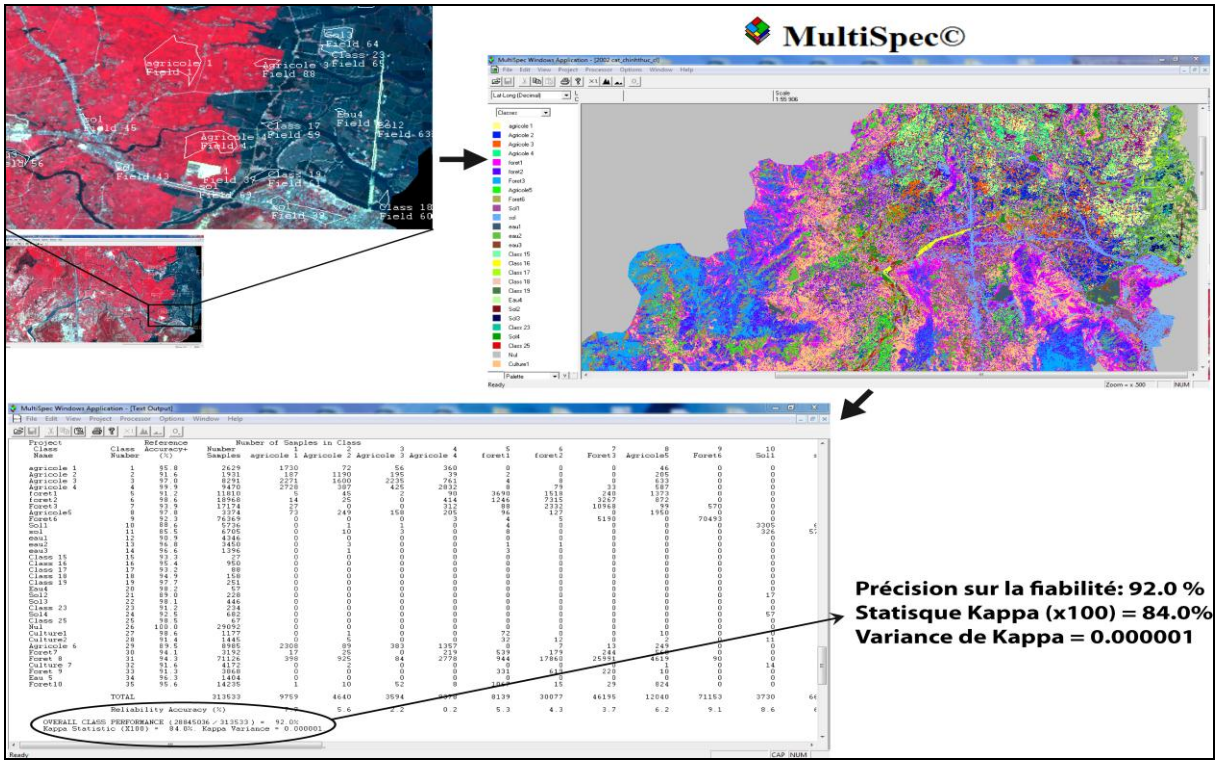


Figure 3.16. Classification supervisée d'image satellitale en 2002 sous le logiciel MultiSpec© [46] (Ngo, 2012)

Ensuite, nous convertissons les données Rasters vers des formats vectoriels et les exportons (*.shp*) dans le projet SIG. Dès lors, nous pouvons quantifier l'emprise des différents éléments de l'occupation du sol (Fig. 3.17) pour mieux connaître, par exemple, l'état des ressources naturelles du bassin versant du fleuve Ha Thanh.

[45]« L'accord observé entre des jugements qualitatifs ou non, résulte de la somme d'une composante «aléatoire» et d'une composante d'accord «véritable» » (Dacko, 2009, p.17).

[46] Ce logiciel est disponible sur le site https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/index.html

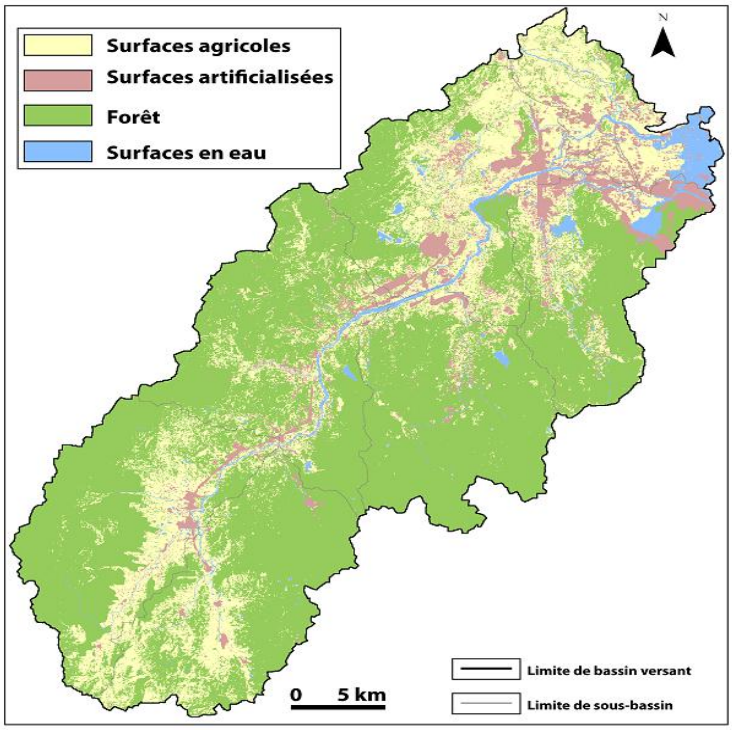


Figure 3.17. Exemple de l'occupation du sol du bassin versant en 2011 (Ngo, 2012)

3.1.4. Les données topographiques

Les données topographiques sont très importantes pour notre recherche consacrée aux risques hydrologiques. Nous nous appuyons sur des données topographiques diverses : les données cartographiques et celles issues de MNT (Tab. 3.6). Nous utilisons ainsi :

- une carte topographique de la ville de Quy Nhon en 2010 à l'échelle 1/50 000 en format *.dng* (*Microstation*©) venant du Centre d'Information – Service des Ressources naturelles de l'Environnement de Binh Dinh du Viêt Nam;

- une carte topographique de la province de Binh Dinh en 2010 à l'échelle 1/10 000 a distribué sous le format *.shp* (*ESRI*©) issue du Ministère des Ressources naturelles et de l'Environnement de la province de Binh Dinh.

Les données topographiques issues de MNT sont les suivantes :

- MNT bathymétrique du fleuve Ha Thanh créé à partir de profils en travers levés par nos soins en 2012 (voir 3.2.2).

- ETOPO1 Global Topography, campagne de mesures réalisée en août 2008 par le NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) au format GeoTiff. Cette donnée est disponible sur le site Internet : http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html;

- SRTM 90 mètres version 4 – Shuttle Radar Topography Mission par le CGIAR-CSI (*Consortium for Spatial Information*), données au format GeoTiff disponibles sur : http://srtm.csi.cgiar.org/;

- Aster Gdem V2-30m (*Advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer*), au format GeoTiff, campagne réalisée en juin 2009 et disponible sur le site : http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp.

Tableau 3.6. Données topographiques utilisées et créées dans la thèse

Nom	Année	Lieu	Format	Référence	Echelle
Données cartographiques	2010	Ville de Quy Nhon	**dng*	Centre d'Information – Service des Ressources naturelles de l'Environnement de Binh Dinh	1 : 25 000
		Province de Binh Dinh	**shp*	Ministère des Ressources naturelles et de l'Environnement de la province de Binh Dinh	1:10 000
MNT	2012	Bathymétrie du fleuve Ha Thanh	**Geotif*	Réalisée par Anh-Tu Ngo et Stéphane Grivel	1:10 000; 5 m de résolution
	1996	Monde		NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)	1:200 million; 1 km de résolution
	2011			Shuttle Radar Topography Mission par le CGIAR-CSI	1:200 million; 90 m de résolution
				Aster Gdem V2 (Advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer)	1: 100 000; 30 m de résolution

Toutes ces informations sont géoréférencées dans le système de projection UTM 49 nord, WGS 84 et intégrées dans le projet SIG. Ces données sont ensuite exploitées sous les modules d'analyse spatiale, de *3D Analyst*© et d'*ArcScene*© (*ArcGis 10*©).

- **Logiciels**

6 principaux logiciels de SIG, de traitement d'images, de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) et de modélisation hydrologique ont été utilisés selon les moyens mis à disposition au laboratoire CEDETE :

- *ArcGis*© version 10.0 et *GRASS GIS*© [47] version 6.4 pour traiter les données vectorielles/rasters et les données statistiques;
- *MultiSpec*© version 2.0 pour le traitement numérique des images satellitaires;
- *HEC-HMS*© version 3.5 pour la modélisation hydrologique;
- *Google Sketchup*© version 8.0 pour réaliser des bâtis en 3D;
- *Adobe Ilustrator CS3*© pour le traitement des cartographies.

La méthodologie à moyenne échelle permet de caractériser la zone d'étude et l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh. Cependant, pour étudier en détail la plaine deltaïque du fleuve Ha Thanh, l'échelle fine apporte des données complémentaires et essentielles dans l'évaluation environnementale du risque d'inondation.

[47] http://grass.osgeo.org/

3.2. Méthodologie à grande échelle : modélisations urbaine et hydrogéomorphologique et enquêtes auprès des populations

3.2.1. Les objectifs de la grande échelle

Pour consolider les résultats obtenus à travers l'approche à moyenne échelle et remédier les limites de ce niveau scalaire, il est nécessaire de disposer de données axées sur le fonctionnement actuel du bassin versant en fonction des phénomènes hydroclimatiques et socio-économiques intra et interannuels. La méthode à grande échelle repose sur des relevés de terrain, des enquêtes sur la vulnérabilité sociale et la modélisation hydrologique. Cette recherche met en œuvre différentes méthodes permettant de caractériser le risque d'inondation, d'enquêter sur la vulnérabilité sociale à l'échelle de chaque zone d'étude et de chaque évènement hydrologique depuis 2009 dans le bassin versant en général et la plaine d'inondation du fleuve Ha Thanh en particulier. Un fort investissement de terrain est développé durant 3 ans pendant les saisons de basses eaux et de hautes eaux. Notre recherche reste originale à ce jour pour l'étude du bassin Ha Thanh. Nous sommes à la croisée des méthodes de la géographie humaine (enquêtes par exemple) et de la géographie physique (méthode hydromorphologique par exemple). Les objectifs à atteindre par la méthode des MNT, des protocoles d'enquêtes et de l'exploitation des données hydrologiques à grande échelle sont les suivants :

- cartographier des zones d'aléas et de risques;
- créer une typologie de la vulnérabilité du delta et de sa population;
- modéliser les objets en 3D;
- déterminer les perceptions des populations exposées;
- générer une cartographie participative;
- analyser le comportement hydrologique du fleuve Ha Thanh;

3.2.2. Les mesures topographiques

a). Les profils en travers

Il existe très peu de données topographiques sur les cours d'eau dans la province de Binh Dinh en général. Elles n'existent pas pour le fleuve Ha Thanh. C'est pour cela que nous réalisons les profils en travers du fleuve Ha Thanh (d'une rive à l'autre en mesurant différents points de profondeur). Il s'agit de deux méthodes de mesure de la profondeur : la mesure ponctuelle et la mesure en continu (Carlini, 2006).

Le GPS différentiel (*Differential Global Positioning System*), l'échosondeur et le théodolite sont des outils idoines pour mesurer la profondeur d'un lit fluvial (Carlini,

2006; Grivel, 2008). Ces outils permettent de mesurer des points aux coordonnées *x.y.z* précises.

Figure 3.18. Méthode de levés topographiques dans le lit mineur du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2012)

Des problèmes techniques relatifs à l'antenne GPS de l'échosondeur nous ont contraints à modifier la méthode d'acquisition des données topographiques du lit fluvial durant notre campagne de mesures de l'été 2012. Une méthode de mesure des profils est développée et fondée sur le couplage d'un GPS de précision décimétrique pour la planimétrie (*x*,*y*) et une mire graduée de 5 mètres (mesure précise directe)-(Fig. 3.18).

Les données sont ensuite intégrées sous SIG. Certains profils sont affinés avec l'utilisation d'une station totale. Les digues sont d'ailleurs mesurées au théodolite (Nguyen et Dang, 2003)-(Fig. 3.19).

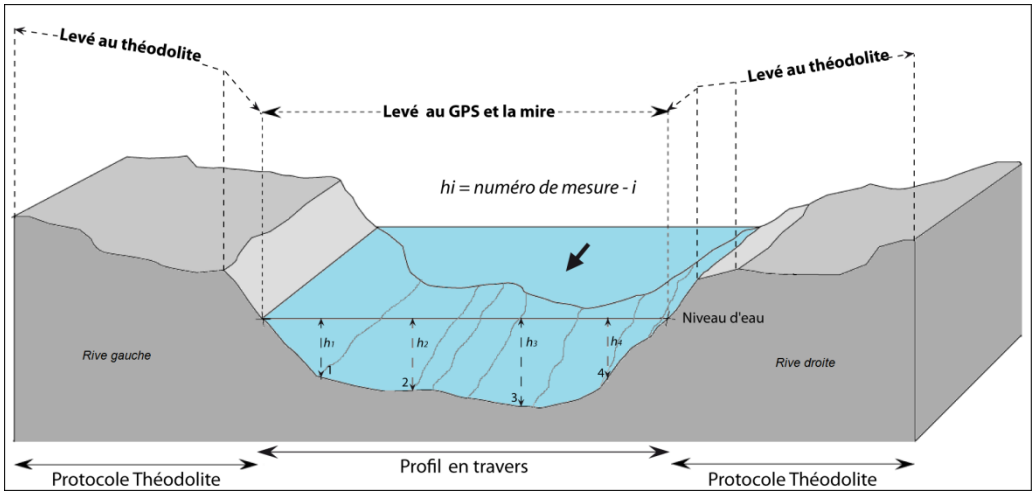


Figure 3.19. Méthodologie des mesures topographiques (Ngo, 2012)

Bien que cette méthode soit plus ancienne et "rudimentaire" que l'échosondeur, elle reste robuste et permet la construction de profils bathymétriques très précis. Elle s'adapte bien au terrain dans le fleuve Ha Thanh dont la profondeur n'excède pas 4,5 m durant la période de basses eaux (été 2012). Ce GPS utilise l'image satellitale de *Google Earth*© le logiciel *StitchMaps*© [48] (version gratuite) pour prendre directement d'image satellite de Google Earth©. Ensuite, nous avons utilisé le logiciel *Microsoft ActiveSync*© pour importer cette image au GPS sous l'extension *ArcPad*© [49] 8.0.

Cette partie objective se décompose en plusieurs étapes :

- observation sur le terrain pour repérer les profils en travers, tout le long du fleuve (environ 40 km de l'amont à l'aval). Pour le delta du fleuve Ha Thanh, deux bras sont mesurés. La première branche traverse le quartier de Nhon Binh et les villages de Phuoc Thuan et de Dieu Tri. Le second bras traverse le quartier de Nhon Phu et Dong Da;

- choix de la position des profils en travers;

- mesure de tolérance de points: chaque point a été mesuré et défini avec la profondeur (h) < 3 m correspondant à la tolérance de point ±2 cm, et h ≤ 5 m correspondant à la tolérance de point ± 5 cm (Nguyen et Dang, 2003);

- choix des profils : nous les avons levés de la rive gauche à la rive droite. Il faut un carnet pour noter des points (profondeur *z* (m), coordonnée *x*, *y* ou date,…). Chaque changement de topographie, chaque limite de micro-forme fluviale, chaque limite majeure de végétation ont été marqués, enregistrés sur l'ordinateur du GPS et notés sous forme de croquis sur le carnet de terrain. Durant l'été 2012, 27 profils en travers sont dressés, de l'amont à

[48] Ce logiciel est disponible sur le site http://stitchmaps-2-5.updatestar.com/fr

[49] http://resources.arcgis.com/fr/content/arcpad/10.0/about

l’aval du fleuve Ha Thanh, traversant les villages de Van Canh, Canh Hiep, Phuoc My et les deux quartiers de Nhon Binh et Nhon Phu (Fig. 3.20, Annexe 2 (A)).

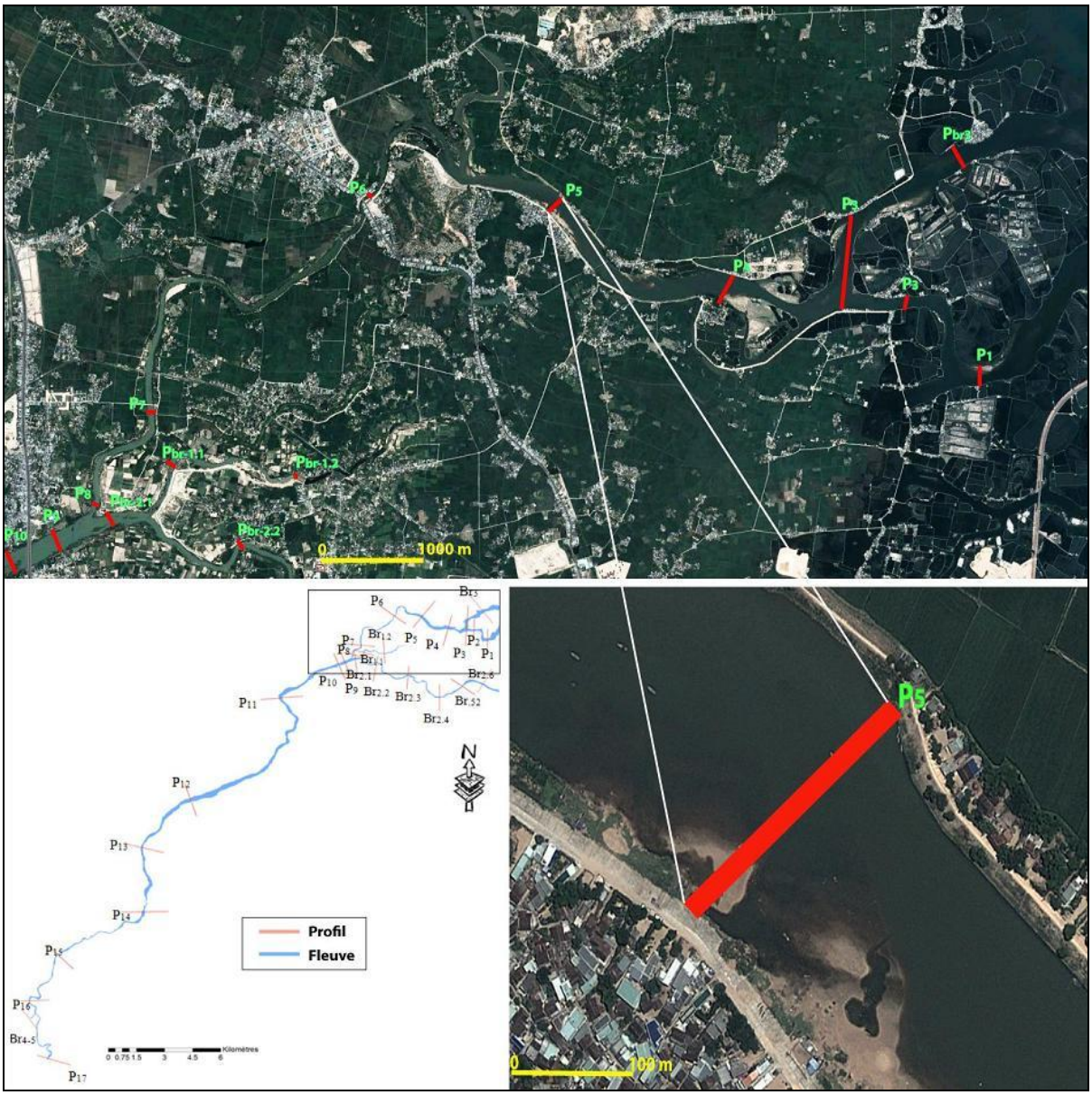


Figure 3.20. Localisation des profils en travers (Ngo, 2012)

- à chaque profil, nous marquons en rouge la ligne d'eau du moment. Le niveau de l'eau du fleuve varie de jour en jour et en fonction des saisons. Cette ligne d'eau est ensuite raccordée à une altitude grâce à une station totale. En 2012 et 2013, les niveaux d’eau sont suivis dans leur fluctuation (Fig. 3.21). Enfin, on calcule l'élévation moyenne du niveau de l'eau du fleuve Ha Thanh. À partir de là, nous pouvons calculer la profondeur à l'étalonnage de mesure (Fig. 3.22).

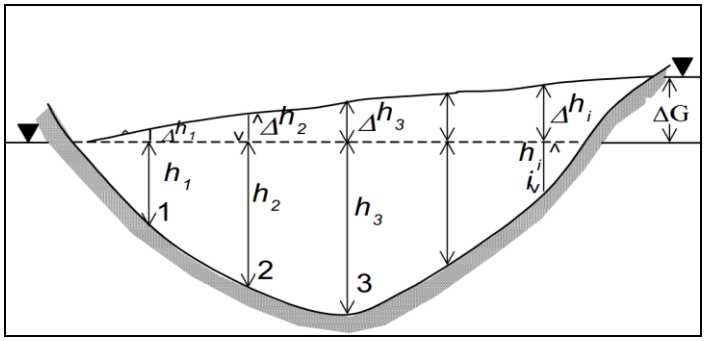


Figure 3.21. Étalonnage de mesure (Ngo, 2012 d'après Nguyen et Dang, 2003)

$$\Delta h_i = \frac{\Delta G}{\Delta t}(t_i - t_o)$$

h_i : numéro d'étalonnage de mesure - i

g : différence entre niveau d'eau au début et à la fin

t : le temps pour une mesure de profondeur de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite

t_i : le temps mesure la profondeur dans le $i^{ème}$ point

t_o : le temps mesure la profondeur au début.

Ainsi, l'étalonnage de mesure : $h_i = h'_i + \Delta h_i$, avec $h'_i = h_1, h_2, h_3$,... (Nguyen et Dang, 2003).

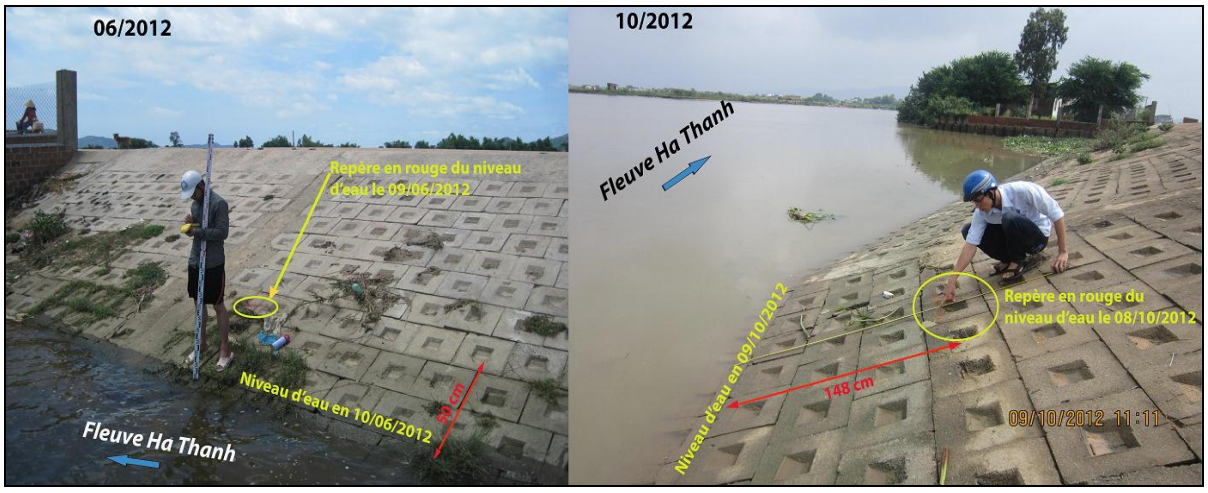


Figure 3.22. Différence de niveaux d'eau sur le fleuve Ha Thanh (Ngo, 2012)

+ 09/06/2012 : niveau d'eau d'environ 0 cm : Matin ;

+ 10/06/2012 : niveau d'eau +50 cm : Matin ;

+ 22/07/2012 : niveau d'eau +20 cm : Après midi ;

+ 20/08/2012 : niveau d'eau -30 cm : Après midi ;

+ 08/10/2012 : niveau d'eau +148 cm : Matin.

Les profils sont bien rééquilibrés. Puis, nous avons ajouté à ces profils des points mesurés par un théodolite sur les digues (hauteur et largeur) (Fig. 3.23 & 3.24).

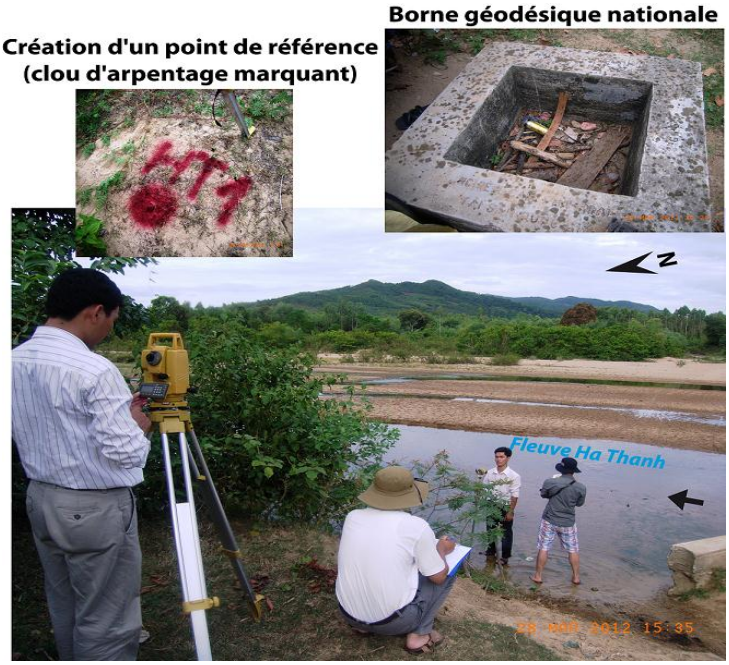


Figure 3.23. Mesure d'altitude par le théodolite (Photographie : Nguyen, H.X., 2012)

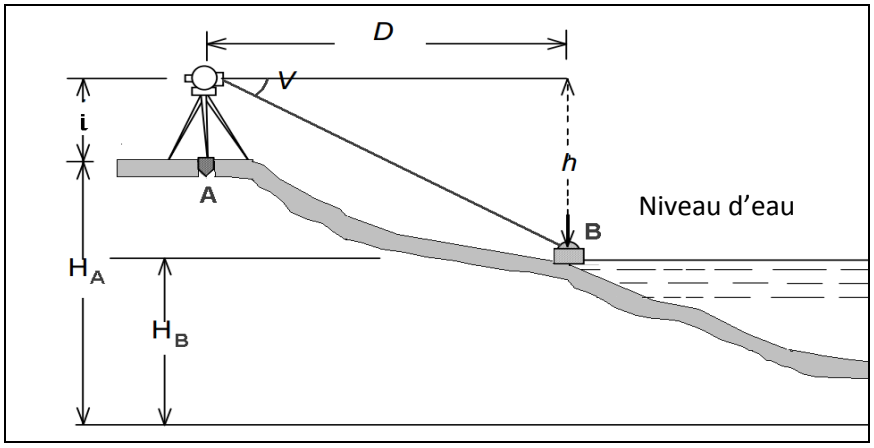


Figure 3.24. Méthodologie pour obtenir l'altitude de la digue (Ngo, 2012 d'après Nguyen et Dang, 2003)

$h = D.TagV$

$H_B = H_A + i - h$. (Tran, 2001)

Avec: ***h****-altitude de niveau d'eau;* ***D****-distance de niveau d'eau au théodolite;* ***V****- angle de vue;* ***i****-haut du théodilite;* ***A****-centre du théodolite;* $\boldsymbol{H_A}$*-Altitude de théodolite à l'eau de surface;* $\boldsymbol{H_B}$*-Altitude d'eau de surface à l'eau de surface.*

- Construction des profils en travers. Pour réaliser cette étape, nous recueillons les coordonnées du système de projection nationale du Viêt-Nam en *x, y, z* dans la province de Binh Dinh par le Centre d'information - Ressources et Environnement de Binh Dinh du Viêt Nam (Fig. 3.23). Puis, ces cooordonnées permettent d'intégrer les données de la station totale. Ces données sont ensuite exportées et exploitées sous un tableur (Fig. 3.25 ; voir l'Annexe 2 (C) et l'Annexe 2 (B)).

Grâce aux profils, nous pouvons caractériser la morphologie du lit fluvial et les différences topographiques du cadre des écoulements. Ces caractéristiques topographiques peuvent être associées aux distributions phytoécologiques du lit fluvial (relation entre topographie et cortège floristique).

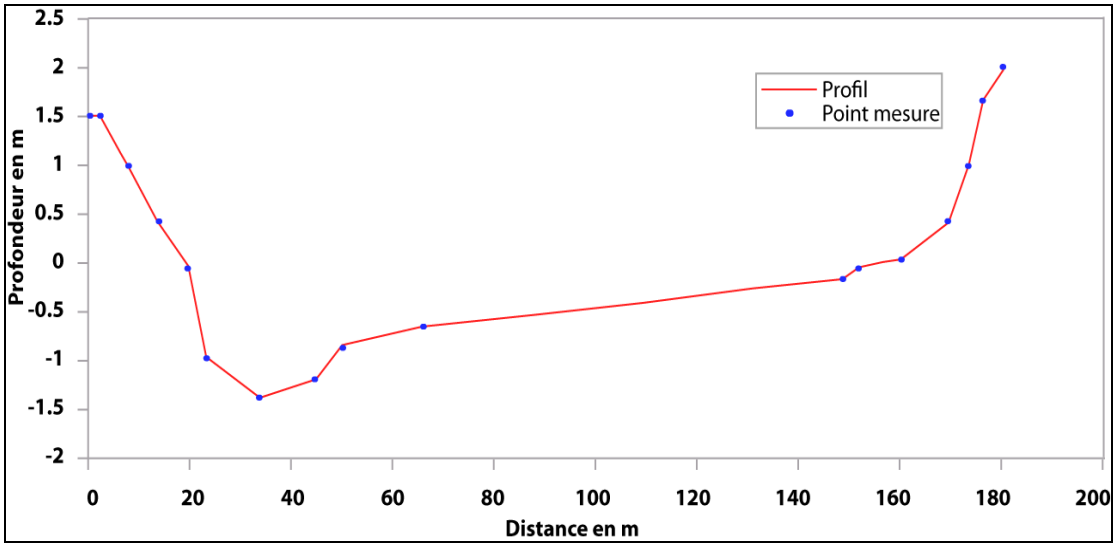


Figure 3.25. Profil en travers (P5) du fleuve Ha Thanh (Ngo et Grivel, 2012)

b). Caractérisation du risque d'inondation

Pour chaque profil, nous avons enquêté auprès des personnes qui habitent dans un rayon de 100 - 200 mètres autour du profil en rive gauche et en rive droite. Grâce à l'enquête, nous pouvons mieux connaître les niveaux atteints par les crues historiques et leurs conséquences.

L'étude du risque d'inondation consiste ainsi à dresser un inventaire des zones inondables et des enjeux territoriaux (humains et économiques) qui s'y superposent en vue de fournir des données nécessaires à l'élaboration ultérieure d'un plan de prévention (rôle des gestionnaires; transfert de nos résultats aux acteurs). Nombreuses sont les études de cartographie des zones d'aléa (Nguyen *et al.*, 1997; Nguyen et Joseph, 1998; Maurizot et Lafoy, 1999; IFEN, 2002 ; Luong, 2012). Pour notre étude, nous utilisons les données disponibles les plus appropriées : enjeux humains (zones habitées, densité de population, présence et importance des digues), zones inondables (détermination par la méthode hydromorphologique; Ballais *et al.*, 2011). La détermination de ces zones de risque repose sur une analyse multi-thématique (Nguyen et Joseph, 1998)-(Fig. 3.26).

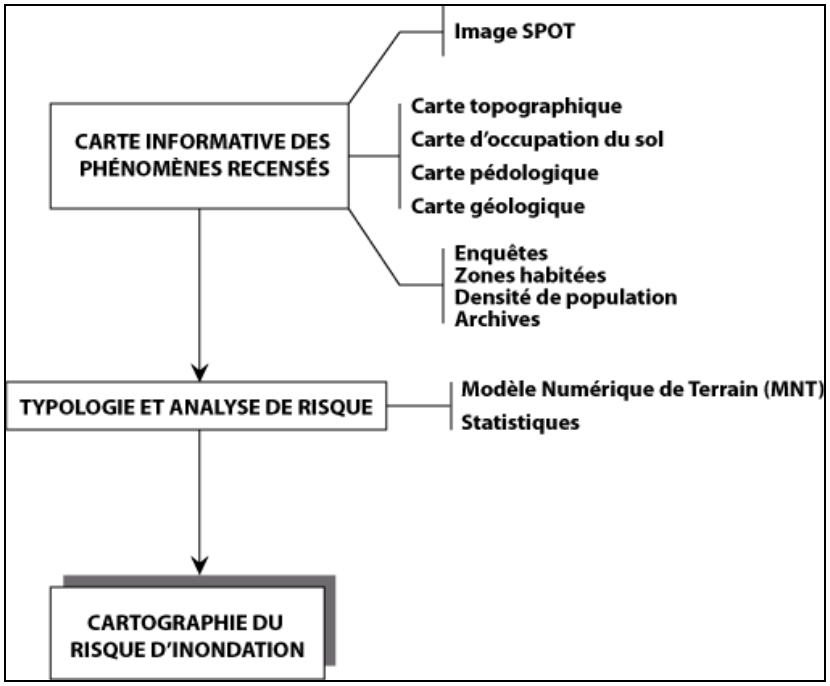


Figure 3.26. Schéma de principe de l'élaboration d'une cartographie du risque d'inondation (Ngo, 2013)

Pour mettre en œuvre la méthode d'élaboration d'une cartographie du risque d'inondation, que nous détaillons plus amplement dans le chapitre 8, nous utilisons les données suivantes :

- pour l'ensemble de la zone d'étude, un MNT territorial, à maille de 5 mètres, est développé à partir de la carte topographique de la province de Binh Dinh (Tab. 3.6);

- l'occupation du sol, permettant d'extraire les zones à enjeux dans le delta du fleuve Ha Thanh, est réalisée à partir d'une image SPOT 4 [(50)] (20 m de résolution);

- l'utilisation de des données géologiques et géomorphologiques du secteur étudié apportent des éléments pour la méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables (Ballais *et al.,* 2011);

- les observations de terrain, les archives (journaux nationaux et ceux de la province de Binh Dinh ; photographies (Fig. 3.27) et les enquêtes auprès des populations locales apportent des éléments d'information essentiels pour reconstituer l'ampleur des épisodes hydrologiques exceptionnels comme la crue de novembre 2009 (voir chapitre 6).

Les données acquises sont exploitées sous le projet SIG.

[50] Achetée dans le cadre d'un contrat de collaboration, en 2009, entre le département de Géographie-Cadastre de l'Université de Quy Nhon et le Centre de Télédétection du Viêt-Nam (Hanoï).

Figure 3.27. Exemples d'archives photographiques (Réalisation : Ngo, 2013)

c). Analyse spatiale par MNT

Les données des profils en travers sont utilisées pour créer un MNT selon une méthode d'interpolation. Il existe de nombreuses méthodes d'interpolation (Drouin, 2008). Nous pouvons citer les exemples suivants : le krigeage (Kriging), le spline, l'inverse de la distance (Inverse Distance Weighting - IDW), et la triangulation - Trianguated Irreguar Network (TIN) (Dhatt et Touzot, 1981; Zienkiewicz et Morgan, 1983; Secretan *et al.*, 2001; Chaplot *et al.*, 2006).

Nous choisissons la méthode d'interpolation spatiale, « Krigeage » ou « Kriging ». *« Le Krigeage est la méthode optimale, au sens statistique, d'interpolation et d'extrapolation. C'est la méthode d'estimation la plus précise. Contrairement à toutes les autres méthodes, elle permet aussi de calculer l'erreur d'estimation. »* (Gratton, 2000, p.2). Cette méthode est spécialement bien adaptée à des données topographiques et fournit des résultats corrects (Carlini, 2006). Cette méthode est souvent utilisée pour la création de MNT du lit des rivières (Marks et Bates, 2000; Kondolf et Piegay, 2003; Carlini, 2006; Drouin, 2008; Grivel, 2008; Gautier *et al.*, 2009).

- Création de MNT bathymétrique du fleuve Ha Thanh

Le MNT bathymétrique est créé à partir d'une série de levés bathymétriques extraits des profils en travers. La méthode dite du "Krigeage" interpole ces valeurs bathymétriques et permet d'obtenir une couche raster représentant le lit du fleuve. L'étude du semi-variogramme des points bathymétriques permet d'affiner la précision du MNT, exclure toute donnée "parasite" et intégrer des valeurs sur des tronçons du lit fluvial où la mesure n'a pas pu être effectuée (outil *Geostatistical Analyst*© d'*ArcGis*©) (Tutorial *ESRI France*©)-(Fig. 3.28).

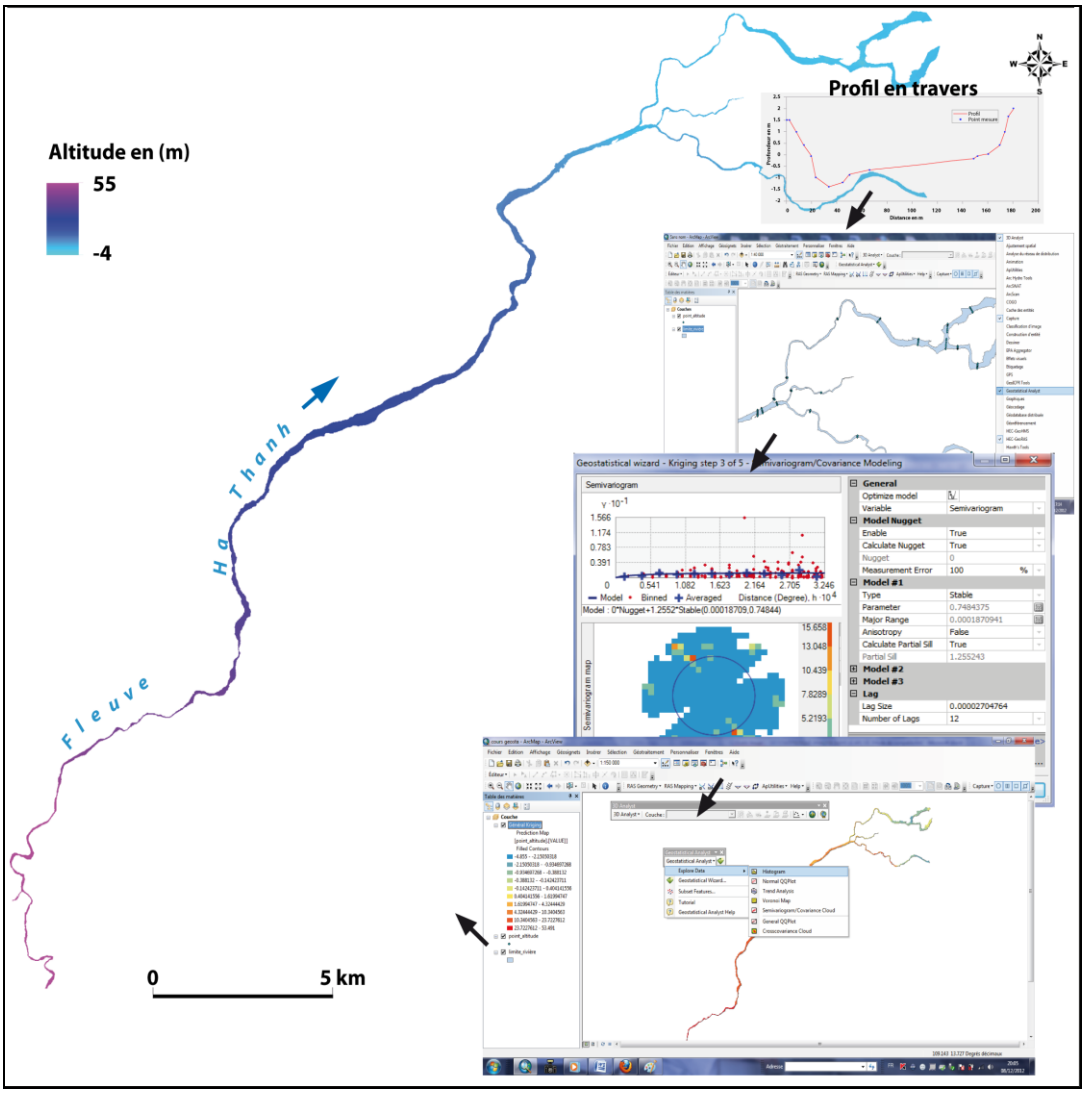
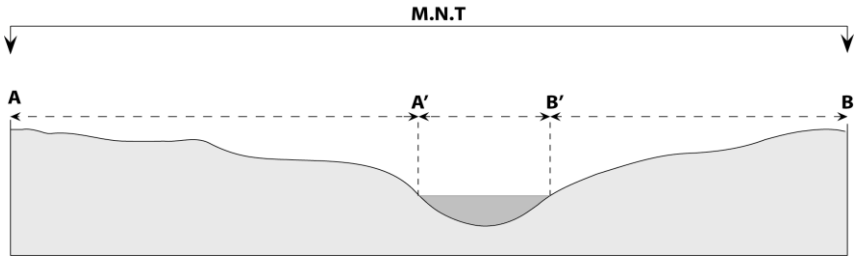


Figure 3.28. Création du MNT bathymétrique à partir des profils transversaux du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2012)

Plusieurs méthodes sont utilisées pour assembler les deux types de MNT (Ssecretan *et al.*, 2001; Grivel, 2008; Quentin, 2012)-(Fig. 3.29). Nous fusionnons le MNT bathymétrique avec les données topographiques de la carte topographique de la province de Binh Dinh à l'échelle 1/10 000, (courbes de niveaux et points altimétriques)-(Fig. 3.30).



AA' et **BB'** : MNT terrestre

A'B' : MNT bathymétrique

Figure 3.29. Caractérisation du MNT dans la plaine du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

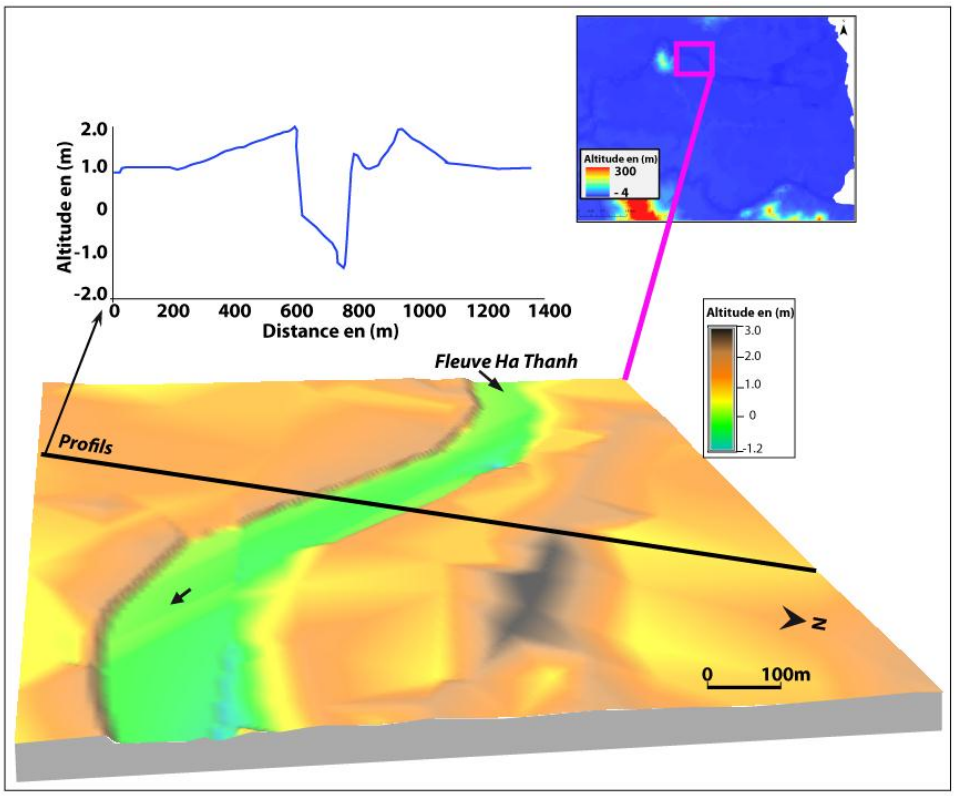


Figure 3.30. Exemple d'assemblage en raster 3D des MNT bathymétrique et terrestre (5 m de résolution) de la plaine du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

3.2.3. La modélisation urbaine

La modélisation, selon Brunet et al. (1993), est définie comme « l'art, ou la science, de produire des modèles au sens fort, et de hisser au rang de modèle des observations rassemblées, c'est-à-dire d'identifier les éléments majeurs et les relations les plus assurées, qui expriment ou bien la structure commune à des objets d'une même classe »-(p.306). Notre approche géomatique concerne un essai de modélisation des objets urbains exposés au risque d'inondation. Cette modélisation se fait à plusieurs échelles : celles du territoire, de la ville, du quartier et du bâtiment (Masson *et al.*, 2012). Il existe déjà plusieurs études appliquées à la modélisation urbaine, notamment : *« La modélisation urbaine au service de l'analyse*

économique des politiques climatiques » par Saujot et al. (2012) ou *« Modélisation urbaine et stratégies d'adaptation au changement climatique pour anticiper la demande et la production énergétique (MUSCADE) »*-(Valery *et al.*, 2009). La modélisation urbaine a déjà été utilisée pour des villes françaises exposées aux risques hydrologiques comme dans *« SIG-3D : Sensibilisation des élus de la commune de Rive-de-Gier aux risques d'inondation »*-(Diana, 2010) ou dans *« Présentation de documents d'urbanisme et de simulation paysagère en 3D. Application à la Région Urbaine Grenobloise »* (Saffour, 2007). Les objectifs de ces études sont de mieux gouverner, gérer concevoir et ainsi que caractériser la ville face aux changements climatiques.

La modélisation urbaine dans cette recherche est nécessaire dans le contexte du risque d'inondation. Un modèle 3D pourrait aider à mieux visualiser les conséquences des inondations en estimant les hauteurs d'eau dans les logements (Pouliot *et al.*, 2003); Lachance, 2005; Koehl et Darwish, 2007). Ces objets peuvent être des points (0D), des lignes (1D), des polygones (2D) ou des volumes (3D) qui possèdent une coordonnée en *z* en plus des coordonnées *x* et *y* (Valérie, 2008) (Fig. 3.31).

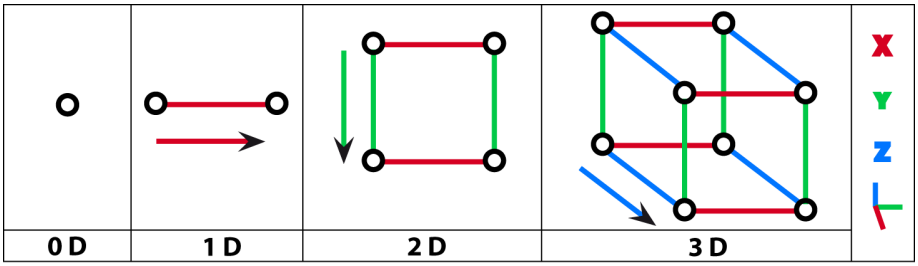


Figure 3.31. Caractérisation des constructions du 1D à la 3D (adapé d'Alspach *et al.*, 1990)

*** Du 1D à la 3D**

- La construction des dimensions :

Une-dimension (1D) : elle est reliée par deux points pouvant être connectés par un segment ou un axe *x-y*;

Deux-dimensions (2D) : elle est associée à la 1D. Cette dimention est composée de deux segments parallèles qui sont connectés pour former un carré, avec les coins marqués et aux dimensions mesurables lorsqu'il est placé sur un axe *x-y*;

Trois-dimensions (3D) : deux carrés parallèles sont connectés pour former un cube, avec les coins marqués. Les dimensions sont mesurables suivant un axe *x-y* et un axe *z* (Alspach *et al.*, 1990). (Fig. 3.31).

- Modélisation tridimensionnelle - 3D avec un MNT

La modélisation urbaine s'envisage sous l'angle de la représentation 3D et de la combinaison de Modèles Numériques de Terrain (MNT) et de Modèles Numériques d'Elévation (MNE). Il convient donc de définir certains termes utilisés dans la modélisation de la zone-test, située dans un quartier de Quy Nhon. Pour les MNT et MNE, le *z* est intégré dans la composante géométrique et non comme élément attributaire (Fig. 3.32).

- MNT : « il couple les données topographiques du site (l'information) au maillage (le support numérique) » (Richard, 2009, p.18) et permet de représenter le relief. Un MNT « se présente souvent à la vue sous la forme d'une grille à trois dimensions, éventuellement colorée selon les franches d'altitude »-(Brunet *et al.*, 1993, p.306).

- MNE : il prend en compte le relief et la représentation numérique des éléments du sol comme la végétation et les structures artificielles (Source : http://www.astrium-geo.com, consulté le 30 mai 2013).

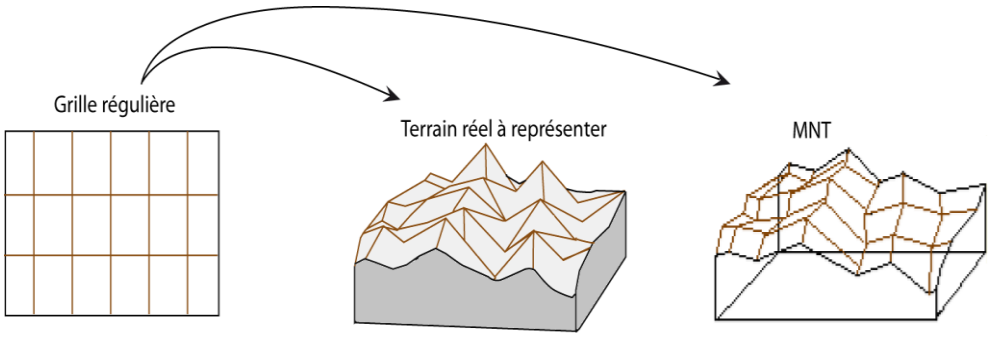


Figure 3.32. Exemple de représentation géométrique plane en 2D et 2D½ (Ngo, 2013)

Le 3D (ou 2D ¾) permet de représenter les volumes des objets géographiques (Fig. 3.33). Par exemple, deux *z* peuvent être affectés au même point et permettent de représenter des bâtiments en volume. Mais il n'est pas possible de créer des ouvertures ou des pièces à l'intérieur (Isabelle, 2010), ce qui n'est pas une contrainte pour notre modélisation et nous ne souhaitons pas atteindre ce niveau de résolution.

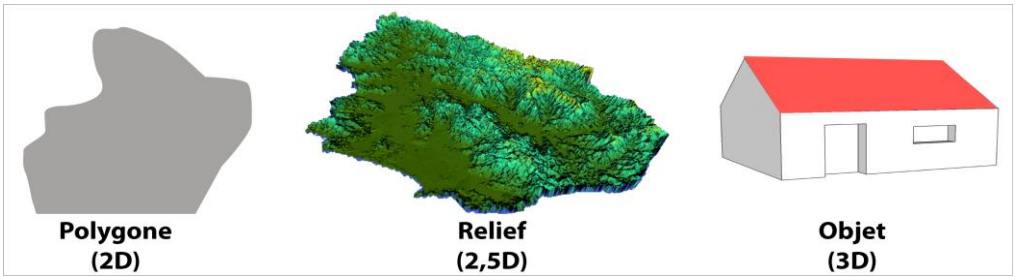


Figure 3.33. Représentations géométriques plane, 2,5D ou 3D (Ngo, 2013)

- Les données disponibles pour la modélisation urbaine

Pour développer notre essai de modélisation urbaine, nous disposons d'un certain nombre de données géographiques :

+ Les zones en eau : nous trouvons des polylignes (linéaires) et polygones. La polyligne principale détermine le fleuve Ha Thanh et les polygones représentent les lacs, les étangs dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh et la lagune de Thi Nai.

+ L'occupation du sol : elle contient les surfaces artificielles (zones bâties…), naturelles et agricoles.

+ Le MNT : nous générons le MNT à partir des courbes de niveaux et des points altimétriques de la carte de Quy Nhon à l'échelle 1/10 000.

+ Les bâtiments : nous numérisons cette couche à partir de l'image satellitale de *Google Earth*© en 2011. Nous digitalisons ensuite l'emprise au sol des bâtiments (2D). Durant les étés 2011 et 2012, des vérifications de terrain et des enquêtes auprès de la population de Quy Nhon apportent des éléments de validation (nombre de niveaux, fonctions…). Ces données sont détaillées dans le chapitre 8. Les données du recensement démographique apportent des informations de caractérisation de chaque polygone représentant un élément du bâti (nombre d'habitants, conditions sociales…).

+ Réseaux routiers : les routes sont composées de différents objets (chaussée, chemin, trottoir, espace de stationnement...).

+ Végétation : les arbres sont levés sur le terrain par la technique GPS et à partir des images satellitaires de Google maps en 2011.

+ Fond d'image satellitale : les images QuickBird de *Google Earth*© (2011) sont utilisées à une résolution de 10 m.

Toutes ces données sont structurées avec des attributs dans le projet SIG (Tab. 3.7 & Fig. 3.34).

Tableau 3.7. Caractérisation des données sous le SIG 3D (Ngo, 2012)

Objets	**Types d'architecture**	**Attributs**
Objets volumiques	Bâtiment	Objet 3D Multipatch *ESRI*©
	Pont/Passerelle	
Objets ponctuels	Arbre	Shape 3D Point
	Lampadaire/Antenne…	
Objets surfaciques	Route	Shape 3D polygone/polyline
	Parc, espace en vie, lac…	Shape 3D polygone
	Rivière	Shape 3D polygone/polyline

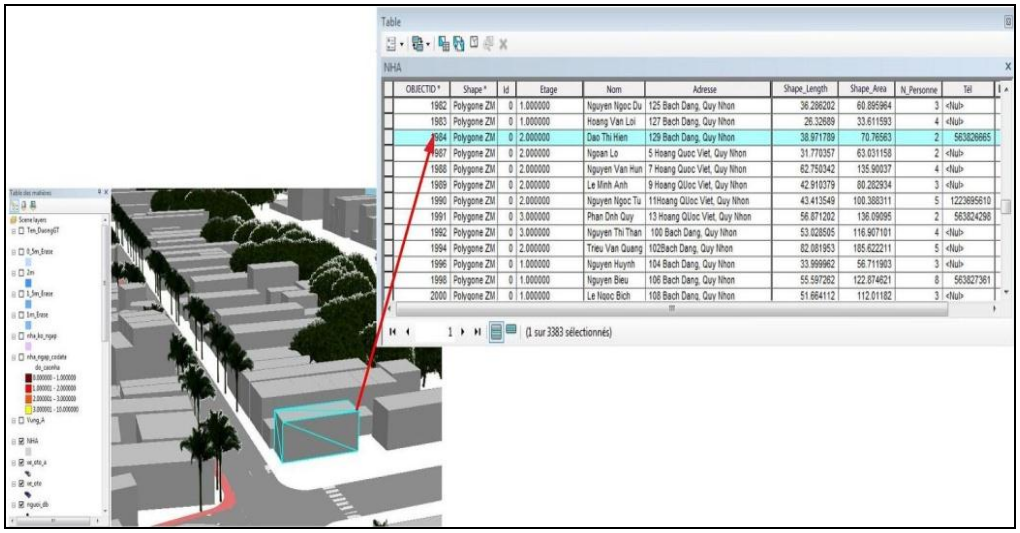


Figure 3.34. Structure de la base de données des bâtiments (Ngo, 2013)

Les champs attributaires de la couche "bâtiment" sont les suivants :

- **Etage** : nombre d'étages : (0 (rez-de chaussée), 1, 2, 3…) ;
- **Nom** : noms des habitants;
- **Adresse** : lieu (numéro de rue, nom de rue, nom de quartier, nom de ville) ;
- **Shape_Area** : surface en mètre carré (m^2) ;
- **N_personne** : nombre de personnes dans le bâtiment ;
- **Tél** : numéro de téléphone de la personne du bâtiment.

Les attributs décrivant les bâtiments permettent de mettre en œuvre une analyse spatiale précise de la modélisation urbaine en 3D.

*** Intégration de l'espace urbain**

Plusieurs méthodes existent pour l'intégration de l'espace urbain dans un projet SIG (Billen, 2000; Vermeij et Zlatanova, 2001; Darwish, 2006; Billen *et al.*, 2008). Une des solutions est offerte par exemple avec une extension d'*ArcGis*© pour modéliser l'espace urbain en 3D (*ArcScene*©). Les bâtiments sont représentés simplement sans détails. Le logiciel *Google Sketchup*© offre des potentialités adéquates pour réaliser la modélisation des objets (Jallet et Parein, 2010). Il peut créer des modèles de bâti et d'arbres avec des textures réalistes. En outre, *Google Sketchup*© [51] peut importer ou exporter des données vers des produits SIG (Fig. 3.35).

[51] http://www.sketchup.com/intl/fr/product/gsu.html

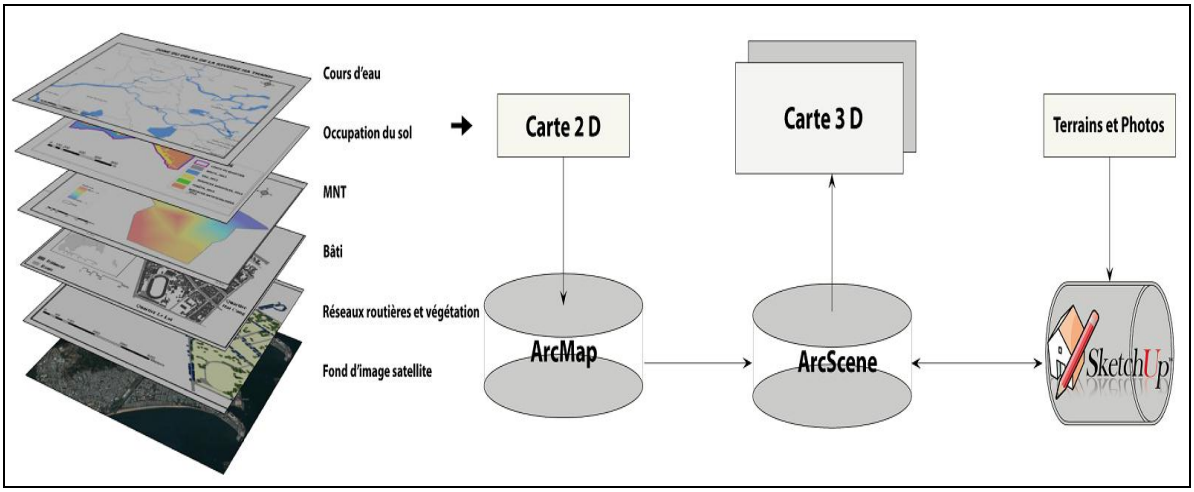


Figure 3.35. Schéma des étapes de la cartographie 3D – SIG (Ngo, 2012)

Nous intégrons les couches vectorisées en 2D (MNT, bâtiments, arbres, routes, images satellitales…) pour la modélisation urbaine en 3D (Fig. 3.36) en extrudant les objets (les bâtiments sont ensuite drapés de textures et de toits (Fig. 3.37).

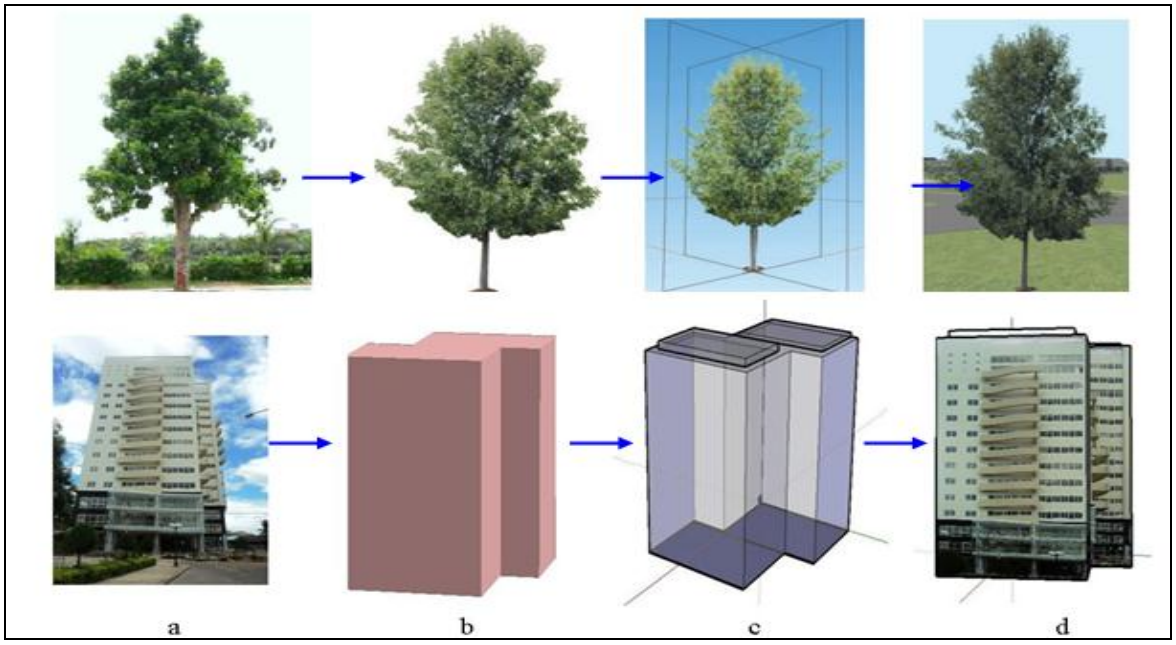


Figure 3.36. Caractérisation du bâtit et des arbres en 3D (Ngo, 2012 d'après Smith et Friedman, 2004)

a/ Photographies sur le terrain ;

b / Bâtiment et Arbre en 3D dans ArcScene©;

c/ Export vers Google Sketchup©;

d / Champ type combiné photo modèle 3D dans SketchuUp©.

Figure 3.37. Exemple de modélisation urbaine de l'espace de la ville de Quy Nhon (Ngo, 2013)

i) Modélisation 3D à l'échelle d'un quartier de Quy Nhon (Tran Hung Dao)

ii) Résolution fine de la modélisation 3D au sein d'un quartier de Quy Nhon (Nguyen Van Cu)

- **Optimisation du modèle 3D dans le contexte du risque d'inondation**

La finalité principale de cet essai de modélisation urbaine à l'échelle d'un quartier de Quy Nhon est d'optimiser la représentation spatiale du risque d'inondation touchant un tel espace urbain vietnamien. En élaborant ce modèle 3D, nous nous sommes concentrés sur la mise en relation de la topographie et des bâtiments dans la zone inondable. Nous pouvons établir ainsi une classification de la vulnérabilité des quartiers, pour le premier niveau d'échelle, et affiner à l'échelle d'un bâtiment. Il s'agit de déterminer à la fois la vulnérabilité des différents types de bâtiments en présence et la vulnérabilité sociale des populations occupant ces mêmes bâtiments. D'une caractérisation physique des bâtiments, nous passons ainsi à une qualification sociale des infrastructures. Nous proposons trois modes de représentation graphique des bâtiments en 3D (Fig. 3.38).

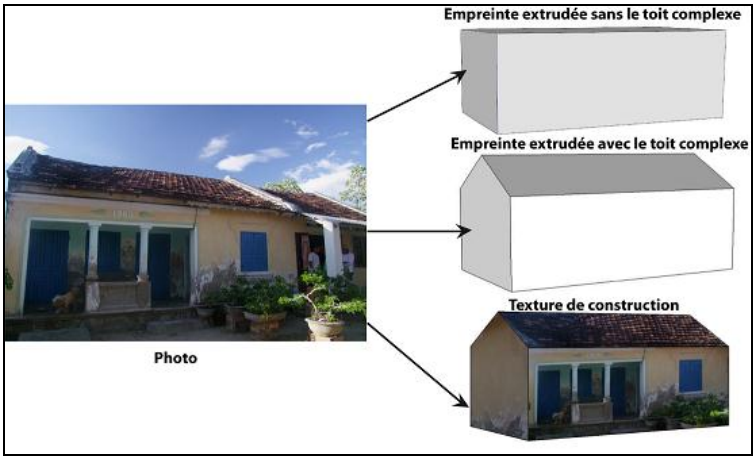


Figure 3.38. Caractérisation des trois méthodes pour modéliser un bâtiment (Ngo, 2013)

La première possibilité présente un objet "bâtiment" extrudé sans toit. La deuxième propose ce même objet "bâtiment" avec un toit. La dernière possibilité consiste à habiller les polyèdres de manière réaliste à partir de photographies de terrain. Ces trois méthodes présentent des avantages et des inconvénients dans le temps de traitement, le niveau de réalisme de la reconstitution 3D des bâtiments et les possibilités de combiner ces résultats avec la modélisation de la vulnérabilité aux risques d'inondation (Tab. 3.8).

Tableau 3.8. Comparaison des standards de modélisation 3D

Mode de représentation des polyèdres "bâtiments"	**Avantages**	**Inconvénients**	**Temps de traitement**
Avec toit	++	-	++
Sans toit	+	- -	+++
Texture	+++	-	- -

Très bien (+++), bien (++), moyenne (+), mauvais (-), très mauvais (--) (Ngo, 2012)

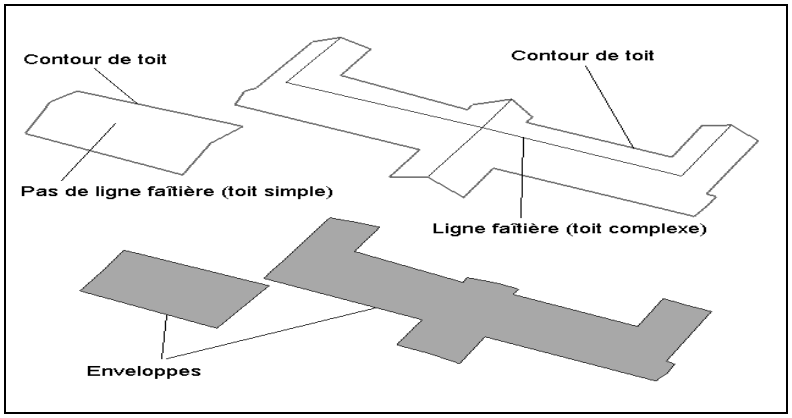


Figure 3.39. Reconstitutions des toits : une ligne de contour, une ligne de faîtage et une enveloppe (Source : Koehl et Darwish, 2007)

- L’empreinte extrudée sans toit (Fig. 3.38 & 3.39) : des bâtiments représentent des blocs avec des toits plats. L’avantage de cette méthode réside dans un traitement rapide et aisé. Cependant, ce modèle est simpliste avec des données 3D.

- L’empreinte extrudée avec le toit (Fig. 3.38 & 3.39) : l’avantage de cette méthode est que le traitement est rapide et facile. Les bâtiments en 3D ont un rendu de bonne qualité.

- Le bâtiment avec une texture réaliste (Fig. 3.38) : le modèle du toit (paramétrique) et la texture (photoréalisme) sont ajoutés au bâtiment. Le modèle restitue une très bonne représentation de la réalité. Cependant, le traitement est très long car il faut prendre des photographies des quatre côtés de chaque bâtiment et utilise des images satellitales de *Google Earth*© pour reconstruire le toit du bâtiment.

De ces méthodes, nous choisissons les deux premières méthodes (bâtiment avec toit ou sans toit) pour la modélisation urbaine dans la zone inondable. La plaine d’inondation du fleuve Ha Thanh contient plusieurs bâtiments de structure avec toit ou sans toit. C’est la différence entre les bâtiments au toit plat (plus pratique pour se réfugier et y vivre plusieurs jours pendant la crue et la décrue) et les bâtiments au toit pentu (pouvant aussi servir de refuge si l'accès est facile mais plus contraignant pour y vivre plusieurs jours pendant la crue et la décrue)-(Fig. 3.40).

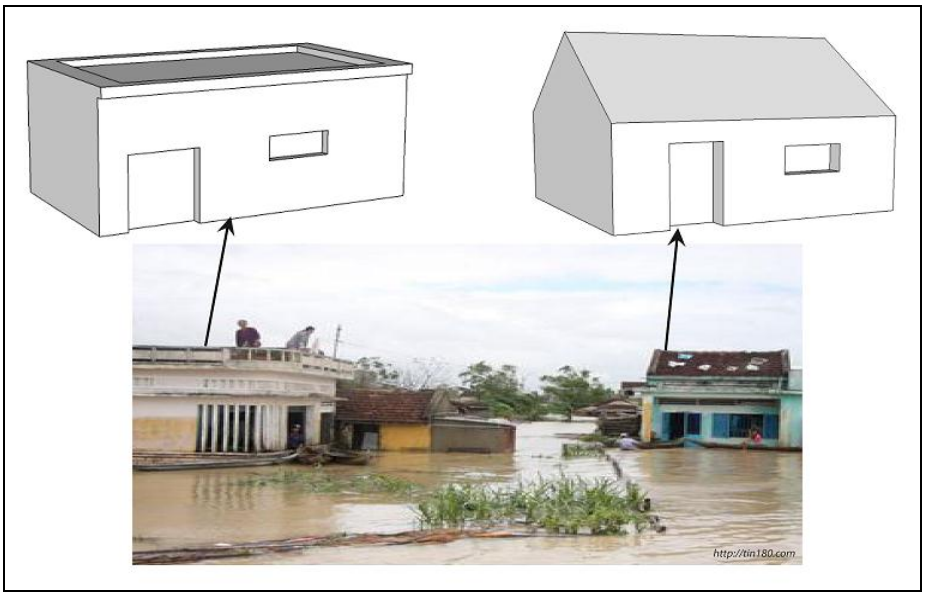


Figure 3.40. Différence de constructions dans la plaine inondable du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

Nous réalisons des différences entre les bâtiments de plain pied (rez de chaussée uniquement) et les bâtiments à étage dans les zones inondables (Fig. 3.41).

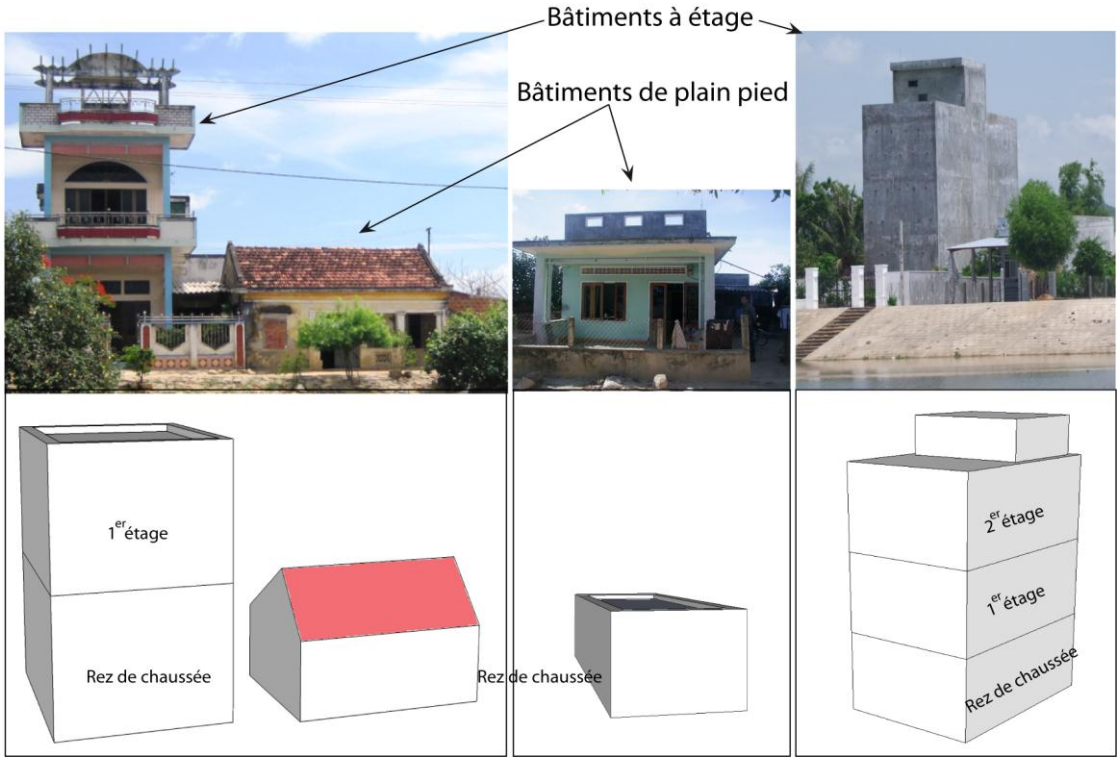


Figure 3.41. Différents types de bâtiments dans la zone inondable (Ngo, 2013)

3.2.4. Protocole des enquêtes sur la vulnérabilité sociale

a). Typologie de la vulnérabilité du site urbain (bâtiments, répartition…)

Nous utilisons différents types d'informations complémentaires pour établir des critères de vulnérabilité. Ces différents types d'informations sont issus de relevés et d'observations de terrain, d'identifications aériennes (Fig. 3.42). Les relevés terrain permettent de qualifier avec précision les bâtiments et les ouvrages (hauteur, nombre d'étages, types de structures et matériaux…). L'identification aérienne détermine les types et les dimensions des bâtiments.

Nous pouvons identifier et classer par différents niveaux les bâtiments dans les zones inondables exposées et ainsi appliquer une modélisation de la ville de Quy Nhon en 3D (Fig. 3.42). Cela dépend de la structure des bâtiments. Par exemple, des bâtiments des bureaux gouvernementaux et d'enseignement ont généralement une hauteur minimale de un étage, avec des matériaux de type béton renforcé et des façades en bon état. En revanche, des habitations légères sont vulnérables aux typhons (vent) et aux inondations. Car, ces habitations légères sont toujours au rez-de chaussée, constituées de matériaux relativement fragiles, parfois sur pilotis.

Usage bâtiment	Vue photographie aérienne	Caractéristique de la photographie aérienne	Vue terrain	Caractérisation du bâtiment
Bureau de gouvernement		Géométrie en plan simple et complexe, toiture diverses ou plate, grande dimension		Hauteur: 1 à plus de 2 étages Type de matériaux: solide (béton renforcé) Type: bâti individuel maçonnerie de brique, façade en bon état
Lieu de culte		Géométrie en plan simple, terrasse ou toiture diverses, moyenne à grande dimension		Hauteur: rez-de-chaussée à 1 étage Type de matériaux: solide (béton renforcé) Type: bâti individuel, façade en bon état, maçonnerie de bique
Stade		Géométrie en plan simple (rectangle ou carrée, terrasse ou toiture diverses, grande dimension		Hauteur: 1 à plus de 2 étages Type de matériaux: bâti individuel, façade en bon état, maçonnerie de bique, sans toiture sauf sur la tribune Type: solide (béton renforcé)
Hôtel		Géométrie en plan simple et complexe, terrasse ou toiture diverses ou plate, grande dimension avec la piscine		Hauteur : 0 à plus de 10 étages Type de matériaux: solide (béton renforcé) Type: bâti collectif, façade en bon état
Hôpital		Géométrie en plan simple et complexe, terrasse ou toiture diverses, grande dimension		Hauteur : 0 à plus de 3 étages Type de matériaux: solide (béton renforcé) Type:bâti collectif, façade en bon état
Bâti commercial		Géométrie en plan simple (rectangle ou carrée, terrasse ou toiture diverses, grande dimension		Hauteur : 0 à plus de 7 étages Type de matériaux: solide (béton renforcé) Type: Bâti collectif, façade en bon état
Habitation légère		Géométrie en plan simple (rectangle ou carrée), toiture rouillée, petite dimension		Hauteur : rez-de-chaussée légère (matériaux relativement fragiles) Type: bâti individuel ou continue, remplissage de bois ou de briques, parfois sur pilotis
Habitation solide		Géométrie en plan simple (rectangle ou carrée), toiture plane rouillée et plus souvent de couleur uniforme grise, blanc ou rouge, dimension moyenne		Hauteur : rez-de-chaussée à 2 étages Type de matériaux: solide (béton renforcé) Type: bâti individuel ou continue, façade en bon état, maçonnerie de bique
Enseignement		Géométrie en plan simple (rectangle ou carrée), grande dimension et parfois avec le terrain au milieu		Hauteur : 0 à 3 étages Type de matériaux: solide (béton renforcé) Collection: bâti collectif, maçonnerie de bique

Figure 3.42. Identification des bâtiments de la ville de Quy Nhon (adapté de Pouget et Mayaguezz, 2009)

b). Enquêtes le long du fleuve Ha Thanh

L'objectif ici est l'analyse des perceptions des risques hydrologiques et des niveaux d'adaptabilité des habitants dans le delta du fleuve Ha Thanh. Nous élaborons une méthodologie pour réaliser l'enquête dans le delta (Fig. 3.43).

Plusieurs objectifs sont déterminés dans cette enquête :

- élaboration d'un protocole d'enquête;

- utilisation de l'image satellitale et de la cartographie simplifiée du delta. Ces sources permettent d'élaborer une cartographie participative auprès des habitants (entretien de groupe) concernant leur perception du risque dans le nouveau quartier à la sortie du delta le long de la route menant au pont de Thi Nai;

- typologie des maisons des personnes interviewées et position par rapport à la rivière ; recensement des niveaux de crue dans les maisons;

- le choix du logiciel de traitement : le logiciel Sphinx permet d'exploiter les réponses au questionnaire.

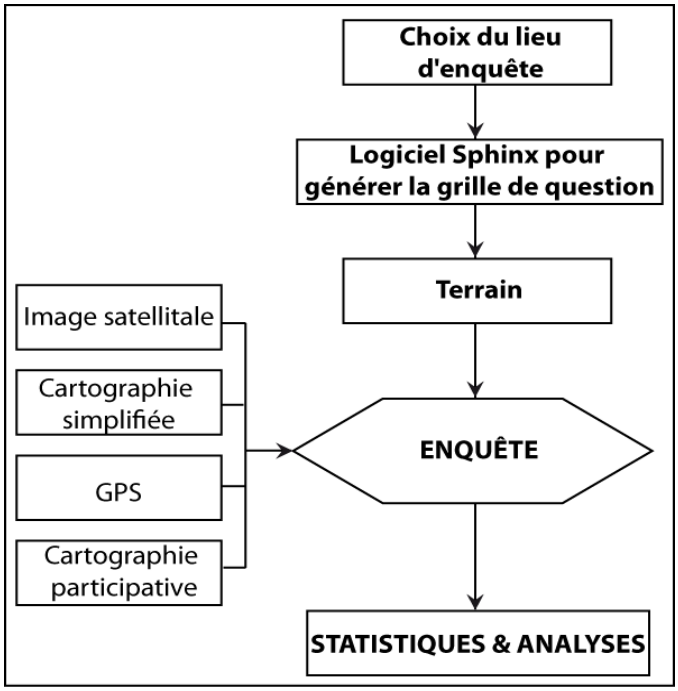


Figure 3.43. Démarche méthodologique pour les enquêtes auprès des populations du delta (Ngo, 2012)

Nous proposons de répartir les questionnaires au droit des profils réalisés le long du fleuve Ha Thanh dans le delta. Entre huit et douze questionnaires sont réalisés pour chaque transect. Nous proposons de remplir le questionnaire avec la personne interrogée afin de dresser une typologie des zones enquêtées en fonction de l'endiguement et de la morphologie de la rivière. Le questionnaire comporte six parties:

Section 1 : les connaissances des risques;

Section 2 : les mémoires d'événements hydrologiques;

Section 3 : la représentation du typhon Mirinae (11/2009) dans la province de Binh Dinh;

Section 4 : la gestion et l'adaptation du risque d'inondation pour la mise en place de mesures de prévention, de protection avant et après les crues;

Section 5 : les aménagements du delta et la cartographie participative;

Section 6 : les représentations des habitants vis à vis du risque d'inondation et les renseignements personnels.

L'ensemble des données et des résultats est présenté dans le chapitre 6.

c). Cartographie participative

« La cartographie participative est devenue une méthode permettant d'incorporer le langage parlé dans une carte, dans le but, encore une fois, de donner corps aux voix de ceux qui sont en bas de l'échelle sociale, sur un support tangible et visible, facilitant le dialogue et les négociations »-(Chapin *et al.*, 2005, p.625).

La participation des personnes locales permet de collecter des données perdues et des points de vue sur l'évaluation de l'impact des inondations (Leduc et Raymond, 2000). Avec l'objectif du risque d'inondation, nous nous inspirons d'une méthode d'enquête sur l'évaluation rurale participative (Participatory Rural Appraisal (PRA), laquelle est une approche utilisée par des organisations non gouvernementales (ONG) et d'autres organismes impliqués dans le développement international (Chambers, 2006; Webber et Ison, 1995). La PRA s'appuie fondamentalement sur la cartographie participative (Luong, 2012) et elle permet surmonter les obstacles de communication entre les chercheurs extérieurs et les personnes locales (Davis, 2001; Dubois *et al.*, 2008).

Il existe aujourd'hui de nombreuses études de recherche en cartographie participative dans de nombreux domaines et particulièrement pour la problématique du risque d'inondation (Chambers, 2006; Davila et Domiguez, 2010; Baribeau et Germain, 2010 ; Luong, 2012).

- Niveau de cartographie participative

La cartographie participative peut être fait à n'importe quelle échelle : au niveau des familles, des quartiers, des villes. La cartographie peut se concentrer sur des problèmes variés : logement, droits d'utilisation des terres, histoire, ressources naturelles, culture et communauté... (Décleve *et al.*, 2002; FIDA, 2010). Le niveau de cartographie participative peut se diviser en cinq niveaux suivants (Feyerabend *et al.*, 2000; FIDA, 2009) :

Echelon régional : la cartographie permet de recueillir des informations sur la géographie, les ressources naturelles, la distribution de la population dans une zone d'étude.

Echelon urbain : la cartographie permet de recueillir des informations sur l'emplacement des connexions résidentielles communautaires, à d'autres formes de transport.

Echelon communautaire : la cartographie permet de recueillir des informations sur les infrastructures, les projets d'aménagement dans un quartier un village ou un hameau. Elle peut permettre des améliorations et de possibilités pour des idées communes.

Echelon social : la cartographie permet de mieux connaître les habitants, leur culture, et leur niveau de vie.

- Cartographie participative dans le nouveau quartier de la ville de Quy Nhon :

Pour réaliser la cartographie participative dans le nouveau quartier de la ville de Quy Nhon, nous choisissons l'**échelon communautaire** et une maison dans ce quartier, puis nous invitons 15 personnes pour répondre au questionnaire. La perception du territoire varie au sein de la communauté (Photographie 3.1). Nous sommes attentifs aux plus âgés, les patriarches, occupant une place centrale dans la famille vietnamienne. Ils connaissent bien le territoire à partir duquel ils ont créé une cartographie participative (voir chapitres 5 et 6).

Photographie 3.1. Réunions communautaires et séance de cartographie participative dans le cadre du projet de la nouvelle zone urbaine 'An Phu Thinh', de Quy Nhon (Photographie : Nam, 2012)

3.3. Méthodes employées pour la recherche des facteurs hydroclimatiques

3.3.1. Analyse des données hydrologiques du bassin du fleuve Ha Thanh

Le fleuve Ha Thanh est très important dans la province de Binh Dinh. Cependant c'est un hydrosystème fluvial mal connu et peu étudié. En réalité, on dispose d'un réseau de mesures hydrologiques insuffisant pour la surface du bassin versant étudié. Il n'y a qu'une station pluviométrique (Quy Nhon) et une seule station hydrologique (Dieu Tri, à l'aval du fleuve Ha Thanh). Et à l'amont il n'existe qu'une seule station hydrométéorologique (Van Canh) (Fig. 3.44).

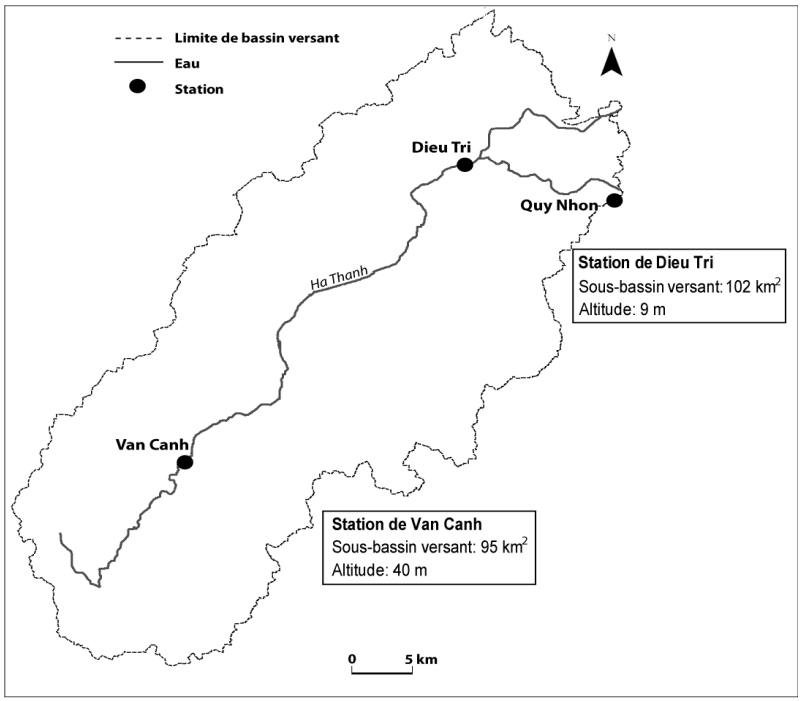


Figure 3.44. Stations dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Source : Centre Hydrométéogologique de la province de Binh Dinh. Réalisation : Ngo, 2012)

De plus, ces stations ne peuvent pas calculer les débits. En l'absence de ces données et de courbes de tarage, il est donc difficile de connaître précisément les débits mensuels des années, les débits antérieurs, pendants et postérieurs à l'inondation. Ces stations rendent uniquement disponibles les données de précipitations et des lignes d'eau. Grâce à la collaboration avec le Centre des Prévisions Météorologie - Hydrologie de la province de Binh Dinh, nous avons pu par exemple récupérer les données par heure (précipitations et niveaux d'eau) de la crue de novembre 2009 (2 et 3 novembre 2009) aux stations de Dieu Tri, Quy Nhon et Van Canh.

3.3.2. Modélisation hydrologique

La modélisation hydrologique vise à reproduire le comportement hydrologique d'un bassin versant (Beckers et Degré, 2011). Elle « fournit des informations exploitables pour le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques, la protection contre les crues ou pour la gestion hydrologique » (Hoffer, 2005, p.10) d'un bassin versant (Raouf, 2006). La phase d'acquisition et de traitement est présentée dans la fig. 3.45.

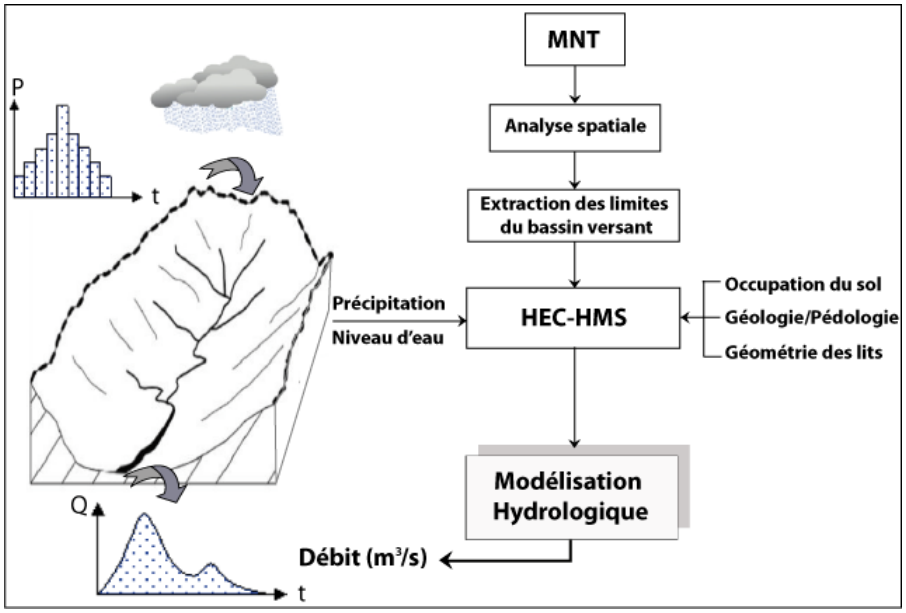


Figure 3.45. Schéma général de la modélisation hydrologique (Ngo, 2012)

Nous pouvons partager ce schéma en deux grandes étapes :

- la première étape consiste en l'utilisation du MNT pour une détermination de la limite du bassin versant et des sous-bassins sous le SIG ;

- la deuxième étape est la modélisation hydrologique sous un logiciel modèle Pluie-débit (chapitre 7) (Fig. 3.46).

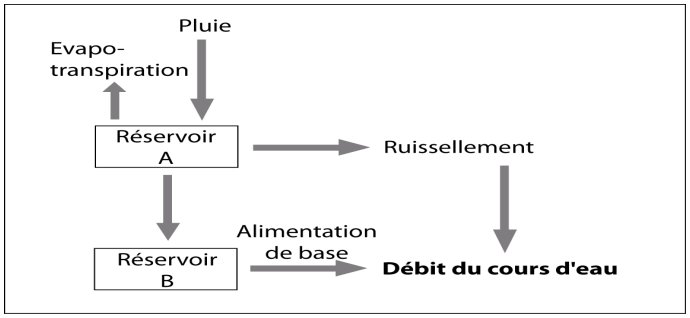


Figure 3.46. Modèle conceptuel de la relation Pluie-débit (Cosandey *et al.,* 2004, p.113)

La pluie alimente à la fois un ruissellement direct pour un débit du cours d'eau, c'est-à-dire l'eau circulant exclusivement à la surface du sol. « Un réservoir A alimente dans lequel puise l'évapotranspiration et un réservoir B. L'écoulement provient de la somme du ruissellement et de la vidange du réservoir B. La taille des réservoirs, leurs lois de vidange, la part du ruissellement direct sont le plus souvent des paramètres calculés par optimisation » (Cosandey *et al.,* 2004, p.113).

En outre, la modélisation de « transformation pluie-débit nécessite l'utilisation de deux modèles : un modèle de production pour la pluie nette et un modèle par transfert caractérisant notamment les pertes d'eau par infiltration » (Chane Poi Sane *et al.,* 2011) (fonction de transfert et débit de base). Enfin, un élément très important concerne le calage du modèle pour obtenir une bonne définition de l'hydrogramme de crue (chapitre 7). De plus, l'utilisation du modèle peut permettre d'estimer les débits à partir des données pluviométriques et d'évaluer les conséquences des interventions humaines dans le bassin versant comme les changements d'usage des sols, la croissance de l'urbanisation (Cosandey *et al.,* 2004). Cependant, conscients du peu de temps consacré, durant la thèse, à cette étape, nous émettrons une certaine réserve quant à la précision des résultats issus de cet essai de modélisation hydrologique.

* * * *

Le cadre méthodologique a été présenté. Ces méthodes sont appliquées dans les chapitres 4, 5, 6, 7 et 8 suivants pour répondre aux différents objectifs de l'évaluation environnementale et géomatique pour l'étude du risque d'inondation dans la plaine du fleuve Ha Thanh.

DEUXIEME PARTIE

LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET HUMAINES

Chapitre 4 – Caractérisation physique du lit fluvial

4.1. Les conditions d'écoulement dans le bassin versant

4.2. Aménagements et contraintes du lit fluvial

Chapitre 5 – Développement de la ville de Quy Nhon

5.1. Rythmes d'évolution de la ville

5.2. Planification et projets de développement

Chapitre 4 – Caractérisation physique du lit fluvial

Ce chapitre apporte les éléments de caractérisation physique du lit fluvial pour traiter la morphologie du fleuve Ha Thanh, c'est-à-dire la représentation de la dynamique fluviale : morphologie du lit (lit mineur et plaine d'inondation), paramètres physiques du lit, végétation du lit fluvial, place des zones humides,… Ceci nous permet de montrer la vulnérabilité de l'écosystème deltaïque, les conséquences des aménagements fluviaux, celles de l'extraction de sédiments du lit fluvial, et ainsi que les enjeux de gestion des milieux aquatiques et d'ajustement à l'évolution des lits fluviaux.

4.1. Les conditions d'écoulement dans le bassin versant

Pour évaluer convenablement le niveau de vulnérabilité de la plaine d'inondation, il convient d'établir un état de référence de la plaine deltaïque, de son intégration à un bassin versant à l'échelle du corridor fluvial. La plaine d'inondation et le chenal représentent le cadre de l'écoulement fluvial. Celui-ci concerne les eaux courantes, et correspond selon Wackermann *et al.* (2005), aux «processus d'acheminement de l'eau dans un réseau hydrographique et d'écoulement hypodermique dans l'épaisseur du sol qui se produit au dessus du niveau de la nappe phréatique sous forme de micro-nappe localisée et éphémère » (p.128). L'écoulement fluvial est très complexe dans le bassin versant (Cosandey et Robinson, 2012). Il dépend de la morphologie des chenaux d'écoulement (paramètres morphométriques), des conditions hydrosédimentaires (régime hydrologique), de l'occupation du sol (rugosité des versants), des interventions anthropiques (aménagement et usages du bassin versant) et de la nature géologique.

4.1.1. Morphologie du fleuve Ha Thanh

Nous utilisons les techniques de la gémorphologie fluviale pour décrire et mettre en évidence les caractéristiques du lit fluvial, axe principal d'écoulement du bassin Ha Thanh (Malavoi et Bravard, 2010). La description physique du lit fluvial permet en effet de mieux appréhender les conditions d'écoulement et l'aléa inondation. L'amplitude et l'extension spatiale de l'inondation dépendent fortement des traits géomorphologiques (Lane, 1955).

De sa source au delta, le fleuve Ha Thanh présente différents secteurs géomorphologiques en fonction du contexte géologique (Fig. 4.1 & 4.2). Le bassin versant du fleuve Ha Thanh développe quatre facies-type de l'amont à l'aval :

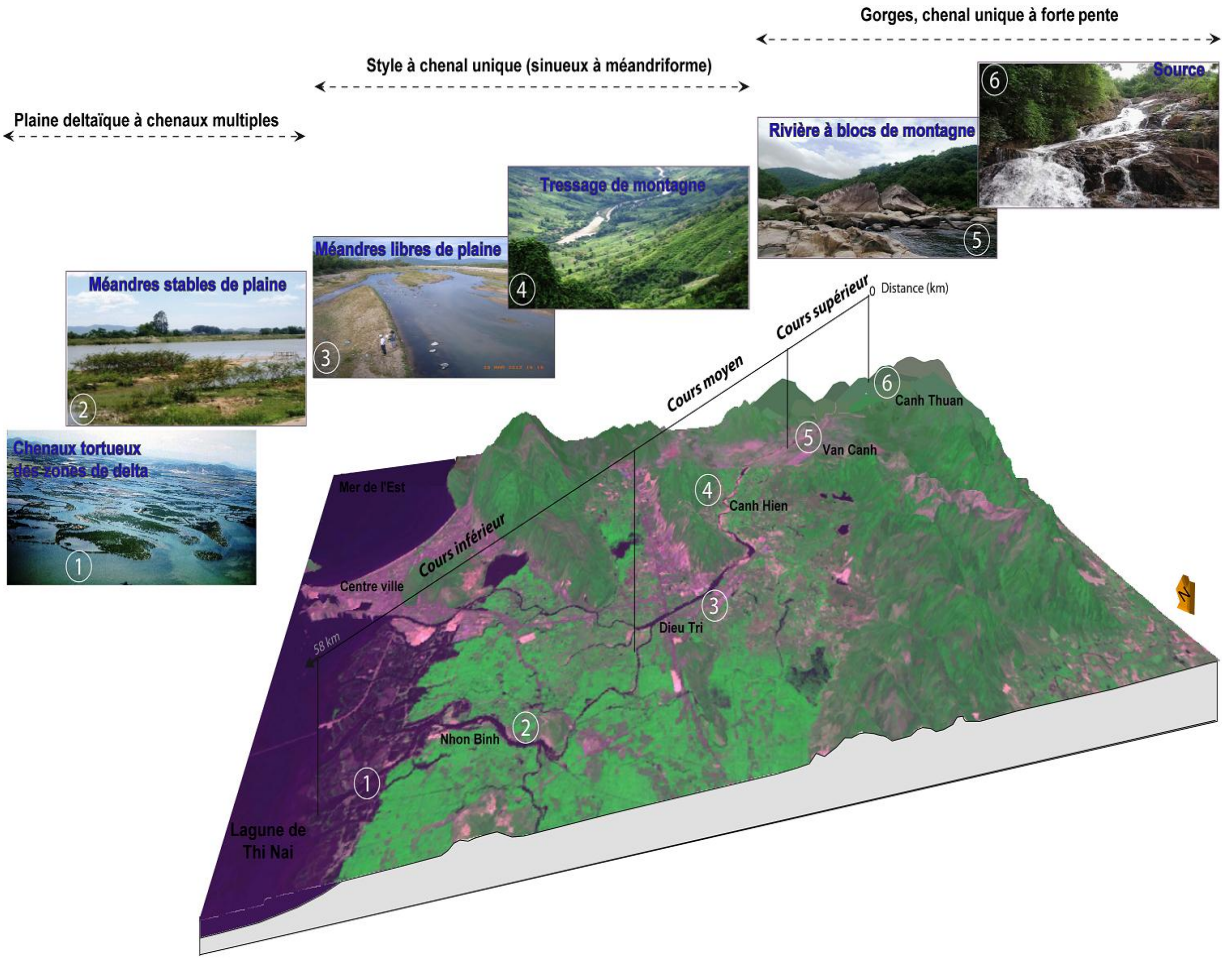
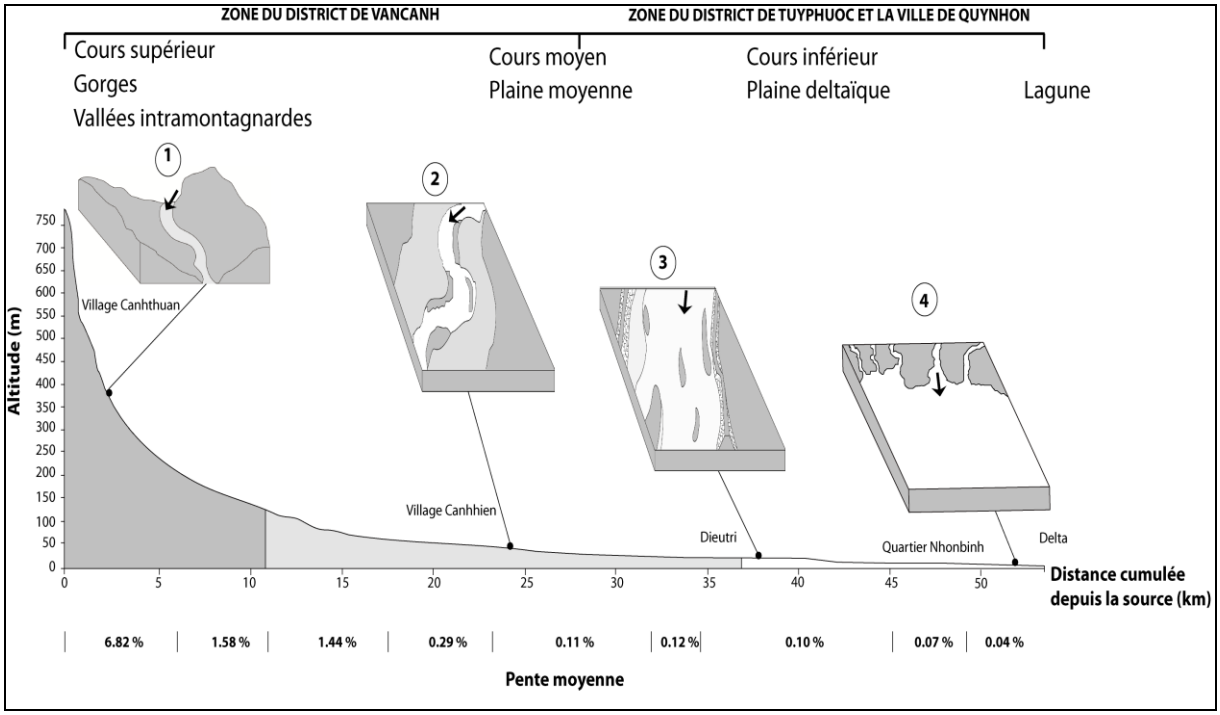


Figure 4.1. Morphologie et styles fluviaux du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

- *Les gorges du bassin :* elles se localisent dans la chaîne de montagnes annamitique, à l'ouest, et se succèdent sur environ 6 km jusqu'au village de Canh Thuan. Ensuite dans la partie aval du village de Canh Thuan, le fleuve traverse sur 5 km le village de Van Canh pour arriver au village de Canh Hien. Le fleuve y développe un style fluvial en tresse typique des plaines intra-montagnardes, avec une forte pente (6,82 %) et l'absence de plaine d'inondation (lit très étroit) : c'est le domaine des crues dites éclairs ou torrentielles. Tout le long de son parcours dans les gorges, le fleuve Ha Thanh est alimenté par une multitude d'affluents descendants des hauts bassins

- *Elargissement de la plaine dans le cours moyen :* à la sortie du haut bassin, le fleuve Ha Thanh se développe dans une plaine plus large (142 m en moyenne) et il traverse les villages de Can Hiep, Canh Vinh, Phuoc My, Phuoc Thanh et Dieu Tri sur environ 16 km. Le style en tresse laisse la place progressive à une sinuosité plus forte du cours d'eau, contraint par la géologie locale. Il y a moins d'affluents dans ce secteur, ce qui confère au haut bassin sa position de château d'eau.



***1**-Gorges; **2**-Elargissement; **3**-Plaine endiguée ou semi-endiguée; **4**-Delta.*

Figure 4.2. Typologie des différents types de plaine du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2012)

- *La plaine deltaïque :* le fleuve Ha Thanh se divise en deux bras (Thanh Hung et Truong Uc). Le premier bras traverse le quartier de Nhon Phu sur environ 12 km et se jette dans la lagune de Thi Nai. Le deuxième bras traverse le village de Phuoc Nghia jusqu'au quartier de Nhon Binh sur environ 9 km. La faible pente explique la morphologie sinueuse de ces bras. Mais la présente de digues empêche les divagations possibles du cours d'eau dans sa plaine deltaïque. La plaine inondable est exploitée pour la riziculture et est de plus en plus fortement urbanisée par les quartiers de Tran Quang Dieu, Nhon Binh, Nhon Phu et Dong Da de la ville de Quy Nhon. Ce qui induit des enjeux économiques et humains importants liés au risque d'inondation. Le faible relief de la plaine fait que les inondations impactent une superficie importante, et que l'eau se retire lentement (entre 3 et 4 jours) : c'est le domaine des crues dites de plaine. Le fleuve Ha Thanh est rejoint par un bras du fleuve Kon, situé plus au nord dans la province, ce qui influence le régime hydrologique du fleuve Ha Thanh au sein du delta. Le fonctionnement hydrologique du delta se complexifie à partir de cette confluence.

- *La lagune de Thi Nai* : avec une superficie totale de 5060 km^2 (Tran *et al.*, 2005), elle est une zone intermédiaire entre le domaine fluvial et celui maritime.

a) Morphologie des lits du fleuve Ha Thanh

Les lits sont définis comme « des unités spatiales comprises entre deux talus continus et qui constituent les surfaces d'écoulement des eaux. Ils sont hiérarchisés en fonction des débits

à écouler, depuis l'étiage jusqu'à la crue exceptionnelle »-(Ballais *et al.*, 2011, p.16). En général, on distingue trois types de lits dans une plaine alluviale fonctionnelle des cours d'eau (Leopold *et al.*, 1964; Derruau, 1962) : le lit mineur, le lit moyen et le lit majeur (Fig. 4.3).

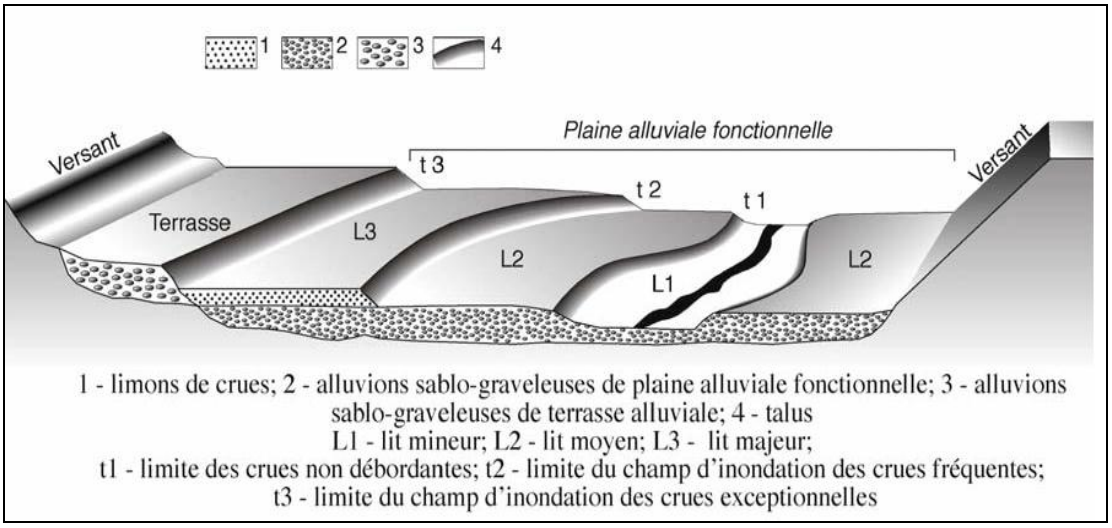


Figure 4.3. Relations topographiques entre les lits (Source : Ballais *et al.*, 2005, p.1125)

Le lit mineur correspond à « des formes actives de la dynamique fluviale, en évolution fréquente » (Ballais *et al.*, 2011, p.16). Il est composé « d'un ou plusieurs chenaux bien marqués » (Degoutte, 2006, p.56), est peu ou pas constitué de végétation aérienne.

Dans le fleuve Ha Thanh, la végétation pionnière comme le *Cyperus sp.* (Coi en Viêt-namien) apparaît (Photographie. 4.1). Ce lit est ordinairement délimité par la végétation des berges. Le lit mineur est emprunté par les écoulements annuels et les crues de plein-bord (Tricart, 1960).

Photographie 4.1. Exemple de lit mineur à l'aval du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2012)

Le lit d'étiage se situe à l'intérieur du lit mineur (Ballais *et al.*, 2011), où s'organise l'écoulement durant les périodes de basses eaux (Grivel, 2011). En zone tropicale, il apparaît le plus souvent en été. Il existe « des différences entre le lit d'étiage et le lit mineur, ces différences sont souvent peu nettes et peuvent se marquer dans la topographie » (Ballais *et al.*, 2011, p.19). Pour le fleuve Ha Thanh, le lit d'étiage apparaît de mai à août (Photographie. 4.2).

Photographie 4.2. Lit d'étiage du fleuve Ha Thanh dans la période de basses eaux (Photographie : Nguyen Huu Xuan, juillet 2012)

Le lit moyen est **«** limité par des talus, correspond au lit occupé par les crues fréquentes à moyennes (périodes de retour comprises entre 2 à 10 ans) »-(PPRNi, 2012, p.22) et est souvent remanié (Photographie. 4.3 ; Fig. 4.4). « Du point de vue hydraulique, le lit moyen participe aux écoulements des crues alors que le lit majeur joue plutôt un rôle de stockage » (Degoutte, 2006, p.56).

Photographie 4.3. De gauche à droite : lit mineur, chenal d'étiage, talus, lit moyen du fleuve Ha Thanh (Photographie : Ngo, 2012)

Les mesures des profils sur le fleuve Ha Thanh (Fig. 4.4a ; et Annexe 2) permettent de décrire la dynamique des eaux du fleuve. Les sections de mesure choisies comprennent deux variables morphologiques (Lointier, 1986) : largeur et profondeur (Fig. 4.4b).

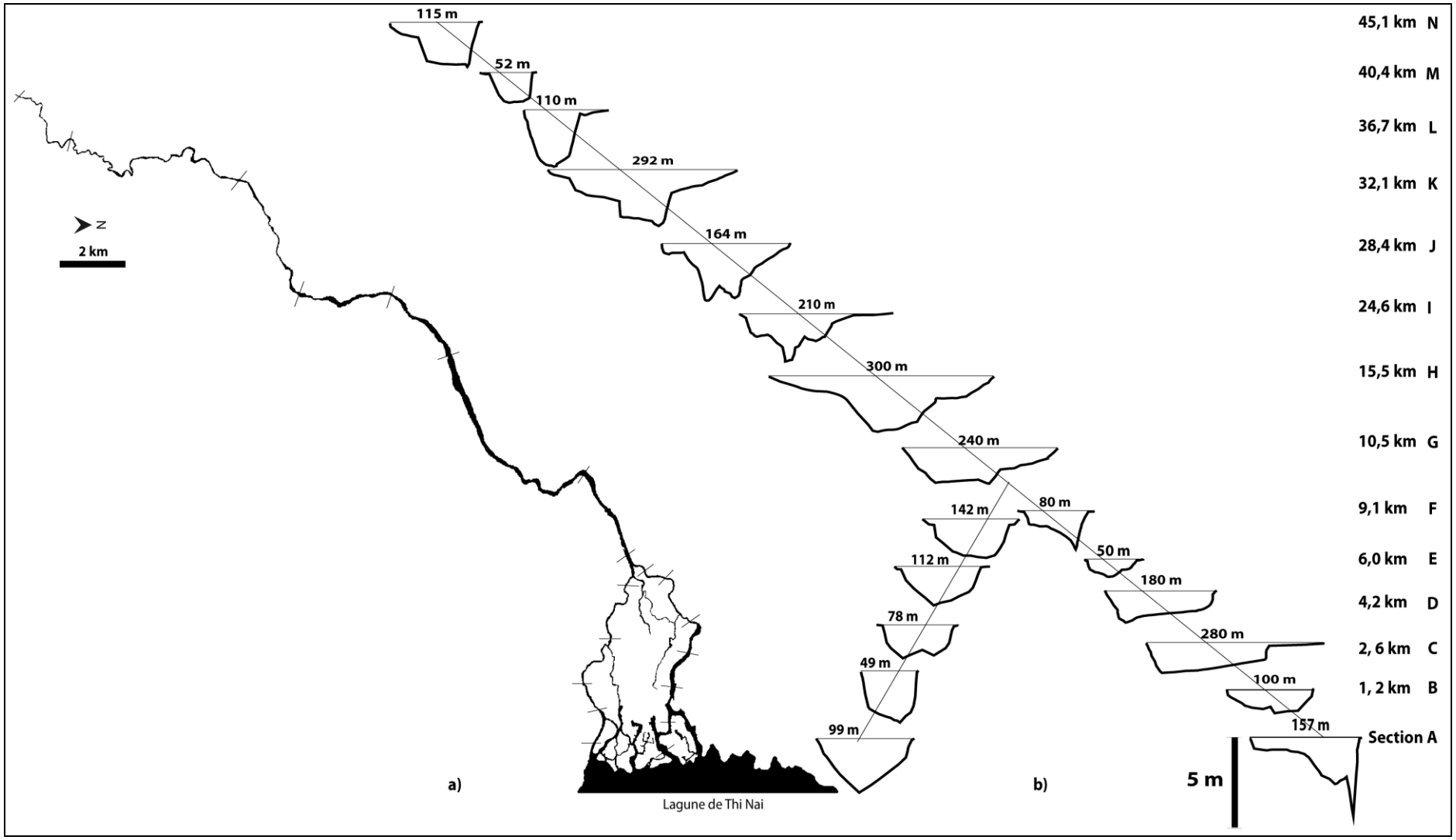


Figure 4.4. Morphologie du lit moyen du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

a) Carte du fleuve Ha Thanh et position des sections d'étude ; b) Profils en travers des sections

Le fleuve est étroit en amont et s'élargit en direction de la lagune (Fig. 4.4).

La première partie, sur une distance d'environ 17 km (N-J) présente une largeur moyenne de 130 m et une profondeur moyenne de 3 m.

La seconde partie (J à F) présente des profondeurs moyennes variant entre 3,5 m et 4,5 m. La largeur moyenne est de l'ordre de 185 m (maximum 300 m à la section H). Dans cette zone de 20 km, le style fluvial est assez sinueux.

La dernière partie (sections F à A) concerne la zone de delta. Les profondeurs moyennes sont comprises entre 2 et 3 m. Les largeurs des sections sont en moyenne de 130 m. La section E atteint la largeur minimale de 49 à 50 m et la section C a une largeur maximale de 280 m. Cette zone est d'environ dix kilomètres, et est légèrement sinueuse. La zone aval du fleuve Ha Thanh traverse des mangroves, de la section B jusqu'à la section A. La distance moyenne varie entre de 1,2 à 1,5 km.

Le lit majeur : l'étude de ce lit est nécessaire pour expliquer la morphologie de la plaine d'inondation. C'est l'espace d'expansion maximale du cours d'eau et les crues ont des périodes de retour de décennale à plus de centennale (Malavoi et Bravard, 2010; PPRNi, 2012). Ce type de lit fluvial est constitué de zones inondables potentielles. Ce lit peut se décomposer en deux parties principales :

– une zone d'écoulement, généralement au voisinage du lit mineur, où la vitesse de courant est forte.

– une zone d'expansion de crues ou de stockage des eaux, où le courant a une faible vitesse ». (PPRNi, 2012).

En milieu de plaine du fleuve Ha Thanh (Fig. 4.5), la largeur du lit majeur peut atteindre plusieurs kilomètres (6 à 7 km en moyenne).

Figure 4.5. Les lits mineur, moyen et majeur dans l'hydrosystème fluvial du fleuve Ha Thanh

(Source : Image *Google Earth*© 2011. Réalisation : Ngo, 2013)

A partir de ces éléments de connaissance, nous pouvons déterminer les limites des différents types de lits présents dans la vallée du fleuve Ha Thanh, plus précisément dans la zone deltaïque (Fig. 4.6).

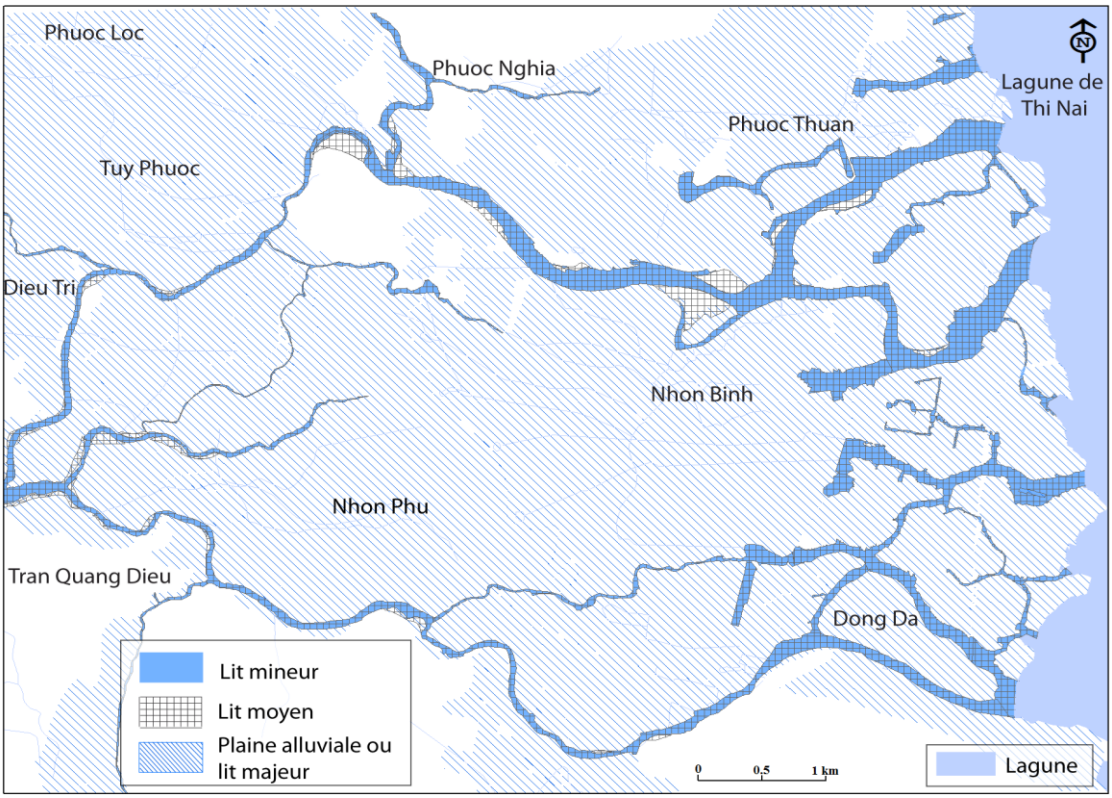


Figure 4.6. Typologie du lit fluvial dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

Cette figure représente la plaine alluviale du delta dans les limites des alluvions de la carte géologique (voir la figure 2.34 du chapitre 2, p.91). Et elle constitue un premier niveau d'élaboration pour une carte d'aléa inondation (voir le chapitre 8).

b) Evolution morphologique des lits fluviaux dans le delta du fleuve Ha Thanh

Les variables géomorphologiques des chenaux à fond mobile évoluent (Schumm, 1977; Knighton, 1984) : profil en long, section transversale et tracé en plan. Le profil en long du fleuve connaît des adaptations « sur des périodes longues » (Gaillard, 2005, p.1). La morphologie des cours d'eau est soumise à la pression des processus érosion-dépôt au fil du temps, ce qui conduit à des changements des conditions d'écoulement.

A partir d'images satellitales datées de 1988, 2002 (Landsat TM) et 2011 (*Google Earth*©), avec l'appui d'un SIG, nous calculons l'évolution morphologique des lits fluviaux dans le delta du fleuve Ha Thanh entre 1988-2011 (Fig. 4.7).

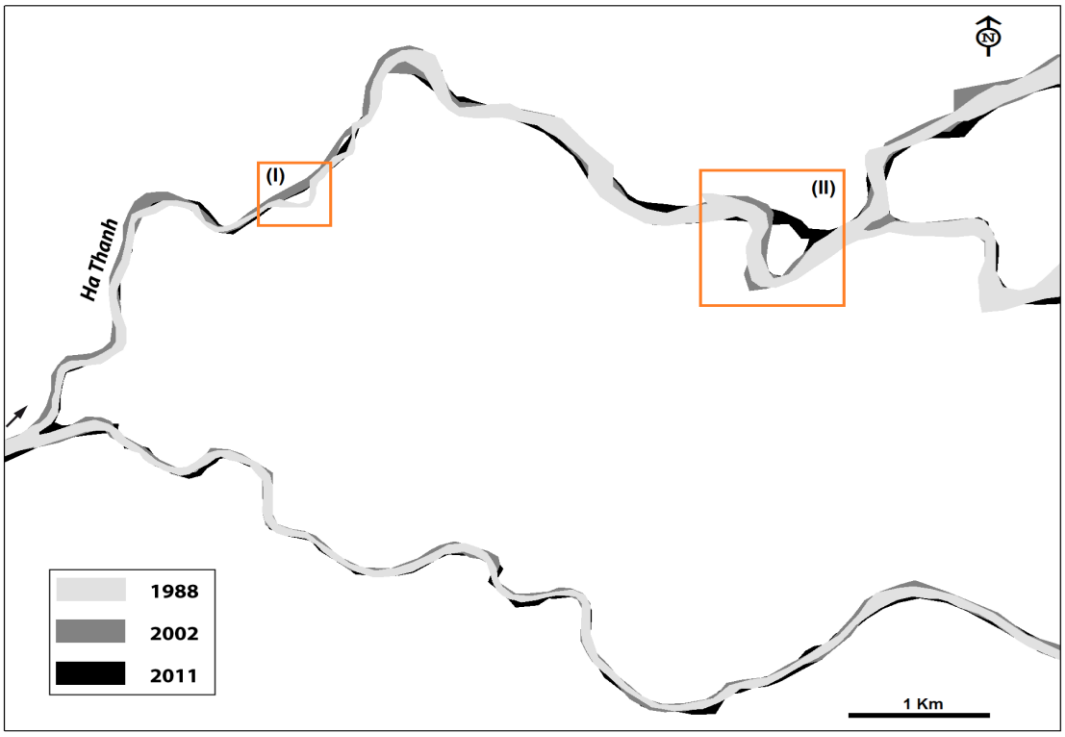


Figure 4.7. Evolution du lit fluvial dans le delta du fleuve Ha Thanh (1988-2011) (Ngo, 2013)

Le lit fluvial est caractérisé par une diminution des longueurs de son axe d'écoulement sur la période 1988-2011. Entre 1988 et 2002, l'évolution est moins marquée avec -0,04 %.an (Tab. 4.1). Le changement de sinuosité concerne principalement la période 2002-2011 dans la zone II (-0,20 %.an) (Fig. 4.7). Ce changement d'environnement fluviatile sur un pas de temps relativement court s'explique par l'installation de zones d'aquaculture sur la bande active (d'environ 500 m de largeur) (Fig. 4.8).

Tableau 4.1. Caractérisation des axes fluviaux dans le delta du fleuve Ha Thanh (1988-2011) (Ngo, 2013)

Année	**Longueurs d'axes (m)**	**Evolution des longueurs d'axes (%.an)**
1988	24386,24	***
2002	24253,34	-0,04
2011	23822,94	-0,20

Ces faits géomorphologiques traduisent les possibles modifications des écoulements principaux dans la plaine deltaïque, ce qui pourraient avoir des influences négatives en période de crue.

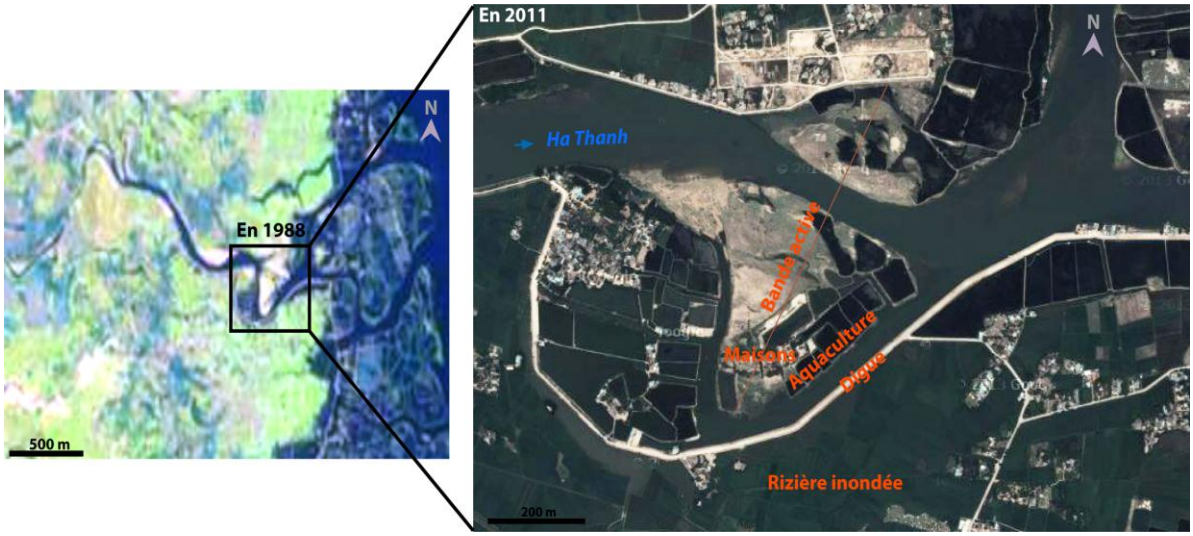
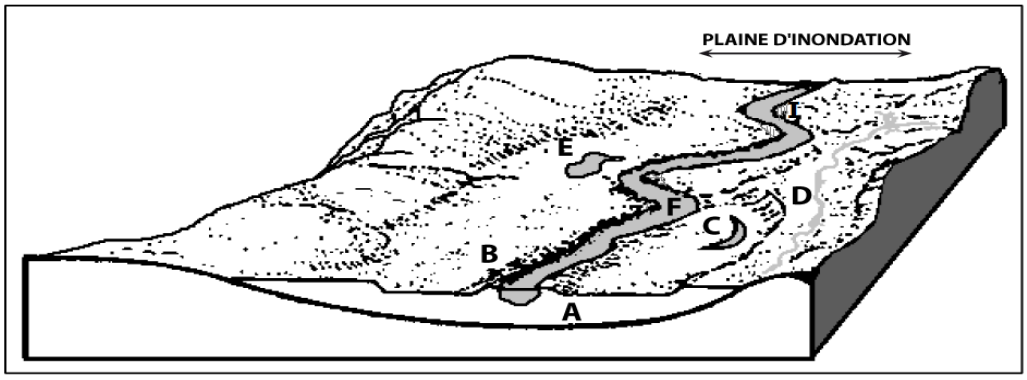


Figure 4.8. Exemple de l'évolution de la zone II dans le delta du fleuve Ha Thanh
(Source des données : Landsat 1988, *Google Earth*© 2011. Réalisation : Ngo, 2013)

c) Paramètres morphométriques : morphologie de la plaine d'inondation

La plaine d'inondation est un milieu complexe (Gautier, 2006); de nombreux auteurs s'y sont intéressés. La plaine d'inondation est une « zone adjacente aux ruisseaux, aux rivières, et aux fleuves faisant l'objet d'inondations récurrentes » (Washington, 1991). Les limites de la plaine d'inondation dépendent des conditions hydro-climatiques actuelles. Cette plaine est créée selon des sédiments transportés pendant des écoulements actuels (Nanson et Croke, 1992). Selon le FAO, (1979) ou Alexander et Marriott, (1999) « les plaines inondées sont constituées de grandes zones plates traversées par des cours d'eau dont les crues saisonnières provoquent des inondations de grande amplitude » (FAO, 1979, p.1). La topographie est assez plate et se compose principalement de matériau sédimentaire consolidé provenant des sédiments transportés par le courant connexe (Schmudde, 1968; Ballais *et al.*, 2011) (Fig. 4.9).



A (plancher alluvial); B (levée naturelle ou digue); C (bras mort); D (ruisseau) ;
E (lac) ; F (fleuve) et I (bancs de convexité).

Figure 4.9. Relief d'une plaine d'inondation du fleuve (Strahler, A.N et Strahler, A.H., 1973)

Sur la figure 4.9 se présente une plaine inondable-type comprenant les caractéristiques suivantes :

A : alluvions plus fines : les dépôts de marais et les dépôts de débordement de sédiments fins déposés dans l'eau stagnante se sont accumulés entre les digues naturelles et les limites du lit majeur;

B : levées naturelles, ont soulevé des bermes ou des crêtes au-dessus de la surface des plaines inondables adjacentes au chenal, contenant généralement des matériaux déposés comme les débits de crue au-dessus des berges du chenal;

C : bras morts, recoupement de méandres ou lac d'oxbow;

D : laissées - eaux mortes, elles se forment à la fois dans les dépressions en forme de méandre de défilement et le long des parois du thalweg comme les crues se déplaçant directement vers l'aval, dégraissé adjacent aux parois de l'aval;

I : bancs de convexité;

F : lit mineur. (Leopold *et al.*, 1964; Welcomme, 1975).

La plaine inondable n'est ni statique ni stable, elle est composée de sédiments meubles. Elle est rapidement érodée pendant l'inondation (Washington, 1991).

La morphologie de la plaine d'inondation de bassin versant du fleuve Ha Thanh est représentée sur la figure 4.10 :

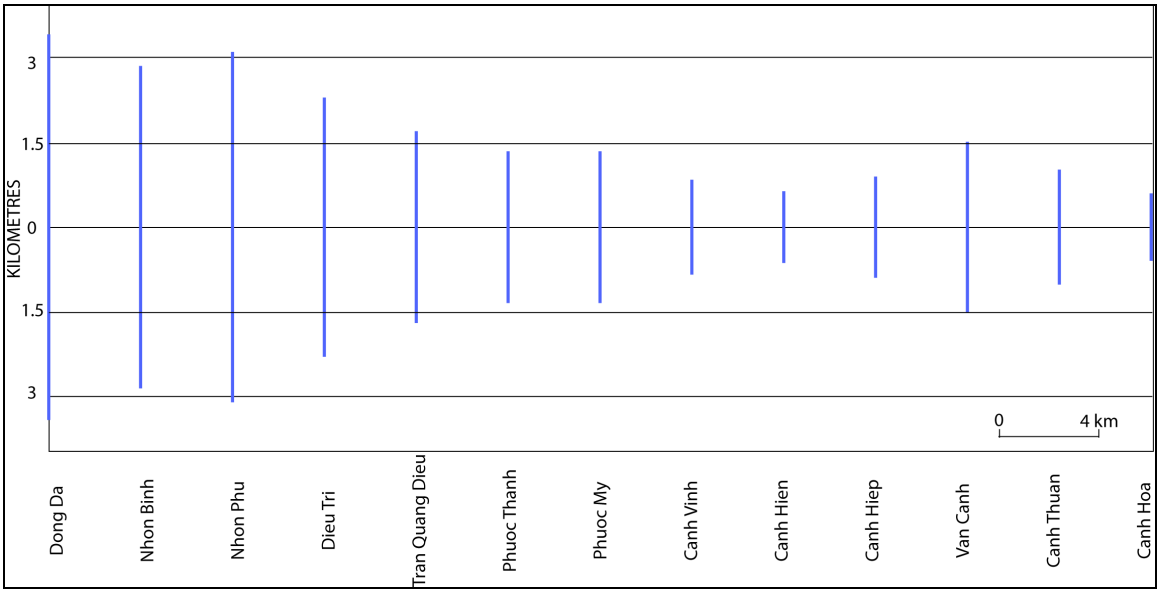


Figure 4.10. Largeurs de la plaine d'inondation du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

De la source (Canh Hoa) au delta (Dong Da), la plaine d'inondation est relativement étroite de 800 m à 2 km, puisque sa moyenne entre 2-3 km, enfin sa largeur varie de 3 à 7 km.

Grâce au SIG, nous pouvons réaliser des profils travers du delta pour représenter la morphologie de la plaine inondation à l'aval du fleuve Ha Thanh (Fig. 4.11).

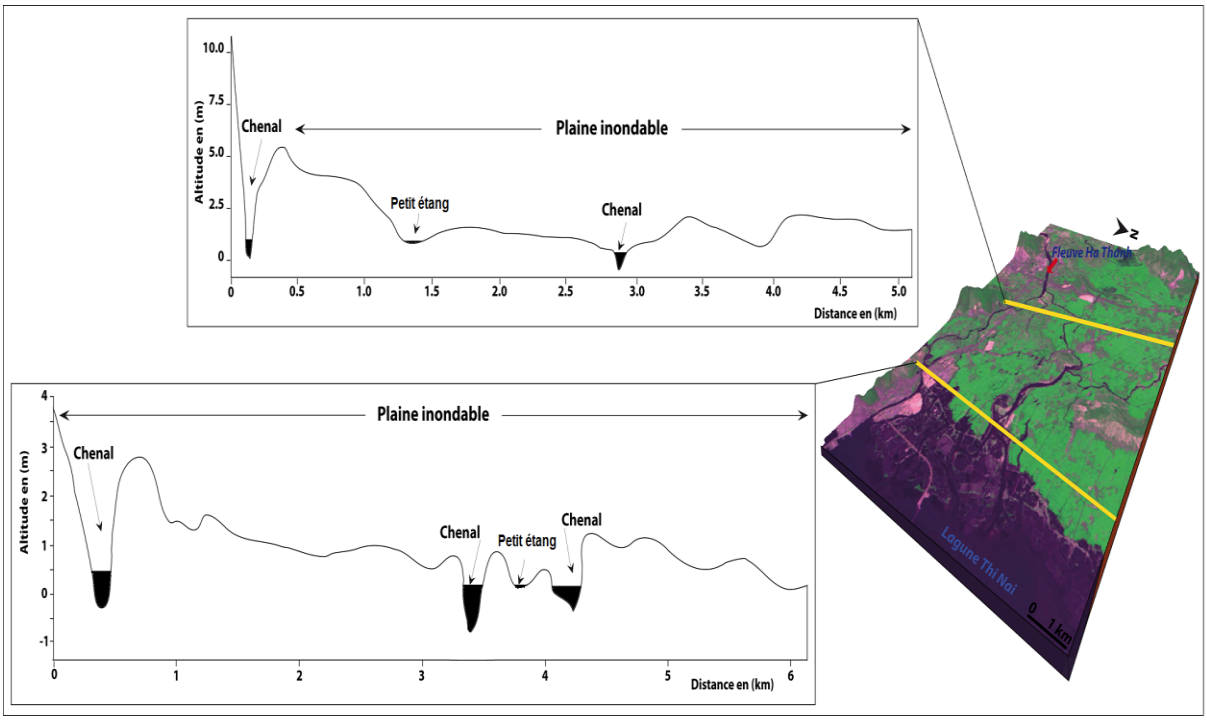


Figure 4.11. Vue en coupe de la morphologie de la plaine inondable du fleuve Ha Thanh (l'échelle verticale est exagérée) (Ngo, 2013)

Dans le delta, la plaine inondable du fleuve Ha Thanh présente les caractéristiques suivantes :

- deux chenaux du fleuve Ha Thanh aboutissent à la lagune de Thi Nai.

- la plaine inondable ou le lit majeur est située entre les altitudes 0,5 m et 3 m. L'élévation du terrain tend à diminuer du sud au nord ou du centre-ville à la banlieue de la ville de Quy Nhon. La largeur de la plaine est d'environ 7 km, et se compose des zones urbaines, agricoles (rizière inondée), marais salant, aquaculture, etc.

4.1.2. Caractérisation biogéographique des zones humides du delta

a). Typologie des zones humides

Aujourd'hui, il existe plus de 50 définitions générales des milieux humides (Dugan, 1990). Cela peut témoigner de l'importance des zones humides dans le monde. La Convention Ramsar (1971) sur les milieux humides a généralisé une définition règlementaire. « Les zones humides sont des biotopes d'une grande diversité : des marais, des tourbières, des plaines d'inondation, des cours d'eau, des lacs et des zones côtières telles que des marais salés, des mangroves et des herbiers marins, [...] mais aussi des zones humides artificielles telles que des bassins de

traitement des eaux usées et des retenues de barrages ». Les classifications peuvent regrouper trois grands types de zones humides : les zones humides continentales, les zones humides côtières et marines, ainsi que les zones humides créées par l'homme (Tab. 4.2).

Tableau 4.2. Classifications des zones humides

Les zones humides	Titre indicatif
Continentales comprennent	- Eaux dormantes : gravières, lacs, lagunes, mares, mouillères, retenues de barrage. - Eaux courantes : fleuves, rivières, ruisseaux et leurs sources. - Zones inondables : bois marécageux, forêts alluviales ou humides, landes humides, marais, marécages, prairies alluviales ou humides, ripisylves, plaines et vallées alluviales, vasières. - Zones hygromorphes végétales remarquables : aulnaies, ariçaie, rizières, roselières, saulaies, tourbières acides ou alcalines, landes paratourbeuses.
Domaines littoraux et océaniques comprennent	Archipel, îles et îlots ; Baies, criques, golfes et lagunes ; Bancs, dunes littorales et plages de sable ; Bras-morts et bras de mer de faible profondeur ; Deltas et estuaires ; Falaises maritimes ; Marais côtiers, salants, salés ou saumâtres ; Mangroves ; Plages de galets ; Récifs coralliens ou (rarement) constitués de bivalves.
Créées par l'homme comprend	Etangs d'Aquaculture pour poissons et crevettes ; Etangs de culture, de stockage, petits réservoirs (généralement inférieur à 8 ha) ; Terres irriguées ; Terres agricoles inondées saisonnièrement ; Sites d'exploitation du sel ; Sites de stockage de l'eau : réservoirs, barrages, retenues d'eau ; Excavations: carriers de gravier, de briques, d'argile, piscines minières ; Zones de traitement des eaux usées: bassins de décantation, bassins d'oxydation,… Canaux et réseaux de drainage, fossés d'irrigation.

(Source : http://entre2o.free.fr/?p=288, consulté le 2 juin 2013)

Il existe de nombreuses classifications des zones humides. Cinq grands systèmes aquatiques sont dominants (marin, estuarien, rivulaire, lacustre et palustre)-(Ménard *et al.,* 2007). Selon Cowardin *et al.* (1979), on peut hiérarchiser les habitats des milieux humides. Les zones humides « contiennent des habitats couverts de végétation et des habitats sans végétation » (La Convention Ramsar, 1971). Selon Curie *et al.* (2004) on met en relation les zones humides des plaines alluviales avec les indices topographiques et géomorphologiques. Pour Finlayson *et al.* (2002), les zones humides d'Asie sont classées suivant les régimes hydrologiques et la topographie.

Les zones humides peuvent être représentées sous la forme d'un bloc-diagramme permettant effectivement de comprendre les relations dominantes, au sein d'un bassin versant théorique, entre zones humides, relief et climat (Fig. 4.12).

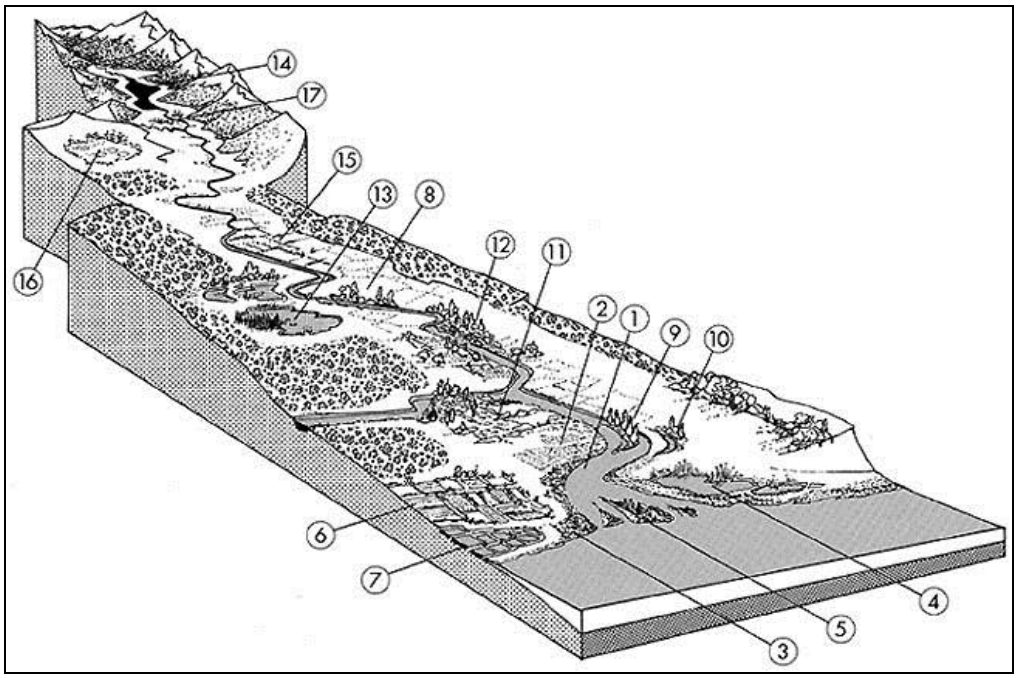


Figure 4.12. Typologie des zones humides de bassin versant

1 - Estuaires - vasières, 2 - Prés salés ou schorres, 3 - Slikkes (vasière nue découverte à marée basse), 4 - Marais et lagunes côtiers, 5 - Delta, 6 - Marais agricoles aménagés, 7 - Marais saumâtres aménagé, 8 - Zones humides alluviales, 9 - Ilots, 10 - Bras-morts, 11 - Prairies inondables, 12 - Ripisylves, 13 - Régions d'étangs, 14 - Lacs, 15 - Prairies humides, 16 - Tourbières, et 17 - Zones humides de bas-fond.

(Source : http://www.ifen.fr/zoneshumides/pages/presentation.htm, consulté le 20 mai 2013).

Pour le bassin versant du fleuve Ha Thanh, sous un domaine tropical humide, la pluie est suffisamment « abondante pour permettre à leurs habitants de vivre des produits » (Naah, 2002, p.975) des zones humides (rizière inondée). Ce bassin versant est composé de zones humides mixtes : les zones humides « artificielles », créées par l'homme, les zones humides alluviales et les zones humides littorales (Diop, 1998; Peeters, 1998; Gawler et Beridogo, 2002). (Fig. 4.13).

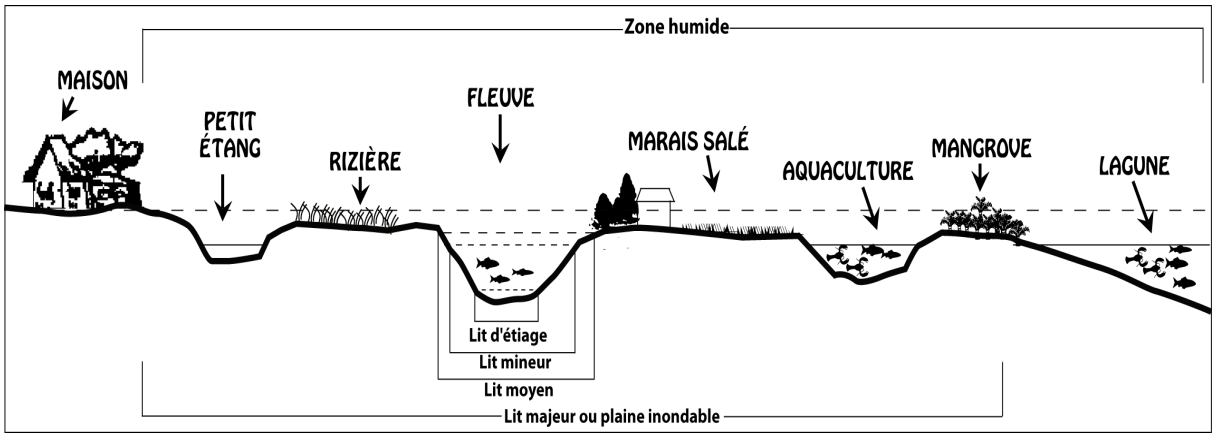


Figure 4.13. Coupe Sud Ouest – Nord Est dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

- Grâce au SIG, aux images satellitales (Spot 4; 2009) et à la validation sur le terrain en 2012, les zones humides du delta du fleuve Ha Thanh ont été identifiées et cartographiées (Fig. 4.14 & 4.15).

Les zones humides du delta du fleuve Ha Thanh sont composées de :

- lagunes côtières salées (lagune de Thi Nai);
- « zones humides boisées intertidales, y compris marécages à mangroves » (Manuels Ramsar 4e edition, 2006, p.66) du fleuve;
- des lacs d'eau douce permanents;
- des étangs (moins de 8 hectares);
- des étangs d'aquaculture (poissons, crevettes);
- « des terres irriguées, y compris canaux d'irrigation et rizières; des terres agricoles saisonnièrement inondées; et des sites d'exploitation du sel » (Manuels Ramsar 4e edition, 2006, p.66) (marais salants). Grâce au SIG, nous pouvons estimer la répartition les surfaces des zones humides dans ce delta (Fig. 4.16).

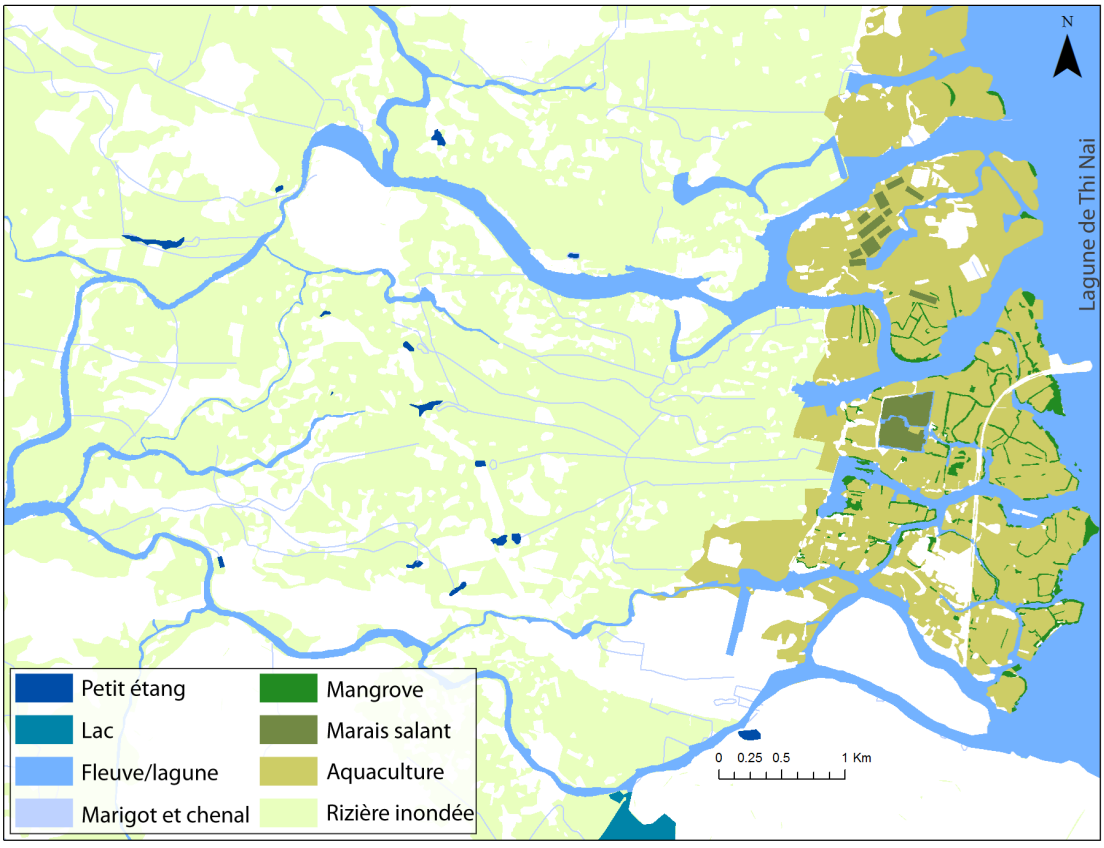


Figure 4.14. Zones humides du delta du fleuve Ha Thanh en 2011 (Ngo, 2013)

Figure 4.15. Exemple de zones humides dans le delta du fleuve Ha Thanh (Photographies : Ngo, 2012)

a) Marais salant, b) Lagunes côtières salées, c) étangs d'aquaculture, d) mangrove, e) barrage, f) zones humides boisées intertidales et étang, g) rizière inondée, h) irrigation et rizière inondée, i) fleuve.

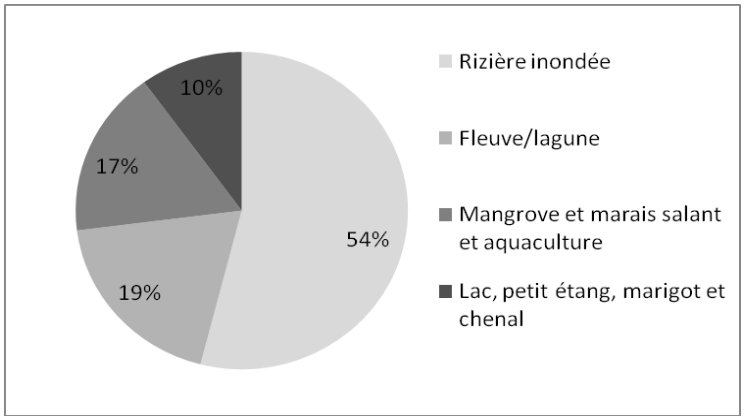


Figure 4.16. Répartition des surfaces des zones humides dans le delta du fleuve Ha Thanh (en %) (Ngo, 2013)

Le delta est un espace agricole spécialisé dans la production de riz. Les surfaces de rizières inondées représentent environ 54% de la superficie totale des zones humides (Fig. 4.16).

b). Typologie et distribution des cortèges floristiques

La végétation est définie comme « l'ensemble géographique des plantes vivants dans un même lieu » (George et Verger, 2013, p.457). La caractérisation de la végétation s'intéresse aux aspects morphologiques des végétaux comme leur densité, leur structure, leur

physionomie… (Lévy et Lussault, 2005). La végétation nous intéresse également sous l'angle des conditions d'écoulement qu'elle peut influencer (Marcelle, 1965).

Le fleuve Ha Thanh est une source d'eau pour le système de production agricole et est une ressource hydrologique importante pour la pêche et l'aquaculture sans oublier son rôle significatif dans l'enrichissement de la biodiversité.

En écologie, le cortège peut être défini comme une composition d'espèces biologiques communes ou caractéristiques écologiques (ACEMAV/BIOTOPE, 2002); http://fr.wikipedia.org, consulté le 6 juin 2013). Les cortèges floristiques peuvent être « relativement riche en espèces » (ACEMAV/BIOTOPE, 2002, p.24).

Nous avons donc mené un travail de caractérisation des cortèges floristiques dans le delta du fleuve Ha Thanh. Les espèces végétales ont été classées et nommées en 2012 par le biologiste PHAN Hoai-Vi de l'Université de Quy Nhon. Quatre profils topographiques ont été créés pour mettre en relation l'altitude, le tapis sédimentaire et le couvert végétal (Fig. 4.17).

Nous constatons que le lit fluvial connait en fonction de sa topographie des logiques de distribution des cortèges floristiques (Grivel, 2008 et 2011).

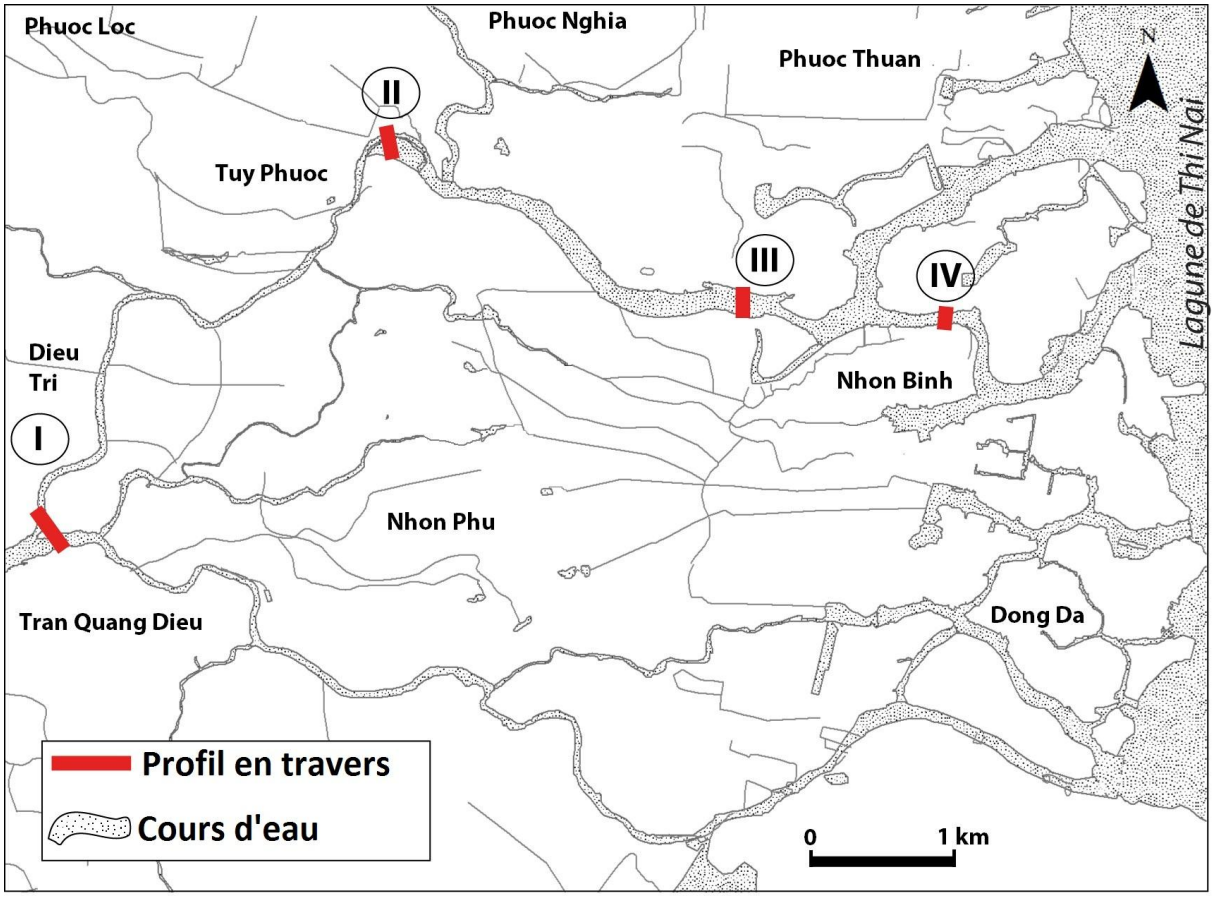


Figure 4.17. Coupes transversales de la distribution des cortèges floristiques dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2012)

Le delta du fleuve Ha Thanh est un exemple typique de plaine côtière tropicale du Centre du Viêt-Nam. Il comporte beaucoup de végétation sur les berges et le lit du fleuve comme les espèces typiques de la mangrove (Rhizophora sp, Kandelia candel (L.) Druce, Bruguiera sp…); Cyperus sp, Mimosa pigra L.; B. paspaloides (Presl.) C.E.Hubb.

A l'amont du delta, la végétation est composée de : Bambusa spinosa Roxb. ex Buch.-Ham (Tre Gai en Viêt-Namien); Mimosa pigra L. (Mai Dương en Viêt-Namien) ; Cyperus sp. (Cói en Viêt-Namien) ; Pluchea indica (L.) Less. (Cúc Tần en Viêt-Namien)… (Fig. 4.18). A partir de déplacements sur le terrain, nous avons constaté que *Cyperus sp* est situé et développé sur le lit mineur et les berges du fleuve.

Au milieu du delta, nous trouvons une forêt alluviale composée d'Hibiscus tiliaceus L. (*Tra* en Viêt-Namien). Ceux-ci sont situés sur les rives du fleuve (Fig. 4.19 & 4.20). Cet endroit comporte aussi les essences suivantes : Cyperus sp. ; Mimosa pigra L. ; B. paspaloides (Presl.) C.E.Hubb. (*Cỏ Vị Thảo San* en Viêt-Namien) et Pandanus humilis Lour. (*Dứa* en Viêt-Namien).

A l'aval du delta, nous pouvons trouver dans la mangrove les variétés floristiques suivantes : Rhizophora sp (*Đước* en Viêt-Namien) ; Kandelia Candel L. Druce (*Trang* en Viêt-Namien); Bruguiera sp (*Đước* en Viêt-Namien); Excoecaria Agallocha L (*Gia* en Viêt-Namien) (Fig. 4.21).

Les cortèges floristiques se développent entre les formes fluviales les plus basses de la bande active (bancs) et les parties sommitales des zones élevées au niveau des berges.

- les espèces pionnières, avec les cyperus sp (**I**), (**II**) ; B. paspaloides (Presl)-C.E.Hubb (I) ; Mimusa pigra l (**III**) sur les limons sableux ; et Rhizophora sp (**IV**) sur les limoneux-argileux.

- la forêt alluviale à bois tendre sur les zones élevées au niveau des berges (bambusa spinosa Roxb et Buch-Ham (**I**); Hibiscus tiliaceus L (**II**)) sur sables).

De plus, on se trouve une diversité de types de sédiments dans le chenal sable, limon organique, limon sableux, limoneux-argileux, etc. Le piégeage des sédiments est aussi influencé par la végétation (Clarke, 2002; Vento *et al.*, 2002).

Les schémas (Fig. 4.18, 4.19, 4.20 et 4.21) illustrent parfaitement cette organisation topographique des cortèges floristiques.

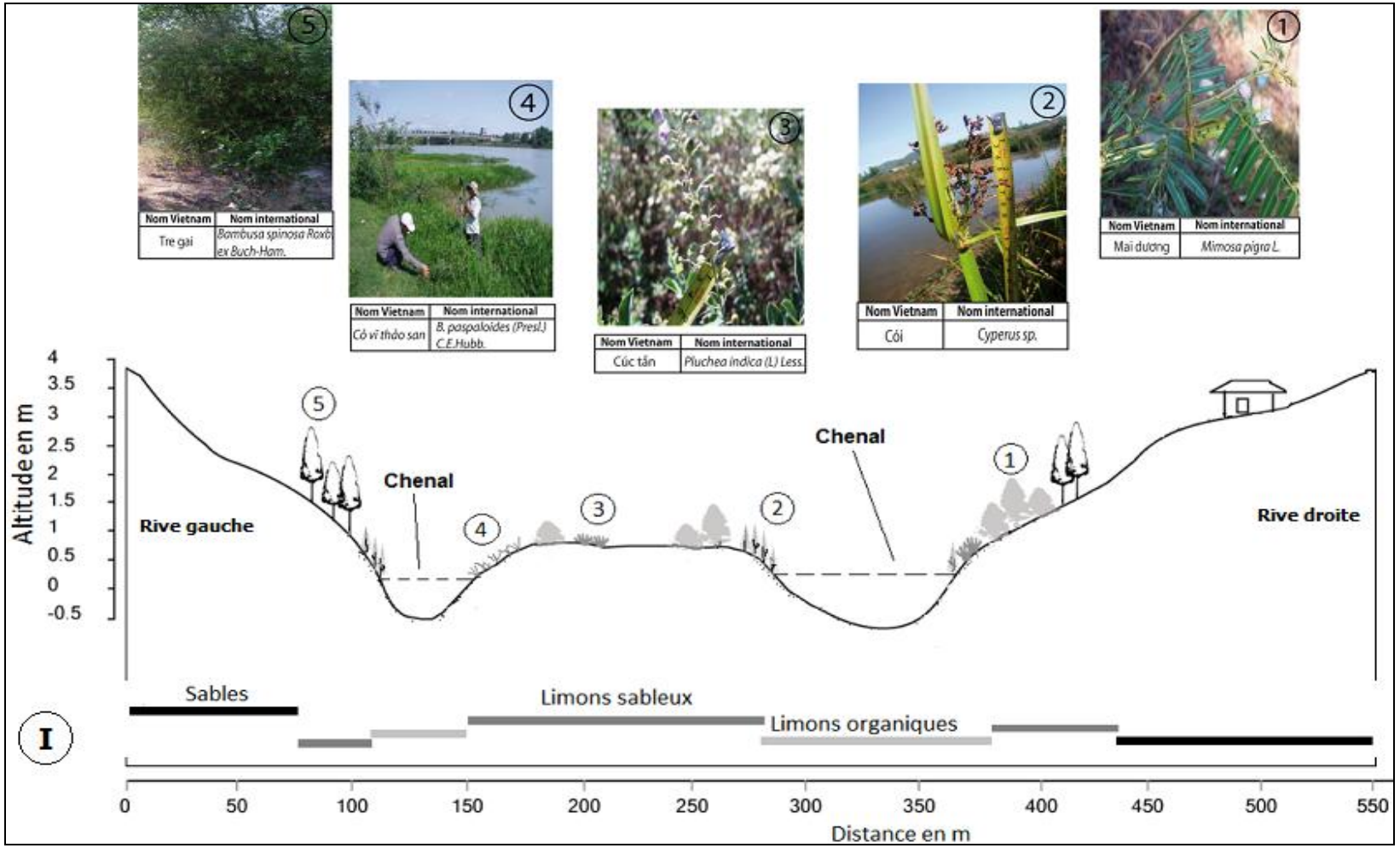


Figure 4.18. Relation végétation-topographie-sédimentation le long du profil I dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, Grivel et Phan, 2012)

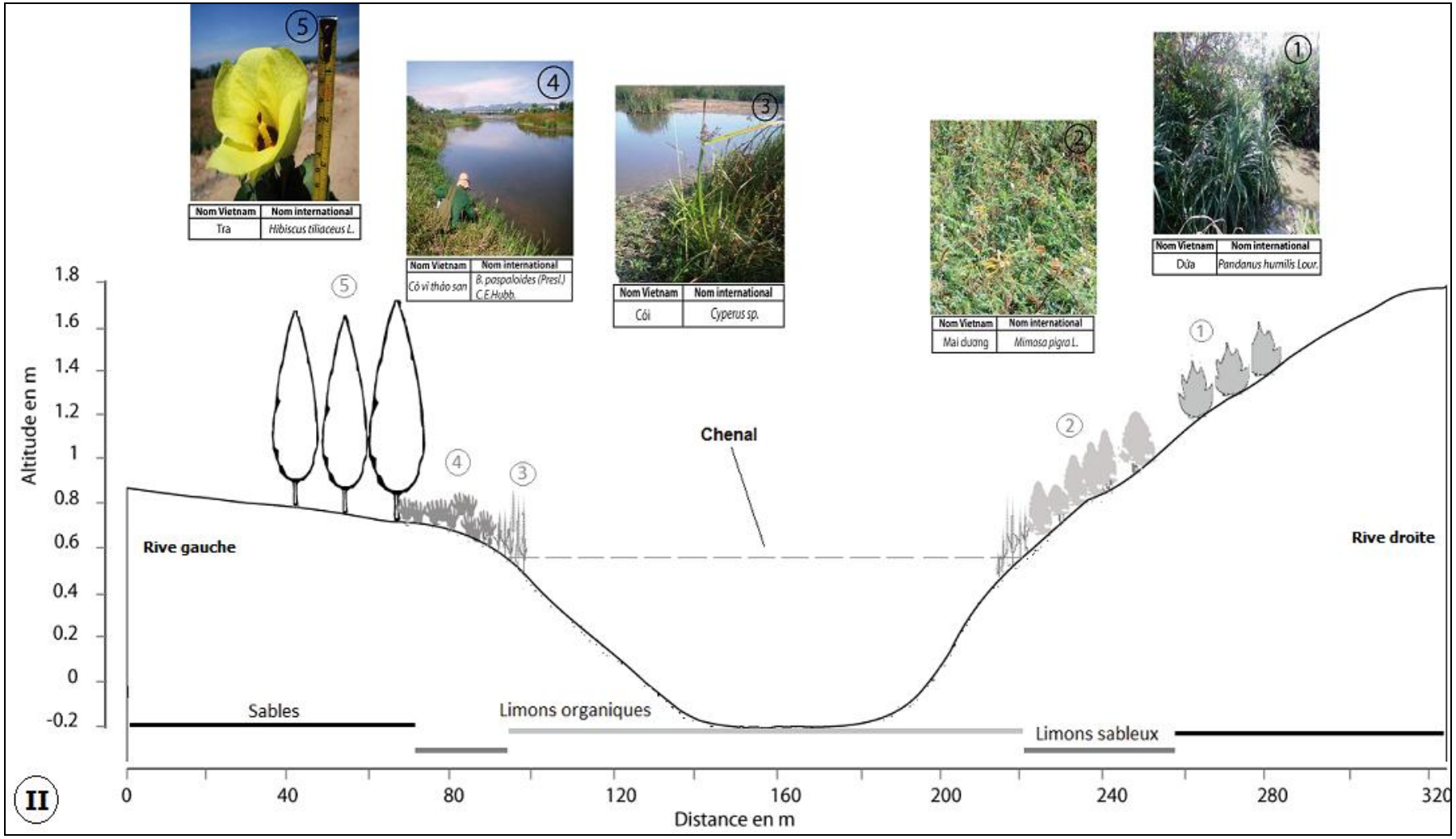


Figure 4.19. Relation végétation-topographie-sédimentation le long du profil II dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, Grivel et Phan, 2012)

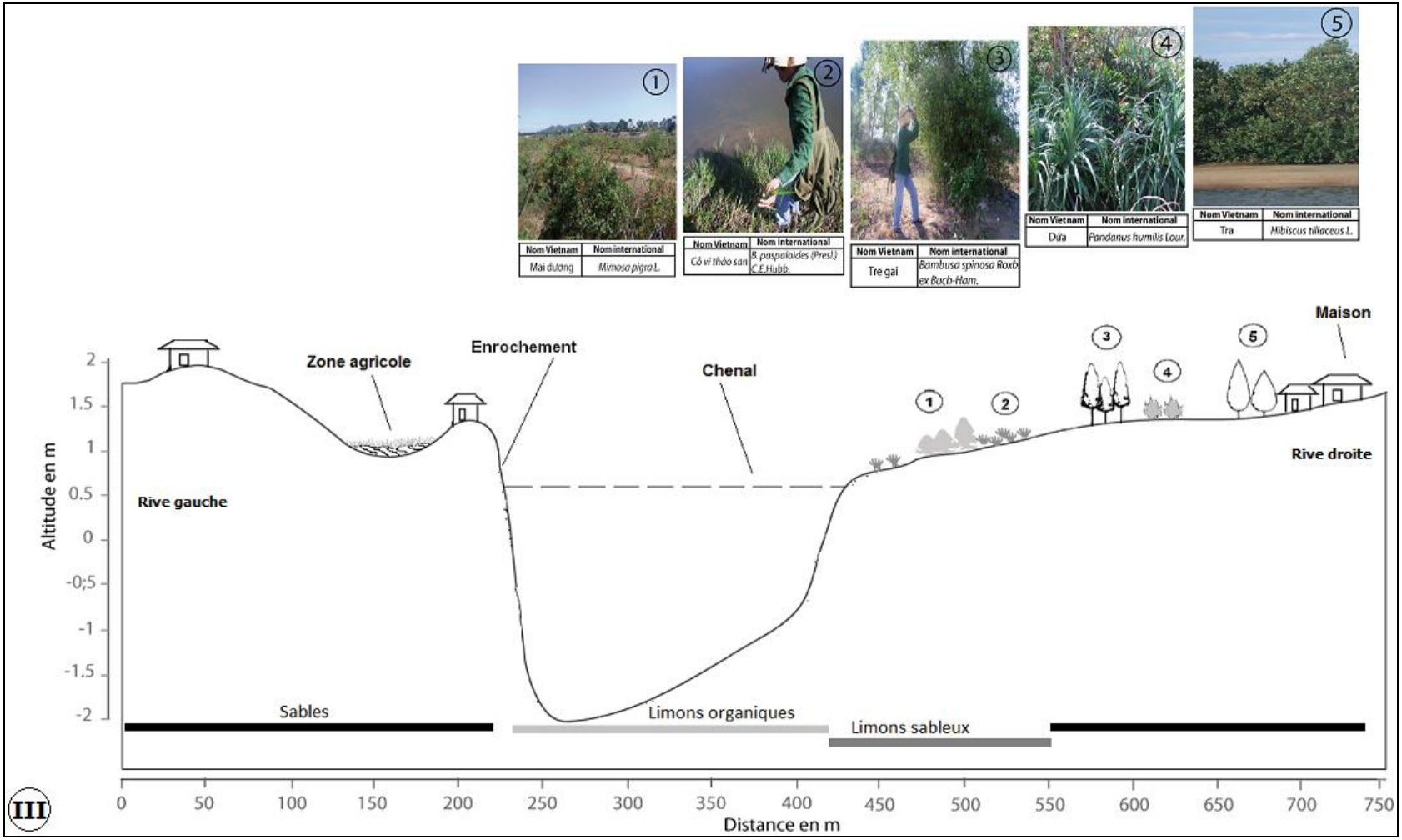


Figure 4.20. Relation végétation-topographie-sédimentation le long du profil III dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, Grivel et Phan, 2012)

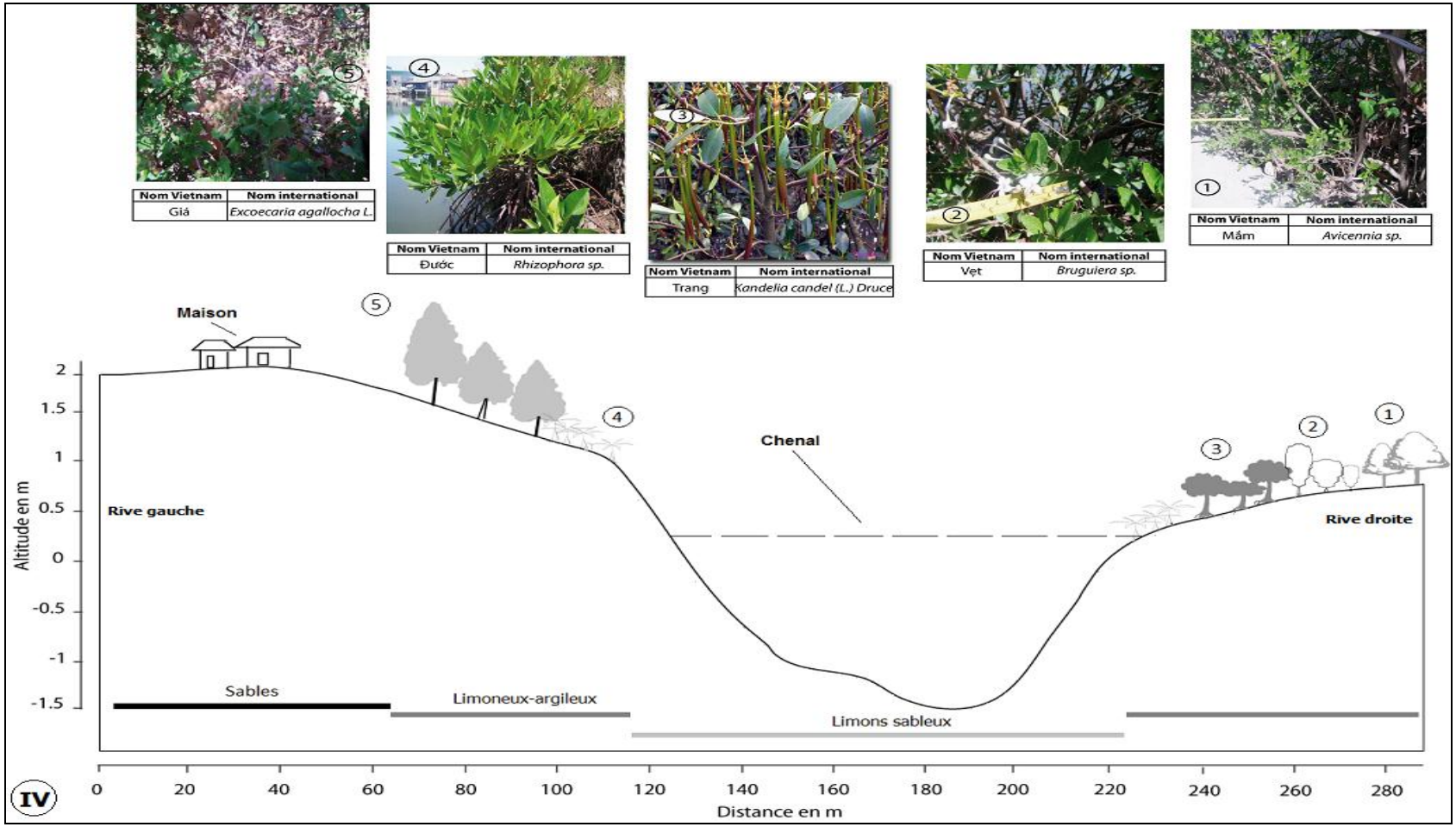


Figure 4.21. Relation végétation-topographie-sédimentation le long du profil IV dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, Grivel et Phan, 2012)

c). Vulnérabilité de l'écotone deltaïque

Le concept d'"écotone" est développé depuis plus d'un siècle et se définit principalement comme un espace de délimitations stables entre des communautés végétales distinctes (Clements, 1905). Selon Senft (2009), l'écotone est une zone de transition entre des écosystèmes ou des régions écologiques le long d'un gradient environnemental. L'écotone est la possibilité d'établir une relation différente entre milieux fluviaux et milieux maritimes. L'écosystème de la mangrove est un écotone complexe entre des éléments maritimes (eaux salées) et des éléments fluviaux (eau douce) (Tran, T., 2009).

Pour le delta du fleuve Ha Thanh, la mangrove joue un rôle important dans la lagune Thi Nai et le fleuve Ha Thanh (Fig. 4.22). C'est un écosystème d'une grande diversité biologique et reste très vulnérable aux changements environnementaux. En effet, on trouve dans le delta, Rhizophora sp., Aegiceras corniculatum (L.) Blanco, Kandelia candel (L.) Druce, Bruguiera sp., et Avicennia sp., des espèces sensibles à la variation des paramètres environnementaux (température, durée de submersion, salinité).

De plus, la mangrove joue un rôle reconnu en protégeant les côtes des vents, même les plus violents lors des typhons ou des tempêtes (Tran *et al.,* 2005; Alongi, 2008). Ce qui est particulièrement important quand on connaît la récurrence des typhons dans la province de Binh Dinh (Fig. 2.27 du chapitre 2, p.85)

La mangrove est une excellente protection contre l'érosion marine ou la salinisation des terres. Les quartiers de Dong Da et Nhon Binh sont situés à proximité de cette zone écotonique laquelle protège la production agricole des rizières inondées. La mangrove abrite également une multitude de poissons, de crustacés et ainsi que d'oiseaux (El *et al.,* 2013). Selon le Rapport de l'Office des Publications officielles des Communautés Européennes en 1992 (p.19), « ces oiseaux de rivages, […], viennent autour des mangroves parce qu'elles sont localisées à l'étage intertidal et environnées de plages, de bas-fonds boueux et d'eau saumâtre. Ils se nourrissent de vers, de mollusques gastéropodes et lamellibranches, de petits crustacés, de larves d'insectes, de crabes et de petits poissons qu'ils dénichent dans la boue, le sable et les eaux peu profondes ». Tout un écosystème est ainsi lié à la mangrove.

Grâce au SIG, nous estimons la superficie occupée par la mangrove dans le delta à 0,30 km^2 (2011). Les mangroves sont denses au Nord-est du delta et éparpillées le long des aquacultures (Fig. 4.22).

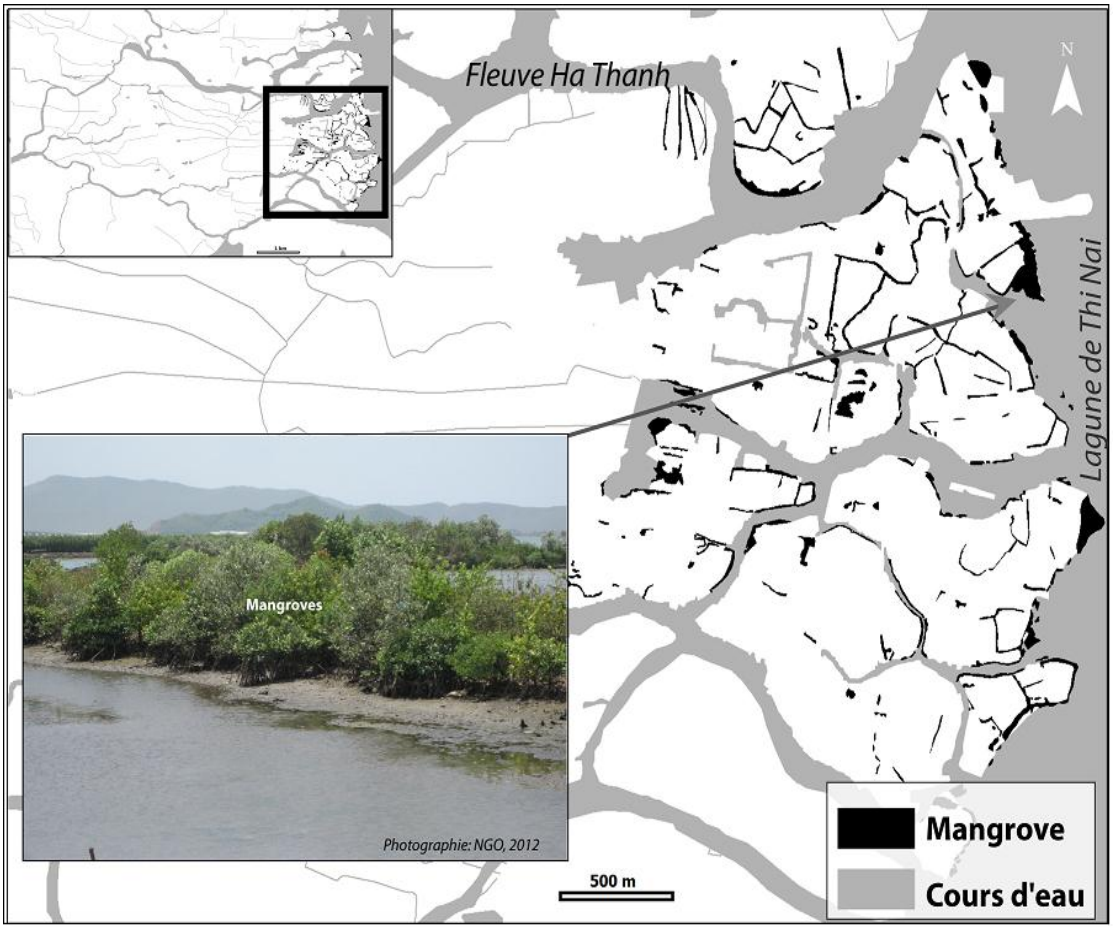


Figure 4.22. Les mangroves dans le delta du fleuve Ha Thanh (Réalisation : Ngo, 2013)

La mangrove a été perturbée par les guerres entre 1945-1975 (épandages d'herbicides et bombardements) (Tran, T., 2009) puis, menacée par la pression de l'économie (aquaculture à la fin des années 1990) et par l'urbanisation croissante de la ville de Quy Nhon (depuis les années 2000). Cette mangrove a été fortement diminuée (voir la partie prochaine et les parties 5.2.2 et 5.2.3 du chapitre 5).

En 1967, les mangroves sont très denses dans la zone tampon entre milieux fluviaux et milieux maritimes du delta du fleuve Ha Thanh (Fig. 4.23). En 2009, certaines mangroves ont été remplacées par des étangs d'aquaculture (poissons et crevettes) et des habitations (Fig. 4.24).

Les modifications d'un tel écosystème influencent également les risques liés aux crues puisque la fonction de retention des écoulements par ces zones humides disparaît.

Figure 4.23. La zone tampon du delta du fleuve Ha Thanh en 1967 (Photographie : Robert S., 1967)

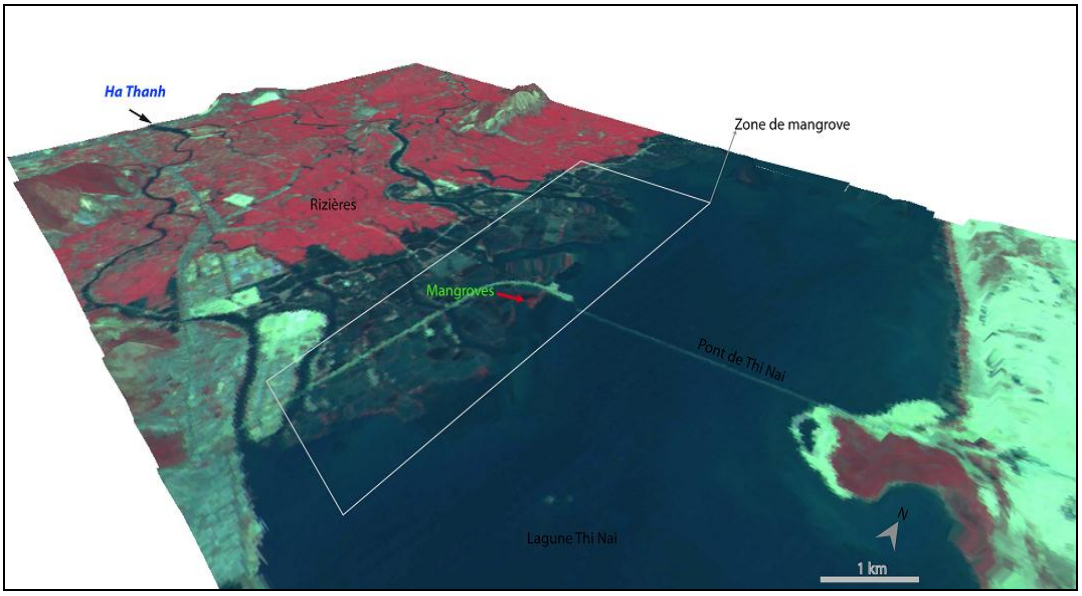


Figure 4.24. La zone tampon du delta du fleuve Ha Thanh en 2009 (Source des données : SPOT 4 en 2009, Aster Gdem 30m. Réalisation : Ngo, 2013)

4.1.3. Modification de l'occupation du sol du bassin versant du fleuve Ha Thanh (1988-2011)

L'étude de l'évolution de l'occupation du sol est intéressante car elle révèle le niveau de sensibilité actuelle des plaines d'inondation dans le bassin. La forte urbanisation, réalisée de manière anarchique, aggrave les conséquences des événements naturels, tout particulièrement les crues.

Nous proposons une méthode de détection permettant de mettre en évidence les changements significatifs (Blanc, 1999). « L'analyse spatiale permet de mesurer les états successifs de l'occupation du sol » depuis 1988, mais aussi de « décrypter les fluctuations des éléments de l'occupation du sol » (Wafo Tabopda, 2010). Ce développement géomatique a

permis au final de créer une base de données spatialisée et territorialisée à l'ensemble du bassin versant du fleuve Ha Thanh. Un tel SIG peut être organisé et exploité pour mieux connaître le territoire exposé aux aléas climatiques, ce qui constitue une étape préalable et indispensable dans la chaîne de maîtrise des risques naturels.

La détermination des classes est fondée sur une image satellitale et sur les informations issues des observations et des relevés de terrain, suivie de la création de métafichiers. Comme on l'a déjà vu précédemment, on retient quatre grands thèmes d'occupation du sol : les surfaces artificialisées, les surfaces en eau, la forêt et les surfaces agricoles (Fig. 4.25). A partir de ces thèmes, neuf classes sont mises en évidence (Voire l'Annexe 3, et Tab. 3.5 du chapitre 3, p. 108).

La phase d'intégration des données dans le SIG est effectuée à partir du logiciel *ArcGis*©. Elle permet d'intégrer l'ensemble des paramètres dans une base de données commune et d'analyser la dynamique de l'occupation du sol à l'intérieur du bassin versant du fleuve Ha Thanh.

a) Les changements d'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

Les Systèmes d'information Géographiques ont été utilisés pour déterminer la dynamique d'utilisation du sol dans le bassin versant de 1988 à 2011 à partir des images Landsat TM (août 1988 et juillet 2002) et Quick Bird (juillet 2011).

Pour la détection des changements de l'occupation du sol, la méthode de comparaison en post-classifications a été adoptée (Mas, 2000; Lu *et al.,* 2004 ; Hoang *et al.,* 2007). Le principe de cette méthode est « basé sur la classification de deux scènes acquises à des dates différentes. Elle assigne d'abord des classes et détecte ensuite le changement. Cette méthode permet de fournir l'information détaillée du changement et préparer des cartes d'évolution » (Yuan *et al.,* 2005). Les résultats de la classification supervisée ont été comparés, classe par classe, afin d'évaluer les changements. « L'évaluation de changement est faite sur une base de vecteur-par-vecteur (*shapefile*) à l'aide d'un tableau de statistiques faisant appel à une matrice de changement » (Hoang *et al.,* 2007).

L'annexe 3 montre les changements de l'occupation du sol entre 1988-2011. Des groupes de l'occupation avec l'expansion et la récurrence ont été présenté dans cette annexe.

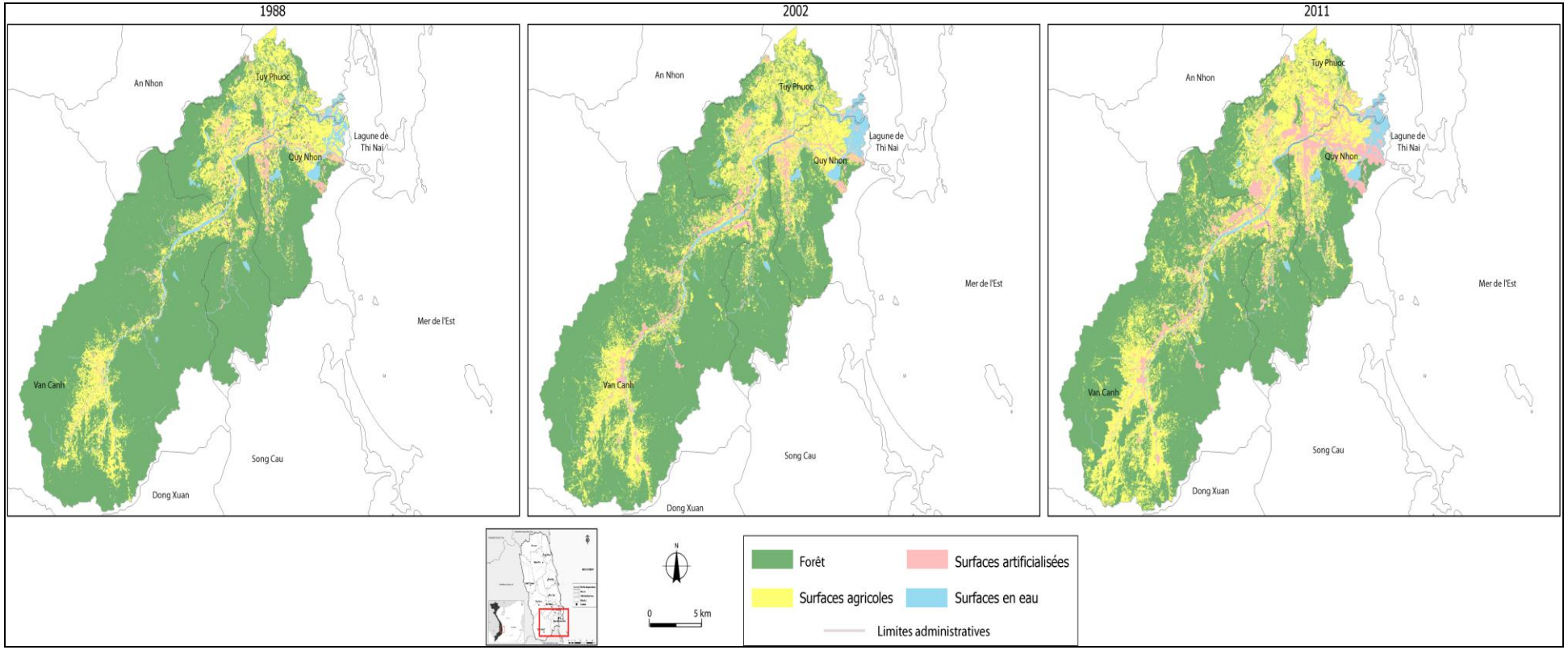


Figure 4.25. Evolution de l'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

(Sources des données : Landsat de 1988 et de 2002, Google Earth de 2011. Réalisation : Ngo, 2012)

b) L'évolution spatio-temporelle des changements de l'occupation du sol

Dans notre étude, ll s'agit de trois classifications utilisées pour évaluer l'évolution spatio-temporelle des changements de l'occupation du sol du bassin versant du fleuve Ha Thanh. Les classes thématiques ont été regroupées en quatre classes : surfaces artificialisées, surfaces agricoles, surfaces en eau ainsi que forêt (Tab. 4.3 & 4.4).

Tableau 4.3. Superficie et pourcentage de l'occupation du sol du bassin versant Ha Thanh (1988-2011)

Classes thématiques	**Année**					
	1988		**2002**		**2011**	
	Km²	**%**	**Km²**	**%**	**Km²**	**%**
Surfaces artificialisées	21,97	3,54	29,72	4,79	44,20	7,13
Surfaces agricoles	108,93	17,57	136,39	22,00	159,61	25,74
Surfaces en eau	15,07	2.43	17,48	2,82	17,50	2,82
Forêt	474,03	76.46	436,41	70,39	398,69	64,30
Total	**620,00**	**1,00**	**620,00**	**1,00**	**620,00**	**1,00**

Tableau 4.4. Modification d'occupation du sol du bassin versant Ha Thanh (1988-2011)

Classes thématiques	**1988-2002**		**2002-2011**		**1988-2011**	
	km²	**%**	**km²**	**%**	**km²**	**%**
Surfaces artificialisées	0,55	2,18	1,61	4,51	0,97	3,09
Surfaces agricoles	1,96	1,62	2,58	1,76	2,20	1,67
Surfaces en eau	0,17	0,84	0,00	0,01	0,11	0,65
Forêt	-2,69	-1,06	-4,19	-1,00	-3,28	-0,75

AB= Annuel brut ; TC=Taux de croissance

Les tableaux 4.3 et 4.4 montrent les superficies calculées à partir des cartes d'occupation du sol en 1988, 2002 et 2011. « Il fait ressortir d'une part les superficies des classes et leur valeur relative par rapport à la superficie totale de la zone d'étude et, d'autre part les taux de croissance des différentes classes d'occupation de sol » (Diop, 2006) pour la période 1988-2002, 2002-2011 et 1988-2011.

- L'évolution des surfaces artificialisées :

L'évolution temporelle est indiquée sous forme graphique (Fig. 4.26). Les surfaces artificialisées ont augmenté. Alors qu'elles ne couvraient que 3,54 % (21,97 km^2) en 1988, la superficie des surfaces artificialisées a plus que doublé pour couvrir près de 7,13% (44,20 km^2) en 2011 (Tab. 4.3).

La superficie artificialisée a progressé en moyenne de +1 km²/an dans le bassin versant entre 1988 et 2011, avec une brusque accélération depuis le tournant du siècle (Tab. 4.4). La période du renouveau ("Đổi Mới") - « la politique de changement et de renouveau du pays en

1986, la libéralisation économique et l'ouverture du pays entraînent la modification des types d'utilisation du sol » (Arkadie, 2003; Le, 2004; Bernier *et al.*, 2007, p.1).

Entre 2002 et 2011 les surfaces artificialisées ont continué à progresser, car c'est la période de développement économique et de développement urbain. Cette progression des surfaces artificialisées se fait principalement au détriment des espaces agricoles et des forêts (Annexe 3A3). Ceci peut être lié à la stratégie de l'expansion de la ville de Quy Nhon jusqu'à 2020, les politiques d'aménagement et de développement des industries dans cette zone selon la décision numéro 98/2004/QD - TTg, 01 juin 2004 par le Premier ministre ; la stratégie de la province de Binh Dinh jusqu'à 2020 et 2025 (14.4.2009 Le Premier ministre a rendu la décision numéro 54/2009/QĐ-TTg) ; et le Présidence du Comité populaire de la province de Binh Dinh a rendu la décision numéro 1382/QĐ-CTUBND [52] pour la stratégie du économique - sociale du district de Canh Vanh jusqu'en 2010 et orientations à l'horizon 2020.

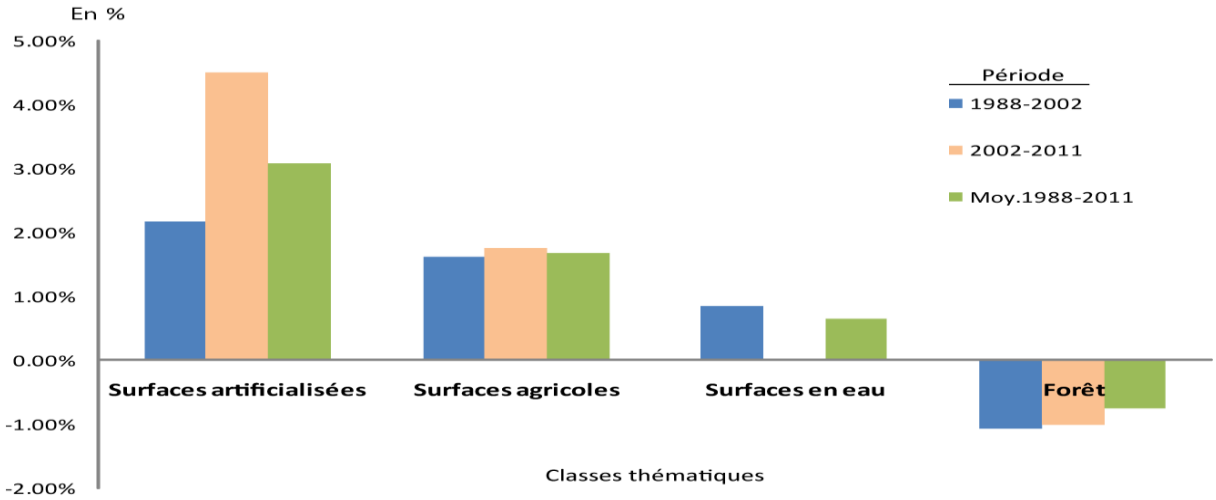


Figure 4.26. Variation des classes d'occupation du sol de 1988 à 2002, de 2002 à 2011 et de 1988 à 2011 dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2012)

- L'évolution des surfaces agricoles :

Si elles perdent du terrain face à la ville, les surfaces agricoles sont en expansion avec un rythme soutenu de défrichements forestiers. Ainsi, les surfaces agricoles ont progressé de 108,93 km^2 en 1988 (17,57 % de la surface totale du bassin versant) à 159,61 km^2 en 2011, soit une croissance totale de 6,5 % sur l'ensemble de la période (Tab. 4.3 & 4.4, Fig. 4.26). Bien que de plus en plus de rizières sont converties en des zones urbaines et industrielles en aval du bassin versant, (Annexe 3A3), d'importantes surfaces agricoles

[52] http://ubndbinhdinh.vn/thong-tin-kt-xh/quy-hoach/169-tong-the-kinh-te-xa-hoi/920-quy-hoach-tong-the-phat-trien-kinh-te-xa-hoi-huyen-van-canh-den-2010-dinh-huong-den-2020.html

ont été gagnées au détriment de la forêt à l'amont dans le district de Van Canh. Ces transformations résultent en partie de la décision 1382/QĐ-CTUBND (29 juin 2010 par le Présidence du Comité populaire de la province de Binh Dinh pour la stratégie économique et sociale du district de Van Canh jusqu'en 2010 et orientations à l'horizon 2020). En conséquence, l'amont du bassin versant du fleuve Ha Thanh a été largement défriché en faveur du développement agricole.

- L'évolution des surfaces en eau :

Les surfaces en eau ont faiblement progressé sur l'ensemble de la période étudiée, passant de 15,07 km^2 (2,43%) en 1988 à 17,50 km^2 soit de 2,82 % de la surface totale en 2011 (Tab. 4.3).

- L'évolution de forêt :

La forêt joue un rôle important qui affecte directement le ruissellement, le volume de crue, la vitesse de transfert dans un bassin versant (Cosandey *et al.,* 2004), notamment, dans la saison des pluies et lors d'un épisode cyclonique.

Le fait marquant sur la carte de l'occupation du sol en 1988 (Fig. 4.27) est l'étendue des zones de forêt. Car la forêt couvrait alors près de 474 km^2 soit de 76,46% de l'espace total. En 2002, la forêt ne couvrait déjà plus que 436,41 km^2 (70,39%). Par la suite, la superficie forestière a continué à diminuer rapidement pour ne plus recouvrir que 398,69 km^2 (64,30% du bassin versant) en 2011 (Tab. 4.3).

Le recul des surfaces boisées s'accélère depuis le tournant du siècle. On passe d'une perte annuelle moyenne de -2,96 km^2 entre 1988 et 2002 à un recul annuel moyen de -4,19 km^2 entre 2002 et 2011. Selon De Koninck (1997), la croissance de la population s'accompagne d'un peuplement de plus en plus important des districts montagneux, associé à l'expansion de l'agriculture et des surfaces artificialisées (bâti, route, etc.). Durant cette période, la forêt a reculé rapidement. Au Viêt-Nam, « la forêt tropicale humide primaire est en grand danger de disparition totale » (Roche et De Koninck, 2002).

De 1988 à 2011, la forêt a reculé de 75,34 km^2 : 0,85 km^2 au profit de surfaces en eau, 5,79 km^2 ont été convertis en surfaces artificialisées et 68,70 km^2 sont devenus des surfaces agricoles (Annexe 3A3, Tab. 4.4, Fig. 4.26 & 4.27).

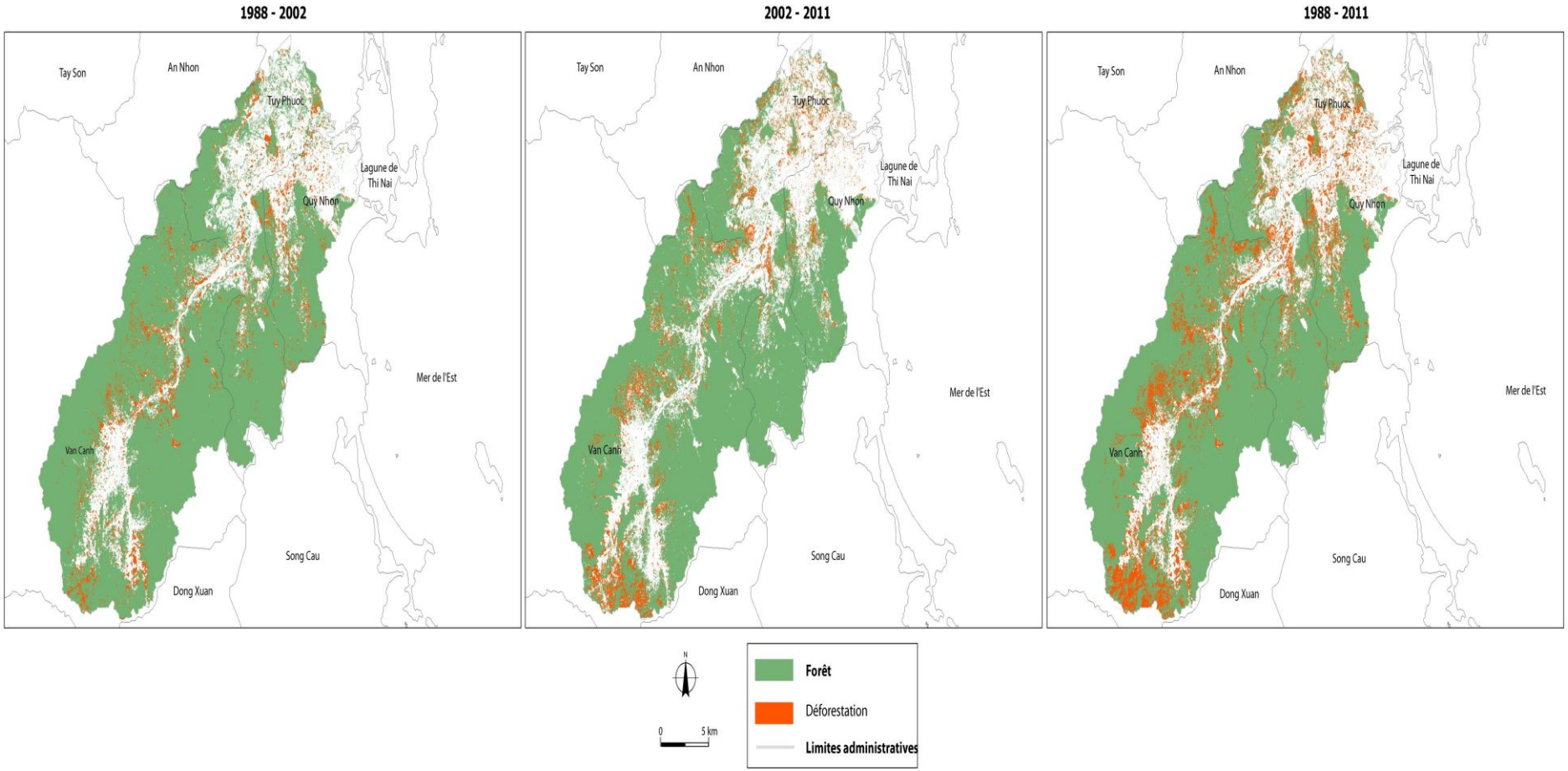


Figure 4.27. Evolution spatio-temporelle des changements de la forêt dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

(Sources des données : Landsat de 1988 et de 2002, *Google Earth*© de 2011. Réalisation : Ngo, 2012)

Causes de la déforestation dans le bassin du fleuve Ha Thanh :

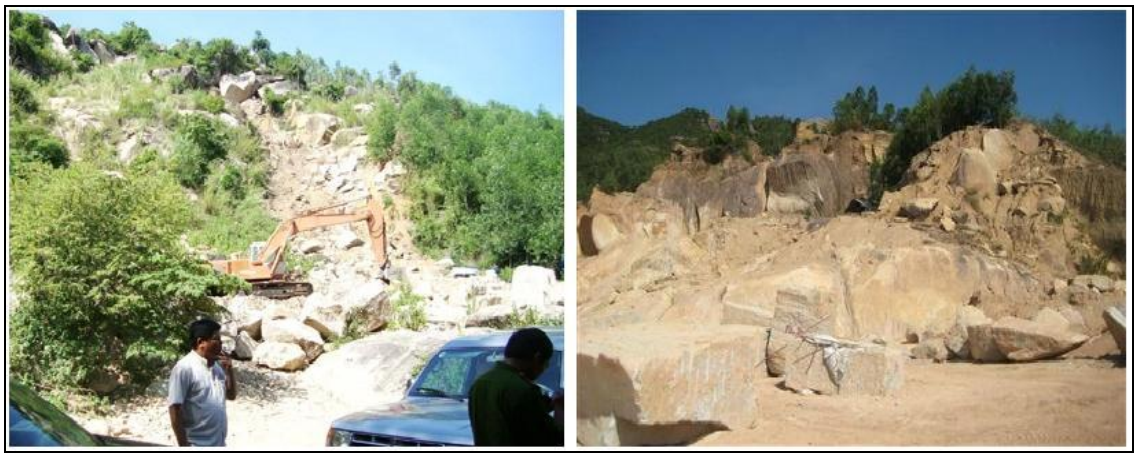
« L'élucidation des causes de la déforestation est difficile et controversée » (Duterme, 2008, p.3). Cependant, nous pouvons citer les facteurs suivants :

- l'exploitation minière :

Récemment, des habitants "thổ phỉ" ont exploité des carrières sur la colline de Honcha dans le quartier de Tran Quang Dieu (ville de Quy Nhon) (Photographie. 4.4).

- l'extraction de bois de chauffe, de bois rond industriel et écobuage :

La pratique de l'écobuage persiste sur les montagnes dans le district de Van Canh et jusqu'au périmètre de la ville de Quy Nhon elle même. 25,3 km^2 de forêt d'acacia auriculiformis ont ainsi été perdus entre 2010 et 2011 (Source : http://www.baobinhdinh.com.vn, consulté le 16 mars 2013) (Photographie. 4.5). On mentionne également le prélèvement de bois de chauffage par les populations locales (De Koninck, 1999; Castella et Erout, 2002; Meyfroidt et Lampin, 2008).



Photographie 4.4. Exploitation des carrières dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh
(Source des données: http://nhonhoi.wordpress.com/ et Ngo, 2012)

Photographie 4.5. Ecobuage sur la colline de Bahoa de la ville de Quy Nhon en 2010 (Photographie : Tran, 2010)

- l'urbanisation, développement industriel.

On observe une extension rapide des zones urbaines et industrielles dans le bassin versant, y compris dans le haut bassin au Sud-Ouest de Quy-Nhon. Des étendues importantes sont désormais classées "zones urbaines" et "zones industrielles" dans les quartiers Tran Quang Dieu et Bui Thi Xuan. Ces zones forment aujourd'hui le district urbain et industriel de Phu Tai (cf. chapitre 5).

- l'agriculture de subsistance :

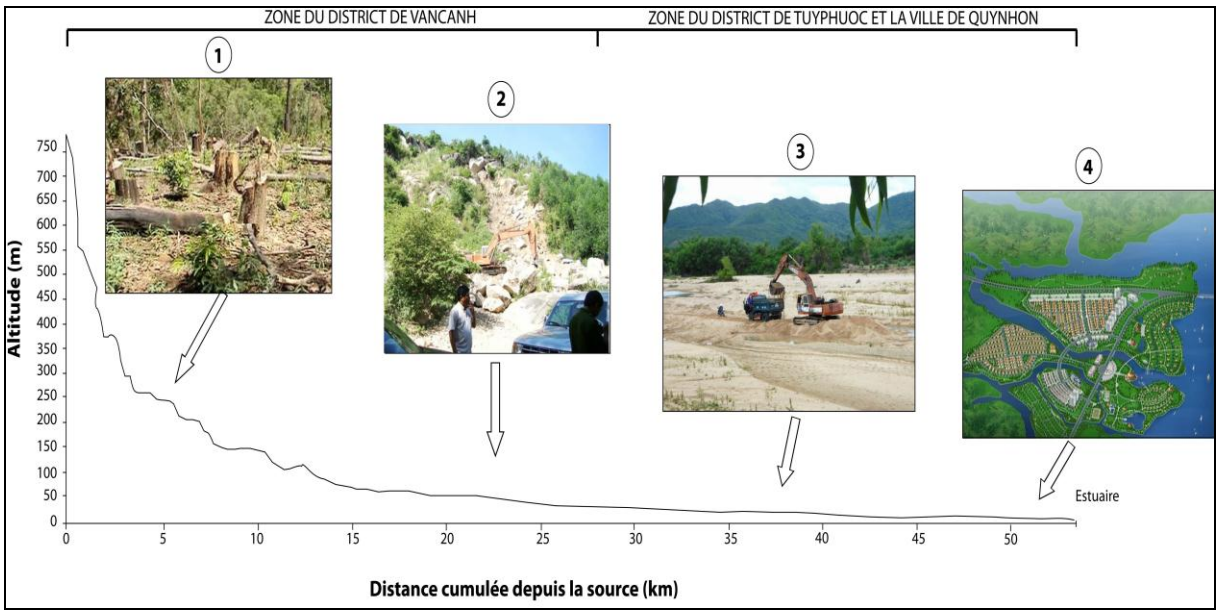
Le défrichement agricole est la cause principale de la déforestation qui affecte le Viêt-Nam en général et le bassin versant du fleuve Ha Thanh en particulier. Depuis la promulgation de la résolution n°10 [(53)] de 1988 par le Secrétaire général du Parti communiste pour la gestion de l'innovation de l'économie agricole du Viêt-Nam, la politique agricole nationale vise à entraîner à la fois l'intensification de la production des rizières et l'utilisation des hautes terres pour les plantations pérennes et le développement de l'élevage (Bui et Nguyen, 2002). Les résultats sont destinés à accroître les revenus et donc la qualité de vie des agriculteurs. En pratique, le nouveau système a renforcé le recours à la culture sur brûlis sans réussir à fournir une source alternative de revenu adéquat aux agriculteurs (Castella *et al.,* 2006).

Grâce aux trois classifications d'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh, on peut voir que presque toute la superficie qui a été perdue par la forêt a été convertie en surfaces agricoles. C'est en particulier le cas dans les villages de Canh Hoa, Canh Hiep et Canh Thuan qui sont située dans le district de Van Canh à l'amont du fleuve Ha Thanh. Le déboisement a servi à ménager du terrain pour développer les cultures vivrières (maïs, manioc,…) (Photographie. 4.6). Mais ces cultures ne protègent pas les sols qui sont désormais vulnérables à l'érosion lors des fortes pluies (Truong *et al.,* 2012).

Photographie 4.6. Cultures vivrières (pieds de maniocs) à l'amont du fleuve Ha Thanh (Photographie : Ngo, 2012)

[53] http://thuvienphapluat.vn/archive/Nghi-quyet-10-NQ-TW-1988-doi-moi-quan-ly-kinh-te-nong-nghiep-vb202545.aspx

L'étude de l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh révèle une rétraction significative des couverts forestiers depuis 1988. Les causes principales de cette évolution sont liées à la déforestation progressive des versants (meilleures essences de bois) et à l'exploitation des ressources minérales (carrières). Très localement, des zones d'extraction de sable se développent sur les surfaces agricoles afin de satisfaire les besoins en granulat pour la construction (développement urbain de Quy Nhon, infrastructures, nouveaux quartiers, etc. (Fig. 4.28). Ces résultats mettent en lumière les facteurs environnementaux d'origine anthropique qui perturbent le fonctionnement du fleuve et les continuités hydrosédimentaires. Ce sont des facteurs d'aggravation des conditions d'écoulement, notamment lors des périodes de crues : augmentation des vitesses d'écoulement dans les hauts bassins, accélération de la vitesse de l'onde de crue vers le delta, modifications du profil d'équilibre du fleuve Ha Thanh, changement de géométrie des lits fluviaux. Les modifications des variables hydrologiques et géomorphologiques sont des formes de réponse aux changements environnementaux. Si nous ne pouvons pas avancer, dans ce travail doctoral, des données précises quant au changement climatique à l'échelle du bassin du fleuve Ha Thanh, nous pouvons toutefois mettre en évidence des perturbations d'origine humaine actuelle très fortes et non négligeables. Dans un autre chapitre, nous intégrons les données actuelles disponibles pour traiter de l'impact du changement global dans la province de Binh Dinh (Luong, 2009).



1 - Déforestation à l'amont ; 2 - Exploitation des carrières sur les collines et montages ;

3 – Extraction de sable ; et 4 - Aménagement à l'aval.

Figure 4.28. Les impacts environnementaux sur le fleuve Ha Thanh (Réalisation : Ngo, 2012)

La forêt du bassin versant du fleuve est parmi les plus touchées par la déforestation. Mais, la zone la plus touchée demeure les districts de Van Canh, Tuy Phuoc et la ville de Quy Nhon, qui ont perdu 75,34 km^2 de surface boisées en moins de 20 ans.

Il ressort en premier lieu une expansion importante des surfaces artificialisées associées à une densification des zones existantes puis une expansion spatiale de ces surfaces. Il ressort en particulier une diminution significative des espaces de la forêt à l'amont du fleuve Ha Thanh. Ces processus accroissent les impacts de l'aléa hydrologique et par la même occasion la vulnérabilité face au risque hydrologique dans les plaines d'inondation situées en aval du bassin versant.

4.2. Aménagements et contraintes du lit fluvial

4.2.1. Typologie et conséquence des aménagements

La réalisation d'une base de données sous SIG, nous permet de réaliser une typologie correspondant à des digues, barrages, ponts...

Pour contrôler la dynamique du fleuve Ha Thanh, les autorités territoriales ont construit des aménagements fluviaux. Ces ouvrages ont pour fonction principale de protéger les hommes et les terres des inondations.

En 1998, le bras septentrional du delta était partiellement contraint par deux digues sur 1,9 km (une hauteur de 1,5 m à 2 m)-(Fig. 4.29). En 2010, le delta connaît une forte extension de l'endiguement avec 9 digues supplémentaires soit 7,5 km (hauteur : de 1,5 m à 3 m). Ces digues peuvent « maîtriser les dynamiques fluviales et permettre la protection contre les inondations et le développement des activités agricoles » (Crémin, 2011, p.11). En 2012, quatre nouvelles digues ont été construites dans le delta sur environ 3,8 km (Photographie. 4.7 ; Fig. 4.30).

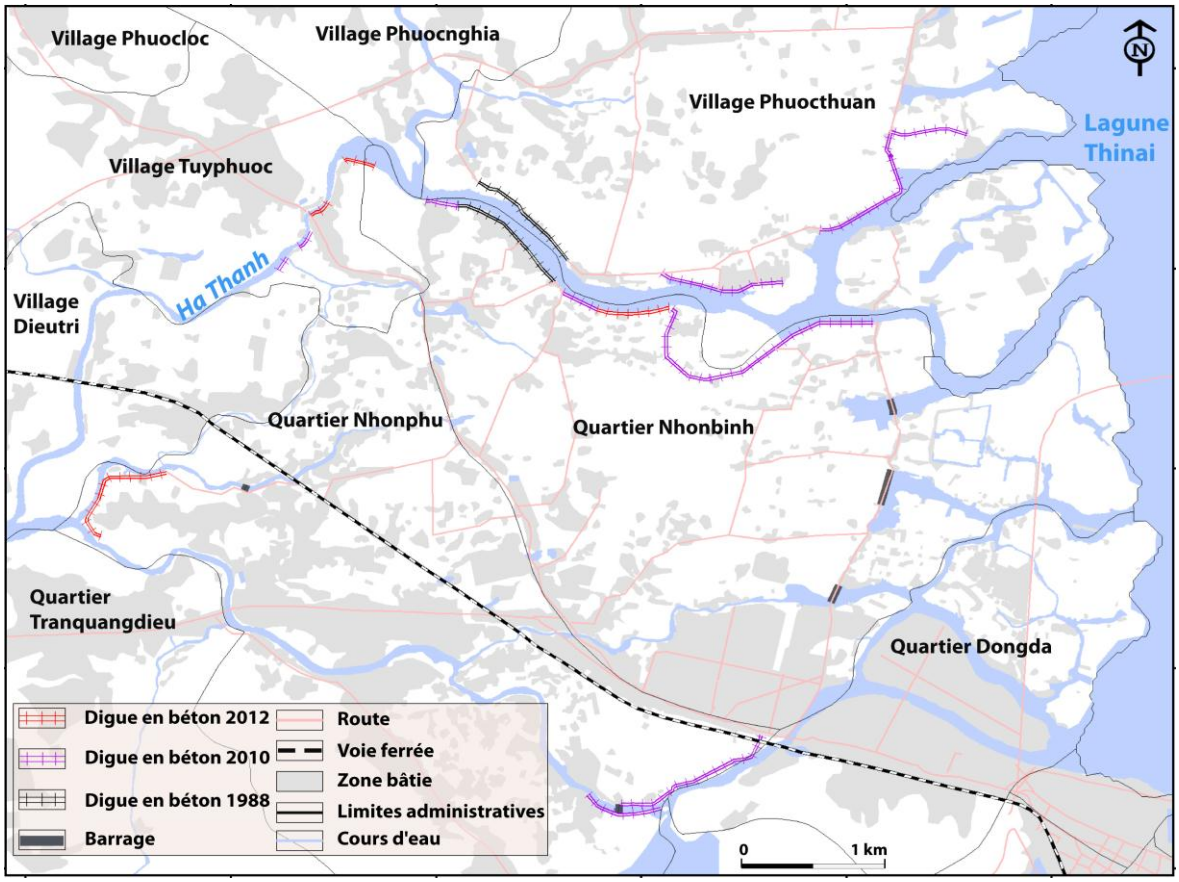


Figure 4.29. Typologie des endiguements du delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2012)

Photographie 4.7. Exemple de digues le long du fleuve Ha Thanh (Photographie : Ngo, 2012)

Les autorités et les habitants ont creusé des canaux pour l'irrigation (en béton), construit des barrages pour réguler les débits ou empêcher des intrusions d'eau de mer, et protégé des berges (Fig. 4.30).

Pour faire face à la pression du développement urbain, les autorités ont ouvert le lit majeur du fleuve à l'urbanisation (voir le chapitre 5, p. 194). Comme suite à la construction

de nouvelles voies de communication, des ponts ont été construits pour franchir les chenaux du lit majeur.

Figure 4.30. Exemple de barrage-seuil et de barrage-écluse dans le delta du fleuve Ha Thanh (Photographie : Ngo et Grivel, 2012)

a) Barrage-seuil pour réguler les débits du fleuve Ha Thanh *en période de basses eaux (en béton) ; b) Barrage-seuil pour réguler les débits du fleuve* Ha Thanh *en période de basses eaux (réalisé en bambous et sacs de sable) ; c) Barrage-écluse pour empêcher les intrusions d'eau de la lagune de Thi Nai (en béton) ; d) Pont ; e) Protection des berges (béton, roches) ; f) Zone d'urbanisation dans le lit majeur.*

- **Les conséquences de ces aménagements :**

- la modification des débits : les barrages sont normalement utilisés pour limiter les débits de crue pendant la saison d'inondation et peuvent apporter des changements au cours d'eau en trois variables : l'intensité, la durée et la fréquence des débits (Pinto Martins, 2008). De plus, les barrages peuvent « induire des modifications significatives des caractéristiques

hydrodynamiques, hydrauliques et morphologiques du chenal, à cause de changements dans les transferts d'eau et de sédiments » (Pinto Martins, 2008). Ils modifient les caractéristiques de l'écoulement du fleuve comme la profondeur de la section mouillée et les vitesses (Malavoi et Bravard, 2010).

Par ailleurs, en corsetant le fleuve, les digues induisent des changements dans les conditions d'écoulement (accélération des courants, augmentation de la pente,..) (Grivel, 2012). De plus, les digues provoquent une déconnection hydraulique entre le lit mineur et le lit majeur, ce qui peut augmenter les risques d'inondations en aval (Malavoi et Bravard, 2010).

- la modification de la morphologie du fleuve : on observe couramment l'incision du lit mineur dans les secteurs endigués. La protection des berges provoque un « blocage de la dynamique latérale qui se traduit par un appauvrissement général de la diversité morphologique du corridor fluvial » (Malavoi et Bravard, 2010, p.184). On observe enfin des changements morphologiques en aval des barrages (Arnaudet *et al.*, 2012) par rétention de la charge sédimentaire.

- les obstacles aux continuités écologiques et hydrosédimentaires : « La stabilisation des cours d'eau par endiguement provoque la simplification du cours d'eau, "réduit à un chenal aux berges abruptes" » (Source : http://www.zones-humides.eaufrance.fr, consulté le 5 juin 2013). Les barrages et digues ont un impact sur les milieux naturels du lit majeur : appauvrissement des biocénoses (des espaces animales (poissons) et végétales), modification des habitats (Malavoi et Bravard, 2010 ; Grivel, 2011; Arnaudet *et al.*, 2012). Les barrages perturbent les flux hydrosédimentaires en bloquant les sédiments à l'amont de l'ouvrage.

- la diminution des zones humides : des projets d'urbanisme dans le lit majeur du fleuve Ha Thanh peuvent causer l'assèchement des zones humides et leur disparition.

4.2.2. L'utilisation du lit du fleuve

Le fleuve Ha Thanh joue un rôle très important dans la vie des habitants du bassin. Il est utilisé pour le transport de personnes, l'alimentation en eau, l'agriculture, etc. Le fleuve Ha Thanh traverse 17 quartiers rattachés aux villages de Canh Thuan, de Canh Hien, de Canh Vinh, de Van Canh, de Canh Hoa, de Phuoc An, de Phuoc Thuan, de Phuoc My et les quartiers de Bui Thi Xuan, de Tran Quang Dieu, de Nhon Phu, de Nhon Binh et de Dong Da (Fig. 2.29 du chapitre 2, p.87). Lors du recensement en 2009, la population s'élevait à 190 796 habitants (Bureau de Binh Dinh de la Statistique, 2010). La densité de population est relativement faible (dans un contexte vietnamien) en amont (< 180 hab. /km²) mais est forte à l'aval du bassin versant, avec une densité de population de 280 à 2000 hab. /km². Les

habitants de ces villages et quartiers utilisent quotidiennement l'eau du fleuve pour leur alimentation et y pratiquent la pêche. En outre, le village de Phuoc Thuan a deux hameaux de Binh Thai et Diem Van du district de Tuy Phuoc qui sont situés sur l'île à l'aval du fleuve Ha Thanh et au sud-ouest de la lagune de Thi Nai (Fig. 4.31). Ce hameau n'a pas encore de pont pour se connecter aux autres villages ou la ville de Quy Nhon. Par conséquent, les habitants utilisent quotidiennement des barques pour le transport des personnes, des matériaux et des marchandises (Fig. 4.32).

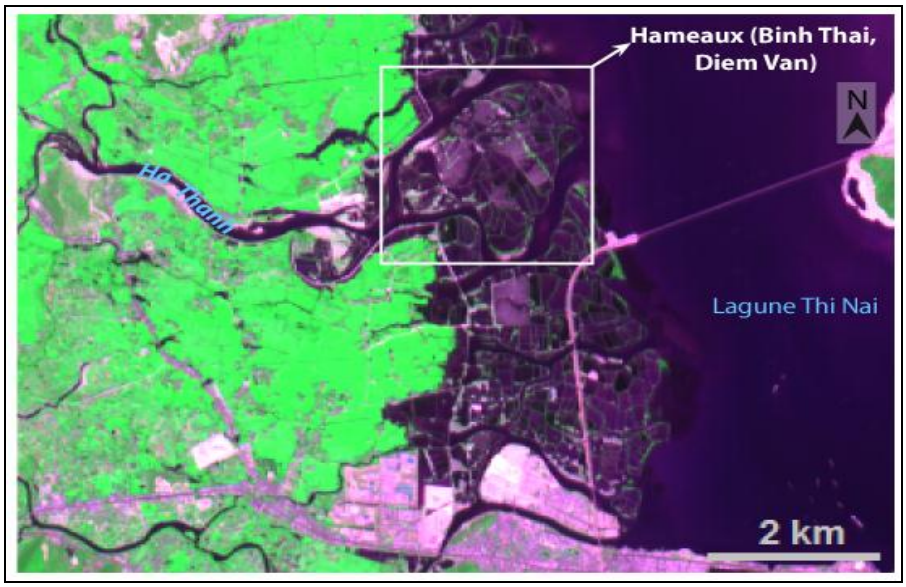


Figure 4.31. Hameau de Binh Thai du village de Phuoc Thuan du district de Tuy Phuoc (Source de donnée : SPOT 4 en 2009. Réalisation : Ngo, 2012)

Figure 4.32. Bac pour le transport des personnes dans le hameau de Diem Van (Photographie : Ngo, 2012)

En outre, les villages de Phuoc Nghia, Phuoc Loc, Phuoc Thuan et les quartiers de Nhon Binh, Nhon Phu ont comme activité principale la riziculture. Le lit du fleuve Ha Thanh a été utilisé et aménagé pour l'irrigation de cet agrosystème traditionnel.

L’utilisation du lit fluvial génère des formes d'altération des écoulements. Si les usages du lit fluvial ne sont pas raisonnables, il peut y avoir des impacts sur l'environnement, des risques d'érosion des berges, des changements du cadre des écoulements, notamment en période crue.

- L'extraction de sable du lit :

Chaque jour, on observe des centaines de camions bennes transportant les matériaux issus de l'exploitation minière illégale de sables dans le fleuve Ha Thanh (au quartier de Tran Quang Dieu, aux villages de Phuoc An, Phuoc Thanh) (source : http://vietbao.vn, consulté le 15 août 2013). Les habitants pratiquent l'exploitation illégale du sable sur le fleuve Ha Thanh (Photographie 4.8). Cela cause de graves érosions aux berges du fleuve et modifie le cadre physique des écoulements.

Photographie 4.8. Extraction de sable dans le lit mineur du fleuve Ha Thanh (Source: http://www.cand.com.vn, 2012)

Selon un agriculteur, PHAM Canh Hau, qui habite au hameau Hiep Vinh 2 du village Canh Vinh du district de Van Canh (amont du fleuve Ha Thanh), la berge a reculé de près de 15 m en à peine 10 ans. En 2002, la distance entre le fleuve Ha Thanh et son jardin était de 20 m. Mais, ces 3 dernières années, en raison de l'extraction de sable qui a provoqué le changement du lit du fleuve, les variations de débit ont principalement provoqué un recul de la berge de 15 m, et le lit moyen a été creusé de plus 2 m de profondeur (source : http://www.cand.com.vn, consulté le 03 mai 2013).

Dans la province de Binh Dinh, il existe deux types d’extraction de sable. Pour le premier type, les autorités accordent un permis d’exploitation assorti d’une date limite aux 17 entreprises privées qui opèrent sur les carrières du premier type dans la province (selon TO Tran Phong-Bureau de Ressources minérales du Département des Ressources naturelles et de l'Environnement de la province de Binh Dinh). Cette industrie du granulat délivre des chiffres précis sur les volumes ou les tonnages extraits par site et chaque année, ce qui constitue une

donnée pour la comparer à la charge solide annuelle du fleuve. Mais il existe aussi un deuxième de type d'exploitation. Des habitants extraient du sable dans le lit du fleuve sans autorisation pour construction des maisons et des commerces (Fig. 4.33).

Ces extractions non contrôlées, même si elles ne se réalisent pas l'échelle industrielle, faussent donc les données pour évaluer précisément les quantités enlevées de l'hydrosystème fluvial.

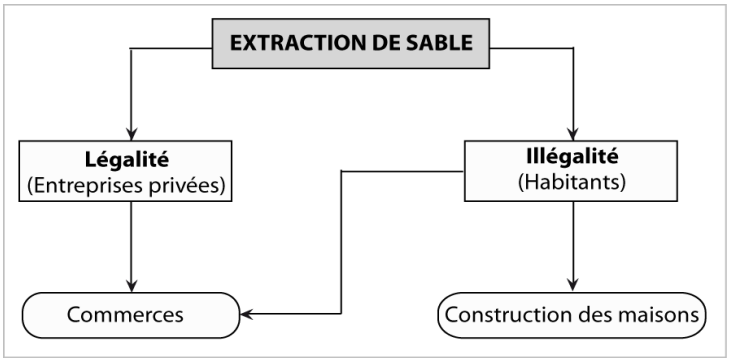


Figure 4.33. Extraction de sable dans la province de Binh Dinh (Ngo, 2013)

Extraire du sable de manière anarchique est une pratique très courante des populations du delta, en témoignent les nombreux points d'approvisionnement dans le lit moyen (Fig. 4.34).

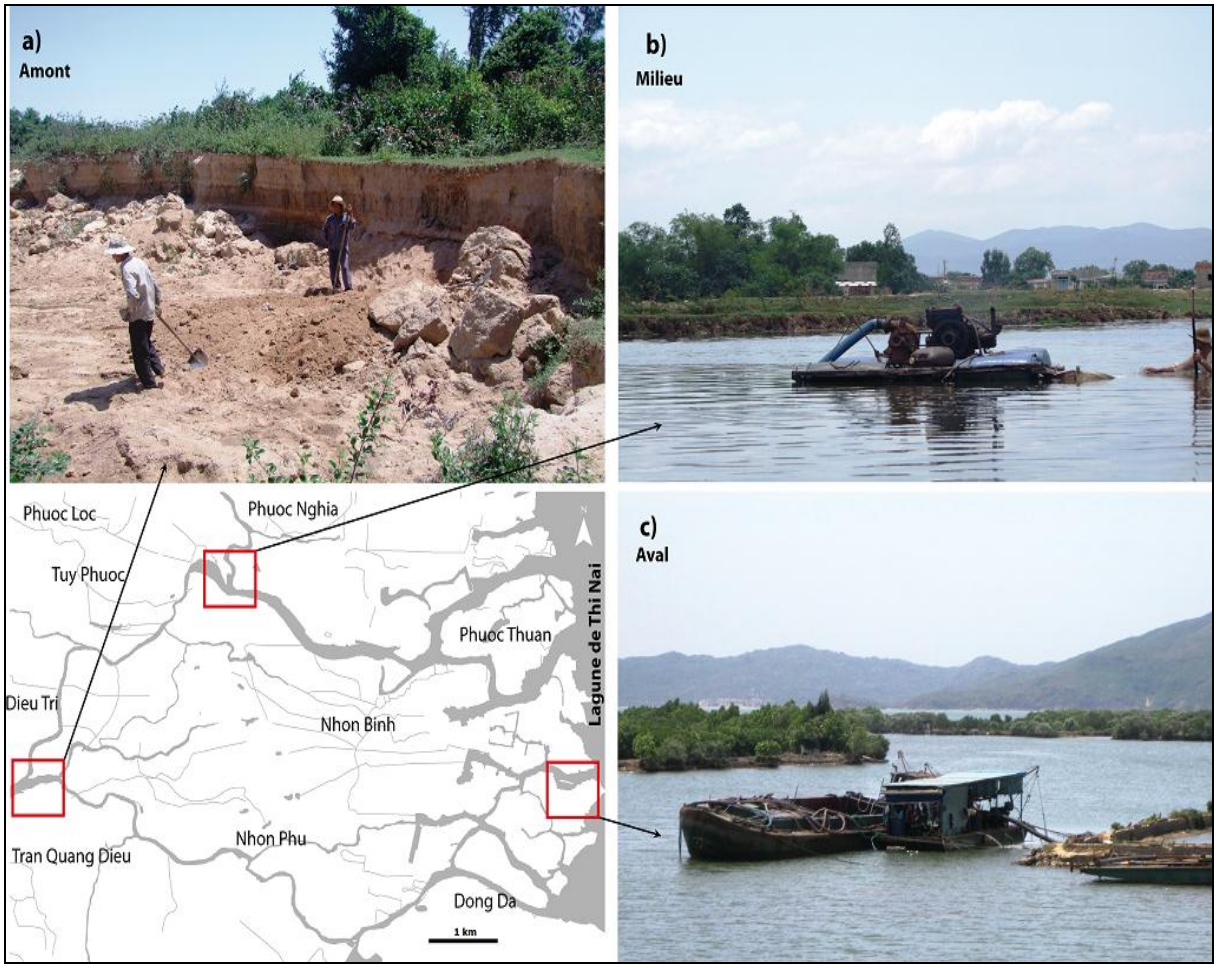


Figure 4.34. Extraction de sable dans le lit moyen du fleuve Ha Thanh (Photographie : Ngo, 2012)

Bien que, le Président de l'Assemblée nationale ait rendu la loi 60/2010/QH12 [54] du 17 novembre 2010 pour l'extraction des ressources minérales, et que les autorités ont interdit l'extraction de sable (illégalité), de très nombreuses personnes n'ont pas conscience de l'utilité de la réglementation pour protéger le lit du fleuve. Il semble ici que les autorités locales soient impuissantes pour contrecarrer l'exploitation minière illégale.

La figure 4.34 représente des exploitations de sable illégales. Au milieu du delta, le lit mineur du fleuve continue de faire l'objet d'extraction de sable par les habitants. Les exploitants utilisent des moteurs pour l'extraction de sable.

Depuis 2010, les autorités territoriales ont autorisé l'exploitation d'énormes quantités de sable dans le lit du fleuve Ha Thanh dans l'objectif de fournir les matériaux nécessaires à la construction des bâtiments du nouveau projet urbain (appelé "An Phu Thinh", voir chapitre 5).

Ces extractions de sable pourraient entraîner un déséquilibre dans le budget sédimentaire du fleuve Ha Thanh. Selon Le et al (2010), le volume des sédiments est d'environ 750 millions de m^3 par an. Les sédiments en suspension (MES) sont transférés par le fleuve Ha Thanh à la lagune de Thi Nai de l'ordre de 0,339 g/cm^2/jour durant la saison des hautes eaux et de 0,008 g/cm^2/jour durant celle des basses eaux.

Selon le rapport du Département des Ressources naturelles et de l'Environnement de la province de Binh Dinh, environ 552 500 m^3 de sable sont extraits chaque année pour toute la province (source : http://stnmt.binhdinh.gov.vn/, consulté le 15 août 2013). Par exemple pour le fleuve Ha Thanh, 4500 m^3 à 5000 m^3 de sable au hameau de Diem Van du village de Phuoc Thuan (en aval du fleuve) ont été extraits en juillet 2013 (source : http://www.baobinhdinh.com.vn, consulté le 15 août 2013) (Fig. 4.35).

L'heure n'est donc pas encore au déséquilibre complet de la charge solide dans l'hydrosystème fluvial Ha Thanh, les conséquences se font pour l'instant localement (recul de berge, enfoncement ponctuel du lit).

Ce processus anthropique est à surveiller car les réponses du fleuve à cette perturbation environnementale pourraient être plus marquées à l'avenir : réajustement du profil en long du fleuve par érosion progressive et/ou régressive, modification de la géométrie du chenal et des formes en plan.

[54] http://www.moj.gov.vn/vbpq/Lists/Vn%20bn%20php%20lut/View_Detail.aspx?ItemID=26489

Figure 4.35. Exemple d'extraction de sable au hameau de Diem Van du village de Phuoc Thuan en aval du fleuve Ha Thanh en 2013 (Source de donnée : http://www.baobinhdinh.com.vn, 2013. Réalisation : Ngo, 2013)

- l'exploitation des granulats menace la mangrove :

Depuis les deux décennies dernières, au Viêt-Nam, plus de 200 km^2 de mangrove ont été défrichés pour la crevetticulture (Luong, 2009). « Avec la crevetticulture, l'Asie est le premier producteur car près des 3/4 des crevettes d'élevage sur le marché mondial proviendraient de Chine, de Thaïlande, du Viêt-Nam, etc. » (Tran, 2009, p.12). Malgré cela, cette activité est lourde de conséquences en Viêt-Nam (Tran *et al.*, 2005; Luong, 2009; Tran, 2009).

Dans le delta du fleuve Ha Thanh, la mangrove a aussi été enlevée pour la crevetticulture (exemple: Litopenaeus vannamei-*Tôm thẻ chân trắng* en viêt-namien) et la pisciculture (exemple: Siganidae ou *Cá Dìa* en viêt-namien) (Tran *et al.*, 2005), ainsi que l'exploitation du bois. Cette pression a été renforcée par la pression urbaine depuis la fin des années 2000.

Grâce au SIG avec les images satellitales (Landsat de 1988 et Google Earth de 2011), nous pouvons estimer à -1,6 % le rythme annuel de disparition de la mangrove entre 1988-2011 (Tab. 4.5).

Tableau 4.5. Evolution annuelle moyenne de la surface de mangrove dans le delta du fleuve Ha Thanh

	Superficielle (km^2)		**Evolution des surfaces (%.an)**
	En 1988	**En 2011**	
Mangrove	0,43	0,30	-1,6

Ces différents usages du lit fluvial apportent de nouveaux problèmes, comme l'érosion des berges, la perturbation de la charge solide, les changements d'écoulement des eaux en période de crue, les changements d'écosystèmes dans le delta, et l'augmentation en particulier du risque d'inondation. De surcroît, parmi les impacts des usages du lit, il existe des problèmes de pollution par les métaux lourds (Fe, Cu, Pb, etc.) (Annexe 4). Les autorités territoriales ne disposent pas encore de mesures efficaces pour prévenir ces effets. Si les

processus de perturbations environnementales sont déjà engagés, les réponses de l'hydrosystème fluvial ne sont pas encore visibles ou mesurables. L'évaluation environnementale de ce travail doctoral se pose donc comme le moyen d'identifier les perturbations en cours et les éléments d'anticipation à mener pour y faire face.

* * * *

A travers ce chapitre 4, nous avons donc présenté les variables-clés pour la caractérisation physique du lit fluvial du fleuve Ha Thanh. Cela nous apporte une vue d'ensemble sur les conditions d'écoulement dans le bassin versant ainsi que sur les perturbations anthropiques du lit fluvial. Le bassin du fleuve Ha Thanh présente un cadre des conditions d'écoulement très diversifié dont le delta constitue une vaste terminaison. Ce delta est aussi le lieu de la densification de la population. La vulnérabilité sociale des populations y vivant peut être corrélée au degré de vulnérabilité "naturelle" du delta. En effet, le bassin présente des caractéristiques physiques propices à la propagation rapide des flux liquides entre les hauts bassins et le delta où se concentrent à la fois l'essentielle de la population et les enjeux économiques de la province. L'écosystème de la mangrove semble également fragilisé par les usages dans le lit fluvial et les projets régionaux d'extension urbaine. Pour mieux appréhender ces menaces le chapitre suivant se focalise sur le développement de la ville de Quy Nhon.

Chapitre 5 – Développement de la ville de Quy Nhon

La ville de Quy Nhon s'est développée à partir du XII^{ème} siècle. Elle est apparue comme un petit pôle commercial animant son espace régional, et elle est restée une petite ville jusqu'au début du XX^{ème} siècle. C'est aujourd'hui l'une des villes moyennes les plus importantes du Viêt-Nam. Le projet de développement urbain de la ville de Quy Nhon affiche ses ambitions en matière de développement durable depuis le début des années 2000. Néanmoins, il n'est pas parfait dans ce sens : l'urbanisation affecte des terres agricoles, provoque la dégradation des mangroves et réduit les terrains disponibles pour l'aquaculture dans les nouveaux quartiers où la ville se développe en zone inondable. Bientôt, cette ville devra faire face à plusieurs problèmes, au premier rang desquels viennent le risque d'inondation et la dégradation de l'environnement fluvial. Précédemment dans le chapitre 2, nous avons présenté brièvement le développement de la ville de Quy Nhon. Dans le chapitre 5, nous présentons les rythmes d'évolution de la ville depuis 1976 jusqu'à aujourd'hui, la planification ainsi que les projets de développement de la ville de Quy Nhon. Suivant la tradition chinoise, la ville fait l'objet d'une définition administrative au Viêt-Nam. C'est pourquoi l'histoire de la croissance urbaine de Quy Nhon peut se résumer en une succession de décisions administratives qui régissent tantôt l'élargissement de son ressort territorial, tantôt la réorganisation de ses subdivisions territoriales en quartiers et villages. Bien que régies par des considérations avant tout politiques, ces décisions accompagnent et favorisent l'expansion urbaine. Par contre, l'information relative au peuplement est attachée à la subdivision administrative en quartiers et villages. Ces entités sont relativement étendues, et l'information relative au peuplement manque de précision géographique, en particulier pour l'évaluation de l'exposition aux risques d'inondation.

5.1. Rythmes d'évolution de la ville

5.1.1. Situation avant 1975

Avant le XII^{e} siècle, les Cham vivaient principalement à Quy Nhon (Do, 2005). En 1602, le Seigneur Nguyen Hoang ou le Seigneur Tien (1525-1613), dignitaire de la famille des Nguyễn, a renommé le "Phủ" (petite ville) d'Hoai Nhon en "Phủ" de Quy Nhon. Quy Nhon est une unité administrative de "Phủ". Quy Nhon est le centre économique et politique de la province de Binh Dinh (Do, 2005; http://www.quynhon.gov.vn, consulté le 18 mai 2013).

En 1651, le Seigneur Nguyen Phuc Tan (1620 – 1687), 4^{e} souverain de la dynastie des Nguyễn au Việt Nam (1648-1687) a décidé de changer le nom de Quy Nhon en Quy Ninh. En

1742, le Seigneur Nguyen Phuc Khoat (1714–1765), 8e souverain de la dynastie des Nguyễn au Việt Nam (1738-1765) a repris l'ancien nom de Quy Nhon (Source : http://www.baobinhdinh.com.vn, consulté le 19 mai 2013). Grâce au port naturel offert par la rade abritée de la lagune de Thi Nai (Fig. 5.1), Quy Nhon est devenu un centre économique en relation avec les pays étrangers contemporains de cette époque. Elle est alors l'une des villes les plus animées du Centre-sud du Viêt-Nam.

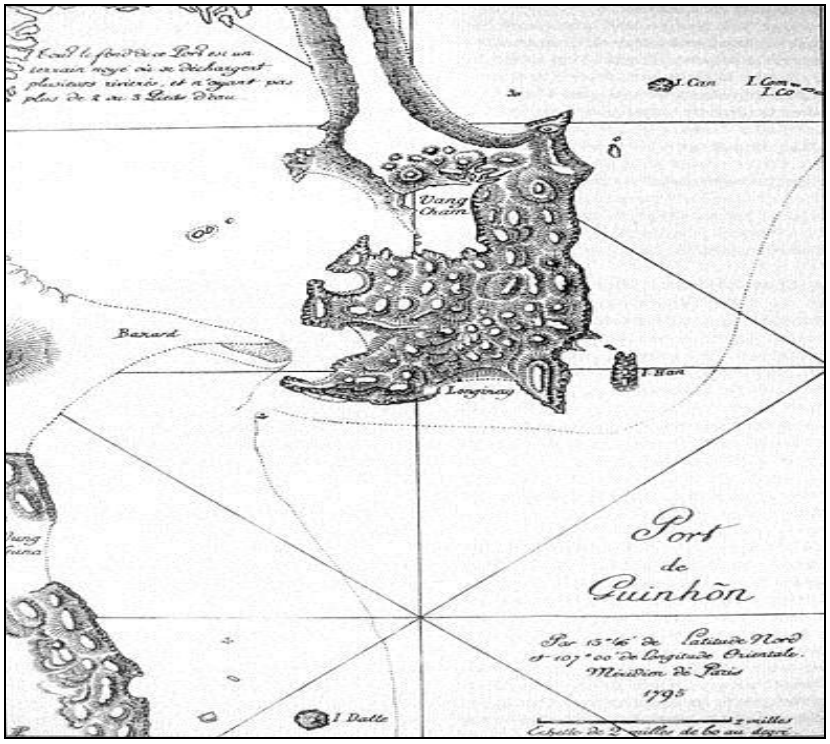


Figure 5.1. Port de Quy Nhon en 1795 (Cartographie de Jean-Marie Dayot, 1795)

À la fin du XIXème siècle, alors que l'administration coloniale française est mise en place à partir de 1858, Quy Nhon continue d'être le centre économique, politique et culturel de la province de Binh Dinh. Le 20 octobre 1898, Quy Nhon est promue au rang de ville par l'empereur Thanh Thai (Do et Nguyen, 1998).

Le 14 mars 1930, le Gouverneur général de l'Indochine, Paul Doumer, a approuvé le périmètre du teritoire de Quy Nhon, composé de deux villages (Chanh Thanh et Cam Thuong) et du district de Tuy Phuoc dans la province de Binh Dinh. La ville s'étend alors sur une superficie totale de 7 km^2. Le 30 avril 1930, le Gouverneur général de l'Indochine, Pasquier, a pris un décret permettant d'élargir de la ville de Quy Nhon. Quy Nhon a été divisée en 5 quartiers : les quartiers 1 et 2 se situent dans le village de Chanh Thanh ; les quartiers 3 et 4 se trouvent dans le village de Cam Thuong ; et le quartier 5 s'étend à l'ouest du village Hung Thanh dans le district de Tuy Phuoc (Do et Nguyen, 1998). Les habitants se concentrent sur la

pointe sableuse qui ferme les passes entre le port de Quy Nhon et la lagune de Thi Nai à l'est de la ville. Le territoire qui s'étend au sud de la ville de Quy Nhon est principalement constitué par des marais maritimes (Fig. 5.2). A cette époque, de nombreux bâtiments et villas ont été construits par des architectes français dans le centre-ville de Quy Nhon. Peu de ces villas ont survécu aujourd'hui à cause de la guerre qui a touché la ville de Quy Nhon.

Figure 5.2. La ville de Quy Nhon en 1930 (Photographie : Gaide, 1930)

Le 18 avril 1961, le président de la République du Viêt-Nam, Ngo Dinh Diem (1901-1963) dans le décret 261 BVN/NC8/ND, rattache la ville de Quy Nhon au district de Tuy Phuoc de la province Binh Dinh (Doan, 1966). Le territoire de Quy Nhon a été complété par trois hameaux :

- Xuan Van du village de Phuoc Tan ;
- Xuan Quang du village de Phuoc Hau du district de Tuy Phuoc ;
- Hung Thanh du village de Phuoc Hau du district de Tuy Phuoc.

Quy Nhon compte 91 007 habitants à cette période (Doan, 1966).

Pendant la guerre du Viêt-Nam (1954-1975), la ville de Quy Nhon joue toujours le rôle de chef-lieu de la province de Binh Dinh. L'armée américaine stationne d'ailleurs principalement dans la ville et crée, au sud, un aéroport militaire (Fig. 5.3).

Figure 5.3. La ville de Quy Nhon vue en 1967 (Photographie : Robert, S., 1967)

5.1.2. Evolution 1975-2000

Après la guerre du Viêt-Nam, les deux provinces de Binh Dinh et de Quang Ngai sont fusionnées en une seule appelée Nghia-Binh, dont Quy Nhon est le chef-lieu. La ville de Quy Nhon compte désormais 8 quartiers (Dong Da, Hai Cang, Le Hong Phong, Le Loi, Ngo May, Quang Trung, Tran Hung Dao et Tran Phu) et 4 villages (Nhon Binh, Nhon Chau, Nhon Hai et Nhon Ly). Son territoire couvre environ 148,5 km^2, sa population compte 142 752 personnes et sa densité est de 961 hab./km^2 (Tab. 5.1).

Le 3 juillet 1986, le Conseil des ministres du Viêt-Nam a rendu l'arrêté numéro 81-HDBT [(55)] pour l'extension de la ville de Quy Nhon. Le village de Phuoc Thanh du district de Tuy Phuoc a été ajouté à la ville de Quy Nhon. Par conséquent le village a changé de nom : Nhon Thanh. Nhon Thanh se situe à l'ouest de la ville de Quy Nhon.

La ville de Quy Nhon s'étend aussi vers le nord-est, absorbant un nouveau village appelé Nhon Hoi établi sur le cordon littotal qui sépare la lagune de Thi Nai de la mer de l'Est. L'expansion du ressort urbain se fait aussi en direction du nord-ouest. C'est alors que la ville s'étend sur le delta du fleuve Ha Thanh en englobant le nouveau village de Nhon Phu. A cette époque, la ville de Quy Nhon compte environ 174 076 habitants. La ville est divisée en huit quartiers (Dong Da, Hai Cang, Le Hong Phong, Le Loi, Ngo May, Quang Trung, Tran Hung Dao et Tran Phu) et sept villages dont trois nouveaux (anciens villages : Nhon Binh, Nhon Chau, Nhon Hai, Nhon Ly ; nouveaux villages : Nhon Hoi, Nhon Phu et Nhon Thanh). Quy

[55] http://thuvienphapluat.vn/archive/Quyet-dinh/Quyet-dinh-81-HDBTmo-rong-doi-ten-thi-xa-Quy-Nhon-thanh-thanh-pho-Quy-Nhon-tinh-Nghia-Binh-vb37124t17.aspx

Nhon couvre alors une superficie de 212 km^2 (Nguyen, D.Q., 1998). Dans la période 1976-1986, la superficie de la ville s'est accrue de 43 % (Tab. 5.1). C'est à partir de 1986 que la réforme économique du Viêt Nam a autorisé l'ouverture de l'économie de marché, accélérant le développement urbain du pays. A cette époque, la ville de Quy Nhon a également bénéficié de cette réforme. Quy Nhon est d'abord devenue le centre de la construction et du développement socio-économique de la région du Centre-Sud et des Hauts-Plateaux.

Le 4 mars 1989, le Politburo du Viêt-Nam a arrêté la décision numéro 83-QĐ/TW pour scinder à nouveau la province de Nghia-Binh en deux provinces : Binh Dinh et Quang Ngai, la ville de Quy Nhon restant le chef-lieu de la province de Binh Dinh. Le village de Nhon Thach a été morcelé en deux nouveaux quartiers : Bui Thi Xuan et Tran Quang Dieu (Do, B., 2005).

La ville de Quy Nhon a désormais une superficie de 204,3 km^2, soit une réduction limitée de superficie de -3,6 %.an (Tab. 5.1) dans la période 1986-1989 ; la population a augmenté pour atteindre 202 230 habitants. Il n'y a pas eu de révision du périmètre urbain, dont la densité moyenne de peuplement s'établit à 989 hab./km^2 (Tab. 5.1). La ville est composée des 8 anciens quartiers (Dong Da, Hai Cang, Le Hong Phong, Le Loi, Ngo May, Quang Trung, Tran Hung Dao, Tran Phu), de deux nouveaux quartiers (Bui Thi Xuan et Tran Quang Dieu) et de 6 villages (Nhon Binh, Nhon Chau, Nhon Hai, Nhon Hoi, Nhon Ly et Nhon Phu).

Le 26 décembre 1997, le Premier ministre du gouvernement du Viêt-Nam a rendu l'arrêté numéro 118/1997/NĐ-CP [(56)] qui réorganise les divisions administratives de la ville de Quy Nhon. Celle-ci comprend désormais six nouveaux quartiers :

- Quang Trung (33,92 km^2) a été divisé en 3 sous quartiers : Genh Rang (24,77 km^2, situé au sud de la ville de Quy Nhon); Nguyen Van Cu (1,40 km^2), situé au sud-est de la ville de Quy Nhon, et Quang Trung, du même nom (7,75 km^2), situé au sud-ouest de la ville de Quy Nhon (Fig. 5.4);

- Nhon Binh (14,68 km^2), ce quartier est créé au nord de la ville de Quy Nhon à partir de village de Nhon Binh (Fig. 5.4);

- Nhon Phu (13,19 km^2), situé au nord de la ville de Quy Nhon, ce quartier est créé à partir du village de Nhon Phu (Fig. 5.4);

[56] http://thuvienphapluat.vn/archive/Nghi-dinh/Nghi-dinh-118-1997-ND-CP-chia-tach-thanh-lap-mot-so-phuong-thi-tran-thuoc-thanh-pho-Quy-Nhon-cac-huyen-An-Nhon-va-Hoai-Nhon-tinh-Binh-Dinh-vb41272t11.aspx

- Ly Thuong Kiet (0,643 km^2), situé au centre de la ville de Quy Nhon, ce quartier est constitué à partir de plusieurs quartiers préexistants : 0,22 km^2 du quartier de Ngo May, 0,21 km^2 du quartier de Le Hong Phong et 0,213 km^2 du quartier de Tran Phu (Fig. 5.4);

- Thi Nai (1,869 km^2), situé au nord-est de la ville de Quy Nhon. Ce quartier s'est organisé à partir de deux anciens quartiers : 1,762 km^2 du quartier de Dong Da et 0,143 km^2 du quartier de Tran Hung Dao (Fig. 5.4).

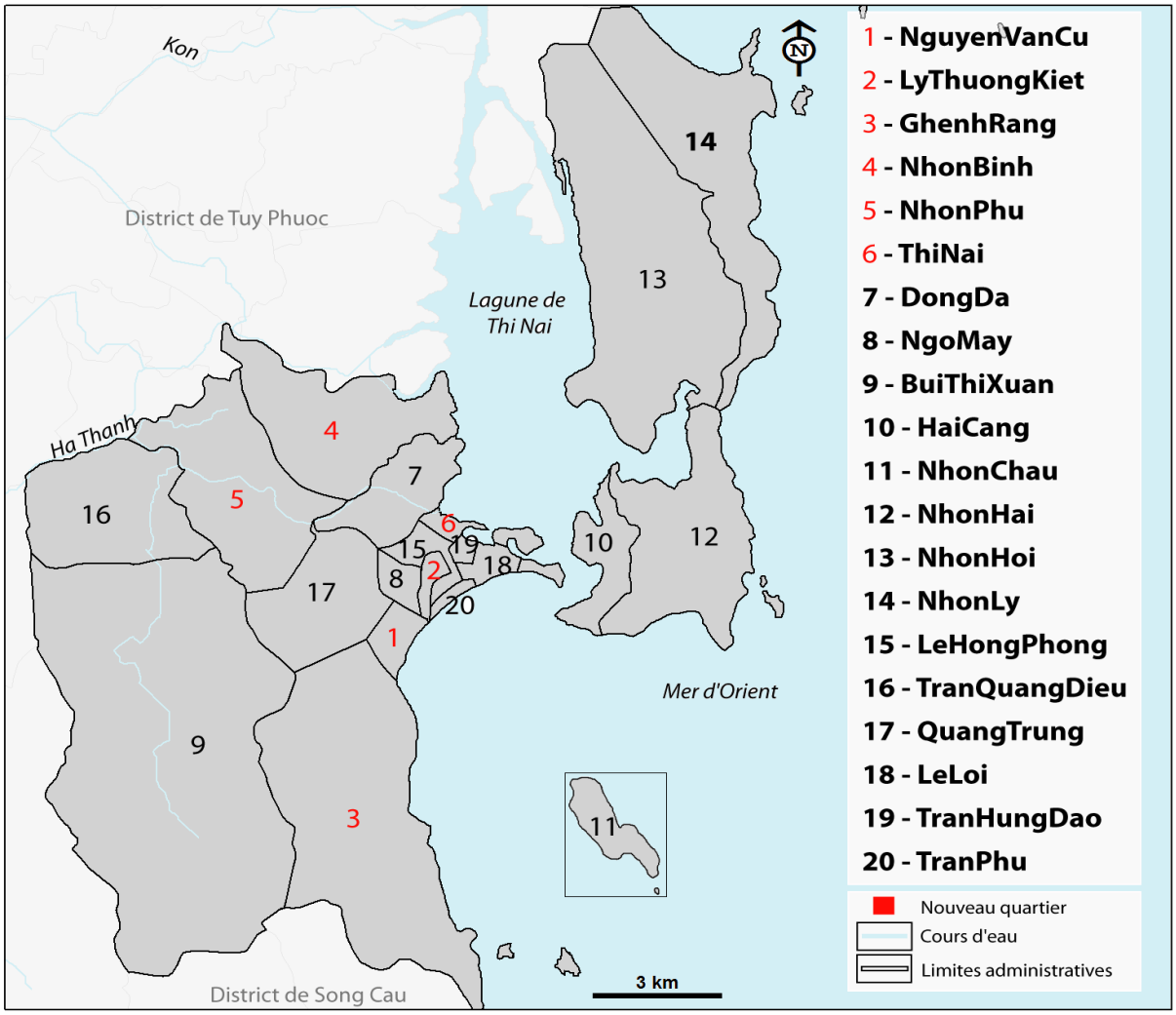


Figure 5.4. Division et établissement des quartiers de la ville de Quy Nhon en 1997 (Réalisation : Ngo, 2013)

Le 4 juillet 1998, par la décision 558/1998/QD-TTg [(57)], le Premier Ministre reconnaît la ville de Quy Nhon comme un centre de rang 2 (Fig. 5.5). A cette époque, la qualification urbaine du Viêt-Nam est réalisée selon la Circulaire pour la classification et la décentralisation de gestion urbaine 31/TTLT-20/11/1990 [(58)] du Ministère de la Construction.

[57] http://thuvienphapluat.vn/archive/Quyet-dinh/Quyet-dinh-558-QD-TTg-cong-nhan-thanh-pho-Quy-Nhon-la-do-thi-loai-II-vb17226t17.aspx

[58] http://thuvienphapluat.vn/archive/Thong-tu-lien-tich/Thong-tu-lien-bo-31-TTLT-phan-loai-do-thi-phan-cap-quan-ly-do-thi-huong-dan-Quyet-dinh-132-HDBT-vb44105t24.aspx

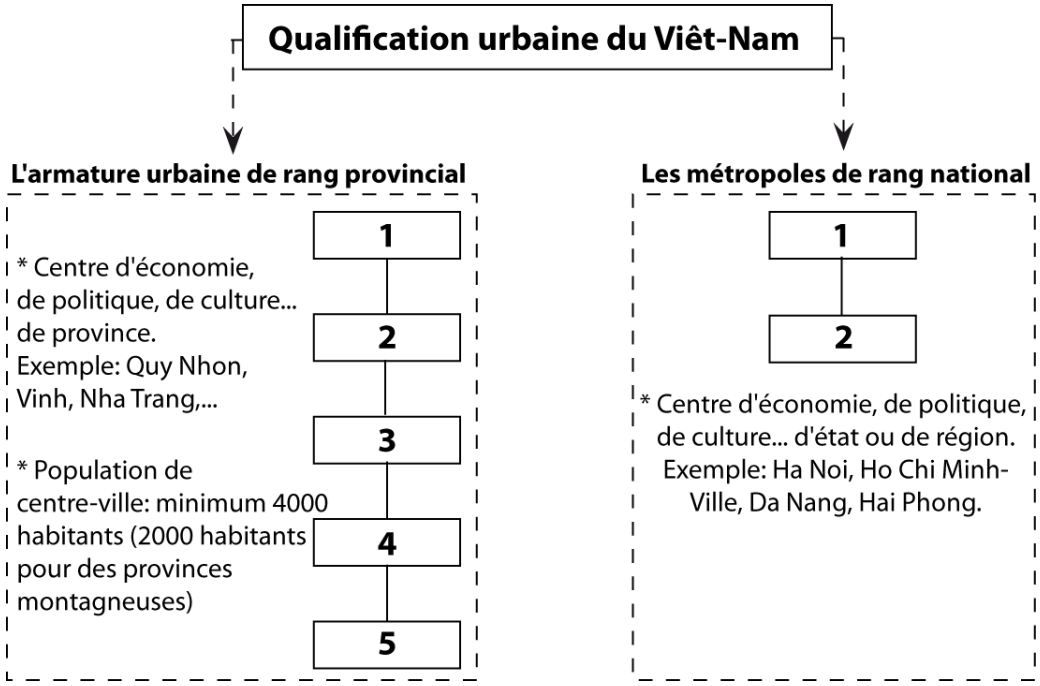


Figure 5.5. Qualification urbaine du Viêt-Nam selon la Circulaire conjointe 31/TTLT du 20/11/1990

(Source de donnée : http://thuvienphapluat.vn. Réalisation : Ngo, 2013)

Dans ce temps, la ville de Quy Nhon est composée de 16 quartiers et 4 villages (Fig 5.6), sa superficie est de 216,4 km^2 et sa population compte 218 302 habitants (Tab. 5.1). Durant la période 1989-1998, la géographie administrative de la ville est caractérisée par une stabilité territoriale relative (Tab. 5.1).

- **L'évolution démographique sur la période 1976 –1999 :**

Nous avons pu récupérer des données démographiques par quartier de la ville de Quy Nhon grâce à la collaboration avec le Bureau de la Statistique de Quy Nhon. Ainsi, en 1999, la ville connaît une extension de 16 quartiers et de 4 villages, soit environ 240 293 habitants pour une superficie de 216,450 km^2. L'évolution démographique est forte dans la période 1976-1999 avec un taux de croissance annuel de +2,3 % (Tab. 5.2).

Nous pouvons observer une tendance à l'étalement urbain puisque plusieurs quartiers centraux de la ville de Quy Nhon enregistrent une diminution de leur population au profit des quartiers périphériques (Fig. 5.6).

- En périphérie, le quartier de Nhon Binh voit aussi sa population diminuer. Ce quartier semi-rural est constitué de nombreuses rizières, de parcs aquacoles et de petites industries textiles. En réalité, Nhon Binh se situe dans une zone inondable dont il sera question dans le prochain chapitre.

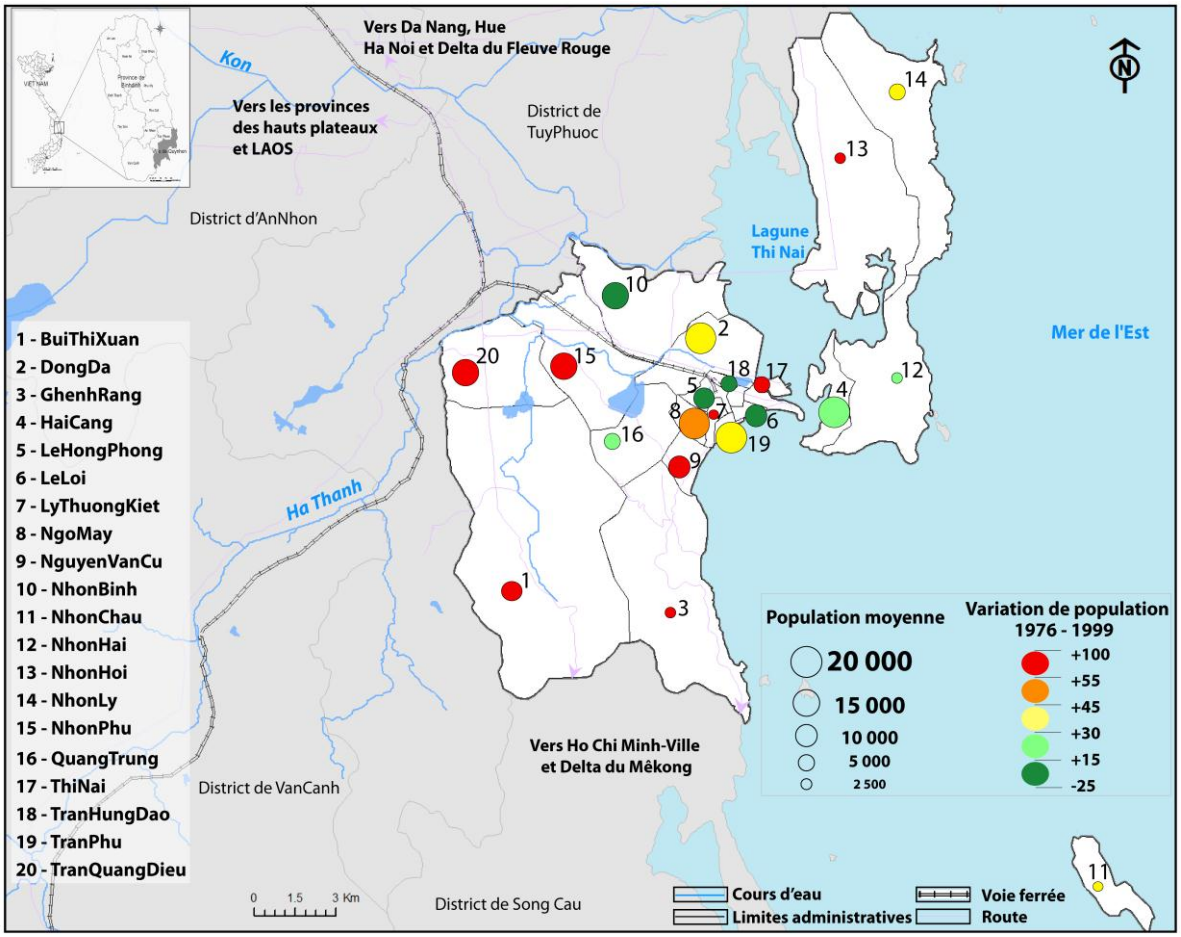


Figure 5.6. Population et variation de population des quartiers de la ville de Quy Nhon (1976-1999)
(Source des données: Bureau de Quy Nhon de la statistique, 1976 et 1999. Réalisation : Ngo, 2013)

- Dans le centre ville, les quartiers Le Loi, Tran Hung Dao et Le Hong Phong perdent des habitants (Fig. 5.6). Ces quartiers entièrement urbanisés n'ont pas augmenté leur parc de logement. De plus, le quartier de Le Loi se situe près de plages touristiques. Ce quartier a donc connu un développement des offres d'hébergement à vocation touristique (hôtels) aux dépens des habitations.

Durant la même période, les autres quartiers de Quy Nhon ont connu une forte croissance démographique. Les quartiers de Tran Quang Dieu, Bui Thi Xuan et Nguyen Van Cu ont connu une extension en 1989, ces quartiers se sont formés autour de la création des zones industrielles. Le quartier de Nguyen Van Cu a également connu une augmentation importante grâce à la présence de l'université de Quy Nhon.

5.1.3. Evolution 1999-2013

Depuis 1999, la ville de Quy Nhon fait partie avec Da Nang et Khanh Hoa de l'axe économique régional du Centre-sud du Viêt-Nam. Grâce à une situation géographique favorable (Fig. 5.7), la ville de Quy Nhon a connu un développement diversifié : port

maritime, industrie, tourisme, etc. En 2004, le Premier ministre du Viêt-Nam et les autorités de la province de Binh Dinh ont proposé un projet d'aménagement et de développement de la ville de Quy Nhon à l'horizon 2020. Nous le présenterons en détails dans le prochain chapitre.

Tableau 5.1. Evolution de la population et extension de la ville de Quy Nhon (1976-2009)

Année	Ville de Quy Nhon			
	Population	Superficie (km^2)	Densité de population moyenne ($hab./km^2$)	Evolution de la superficie (%)
1976	142 752	148,5	961	***
1986	174 076	212,0	821	43
1989	202 230	204,3	990	-3,6
1998	218 302	216,4	1009	6
2004	255 119	216,4	1179	0
2009	280 942	285,5	984	32

(Source : Bureau de Quy Nhon de la statistique en 1976, 1986, 1989, 1998, 2004 et 2009)

Après la période 1988-2004, pendant laquelle la délimitation administrative de la ville de Quy Nhon n'a pas changé, la période 2004-2009 est marquée par de nouveaux agrandissements territoriaux (Tab. 5.1). En 2009, le village de Phuoc My du district de Tuy Phuoc a été annexé à la ville de Quy Nhon. Ce village couvre 68,2 km^2 et se situe à l'ouest de la ville (Fig. 5.9). Il s'ajoute aux 16 quartiers et 5 villages préexistants (Fig. 5.9). Désormais, la ville a une superficie d'environ 285 km^2 et une population de 280 942 habitants (Tab. 5.1).

Figure 5.7. Emprise au sol du centre urbain de la ville de Quy Nhon en 2012

(Source : http://www.skyscrapercity.com, consulté le 19 mai 2013)

La ville de Quy Nhon joue un rôle géopolitique, économique et culturel important au Centre-sud du Viêt-Nam. Par conséquent, le 25 janvier 2010, le Premier ministre a pris la décision numéro 159/QĐ-TTg [59], qui élèvera la ville de Quy Nhon au premier rang des villes de la province (Fig. 5.8) selon la qualification urbaine du Viêt-Nam en vertu du décret 42/2009/NĐ-CP [60] du 7 mai 2009 pris par le Premier ministre pour arrêter la classification urbaine du pays. L'extension urbaine se développe principalement au nord, nord-est et sud-ouest de la ville de Quy Nhon (Fig. 5.7).

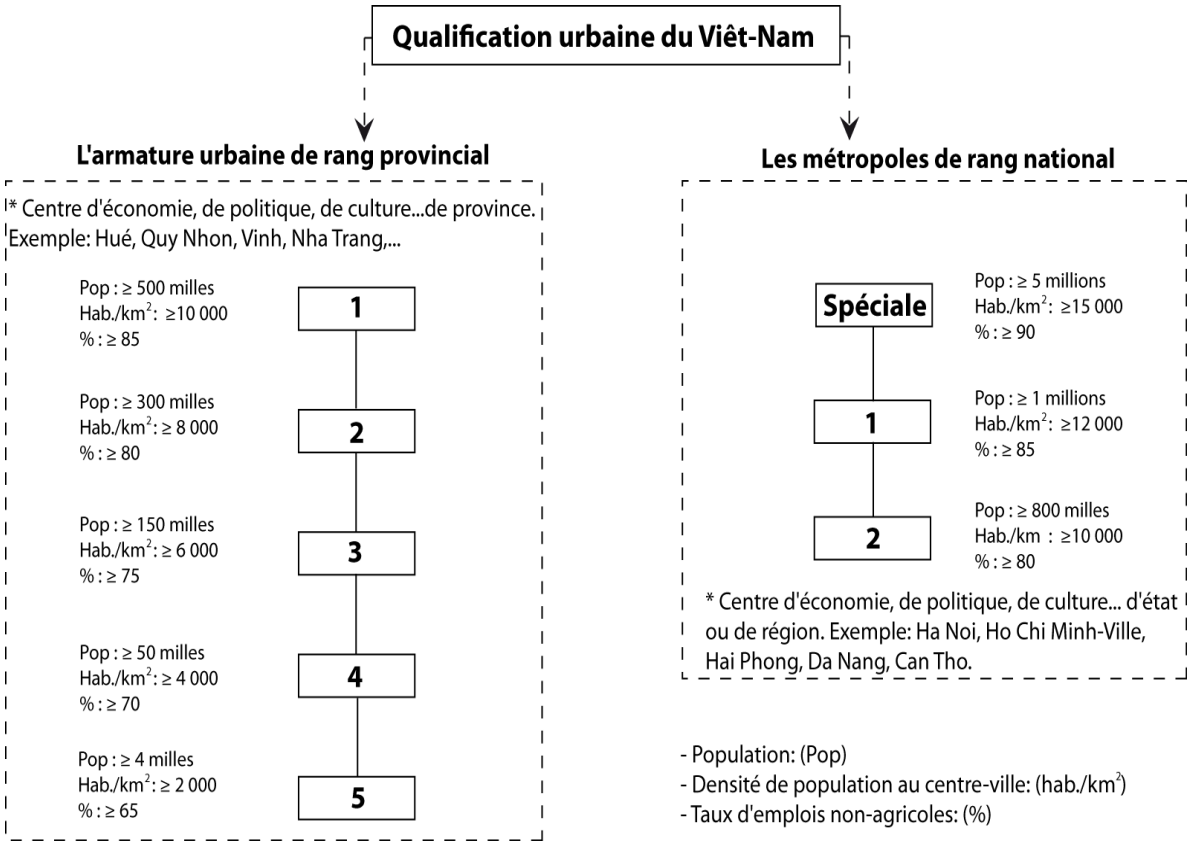


Figure 5.8. Qualification urbaine du Viêt-Nam selon le décret de 42/2009/NĐ-CP du 7/5/2009

(Source de donnée : http://www.chinhphu.vn. Réalisation : Ngo, 2013)

- **L'évolution démographique de la période 1999 –2009:**

L'évolution démographique de la période 1999-2009 est caractérisée par une évolution annuelle moyenne au rythme de 1,6 % (Tab. 5.2). Le processus d'étalement urbain se poursuit.

59 http://thuvienphapluat.vn/archive/Quyet-dinh/Quyet-dinh-159-QD-TTg-cong-nhan-thanh-pho-Quy-Nhon-la-do-thi-loai-I-truc-thuoc-tinh-Binh-Dinh-vb100698t17.aspx

60

http://www.chinhphu.vn/portal/page/portal/chinhphu/hethongvanban?class_id=1&mode=detail&document_id=86490

Tableau 5.2. Evolution démographique de la ville de Quy Nhon entre 1976-1999 et 1999-2009

Année	Nombre de la population	Densité (hab./km^2)	Accroissement Annuel brut	Taux moyen annuel de croissance (%)
1976	142 752	2 054	***	***
1999	240 293	1 110	4 241	2,29
2009	280 942	984	4 065	1,58

(Source de donnée: Bureau de Quy Nhon de la statistique. Réalisation : Ngo, 2013)

Sur la figure 5.9 et l'annexe 5, nous pouvons observer la croissance démographique annuelle brute de la ville de Quy Nhon. Il y a deux quartiers dans lesquels une augmentation importante peut être constatée :

- le quartier de Quang Trung : accroissement brut de +1 318 habitants, soit +142%.
- le quartier de Dong Da : accroissement brut de +960 habitants, soit +142 %.

Situé au sud-ouest de la ville de Quy Nhon (Fig. 5.9), le quartier de Quang Trung a un relief montagneux. On y trouve la montagne de Vung Chua (Fig. 5.10). Avant 2000, 50 % de la superficie de l'ensemble du quartier de Quang Trung était dévolue à l'agriculture. Depuis 2005, les autorités ont permis de convertir des terres agricoles en zone urbanisées. De surcroît, un certain nombre de terrains dans la montagne de Vung Chua ont été envahi par des habitants du quartier pour construire des maisons sans permis. De plus, la gare de la ville de Quy Nhon se trouve dans ce quartier. Des commerces de grande surface ont été installés à cet endroit. Entre autre, le supermarché « Métro » a été construit en 2009 au sud du quartier de Quang Trung.

Le quartier de Dong Da est situé au nord-est de la ville de Quy Nhon à proximité de la lagune de Thi Nai (Fig. 5.9). Un nouveau quartier résidentiel a commencé à se construire en zone inondable. Nous développerons cette problématique dans le prochain chapître.

La population du quartier de Tran Phu a diminué -46% habitants (Fig. 5.9) et (Annexe 5). Ce quartier est situé au sud de la ville de Quy Nhon. Le quartier de Tran Phu abrite l'hôpital de la province de Binh Dinh (un des hôpitaux régionaux du centre-sud du Viêt-Nam) et le siège de la police de la province de Binh Dinh. Le centre d'administration de la province de Binh Dinh se trouve également dans ce quartier. La surface de ces établissements occupe 40% de la superficie du quartier de Tran Phu. En outre, le dépeuplement de ce quartier peut être influencé par la politique de planification familiale (de 1 à 2 enfants par une famille) selon les décisions de 162-HĐBT [(61)] du 18 octobre 1988 prises par le Conseil des Ministres ;

[61] http://thuvienphapluat.vn/archive/Quyet-dinh/Quyet-dinh-162-HDBT-chinh-sach-dan-so-ke-hoach-hoa-gia-dinhh-vb37637t17.aspx

confirmées par les décisions 47-NQ/TW [62] du 23 mars 2005 par le Politburo. Ce sont probablement les raisons principales pour la diminution de la population dans le quartier de Tran Phu.

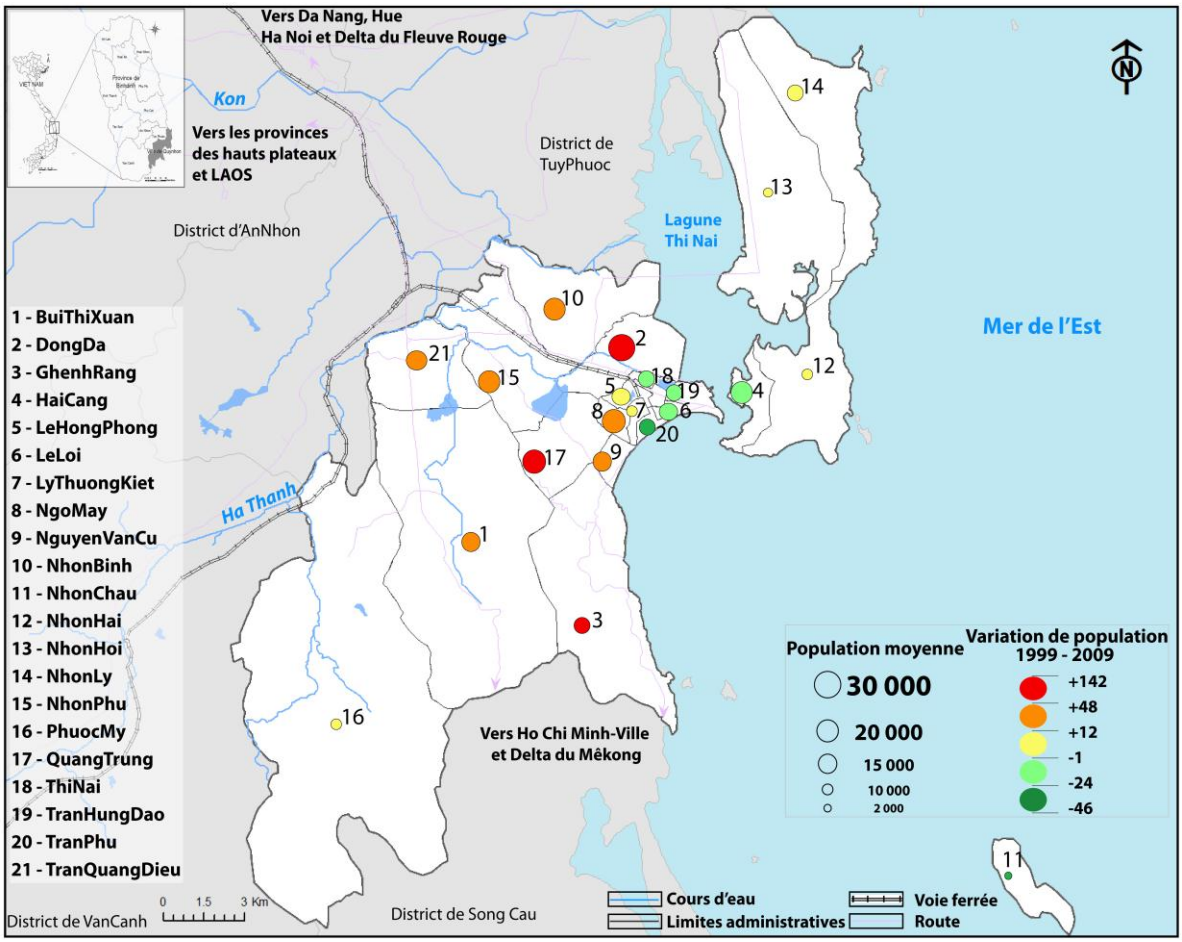


Figure 5.9. Etat et variation de population des quartiers de la ville de Quy Nhon (1999-2009)
(Source : Bureau de la Statistique de Quy Nhon en 1999 et 2009. Réalisation : Ngo, 2013)

Pendant plus de 100 ans, la ville de Quy Nhon a connu des changements de délimitation administrative. Ces modifications s'expliquent par plusieurs raisons, dont la nécessité du développement économique et social est l'une des principales. Cependant, il existe encore de nombreux problèmes de planification auxquels divers projets de développement tentent de répondre. C'est ce que que nous allons présenter dans la partie 5.2.

5.2. Planification et projets de développement

Le site de Quy Nhon a une topographie variée : son périmètre inclut des montagnes, des collines, des plaines, des presqu'îles et des îles. La montagne de Vung Chua, d'une altitude

[62] http://dangcongsan.vn/cpv/Modules/News/NewsDetail.aspx?co_id=30158&cn_id=199678

supérieure à 600 m, se situe au sud-ouest de la ville ; la montagne de Phuong Mai (300 m d'altitude) se trouve au nord-est ; la colline de Ba Hoa, qui mesure un peu plus de 200 m d'altitude, se situe au centre de la ville ; Ces reliefs sont entourés de plaines disposées au nord, au nord-est et au sud-est de la ville. Ces plaines sont formées des dépots alluvionnaires du fleuve Ha Thanh et des dépots marins (Fig. 5.10).

L'aménagement de la ville de Quy Nhon est placé sous le contrôle conjoint de l'Etat et de la province de Binh Dinh. C'est l'une des principales villes portuaires du Centre-sud du Viêt-Nam, raison pour laquelle elle accueille le développement de parcs industriels. Elle est également caractérisée par le tourisme balnéaire.

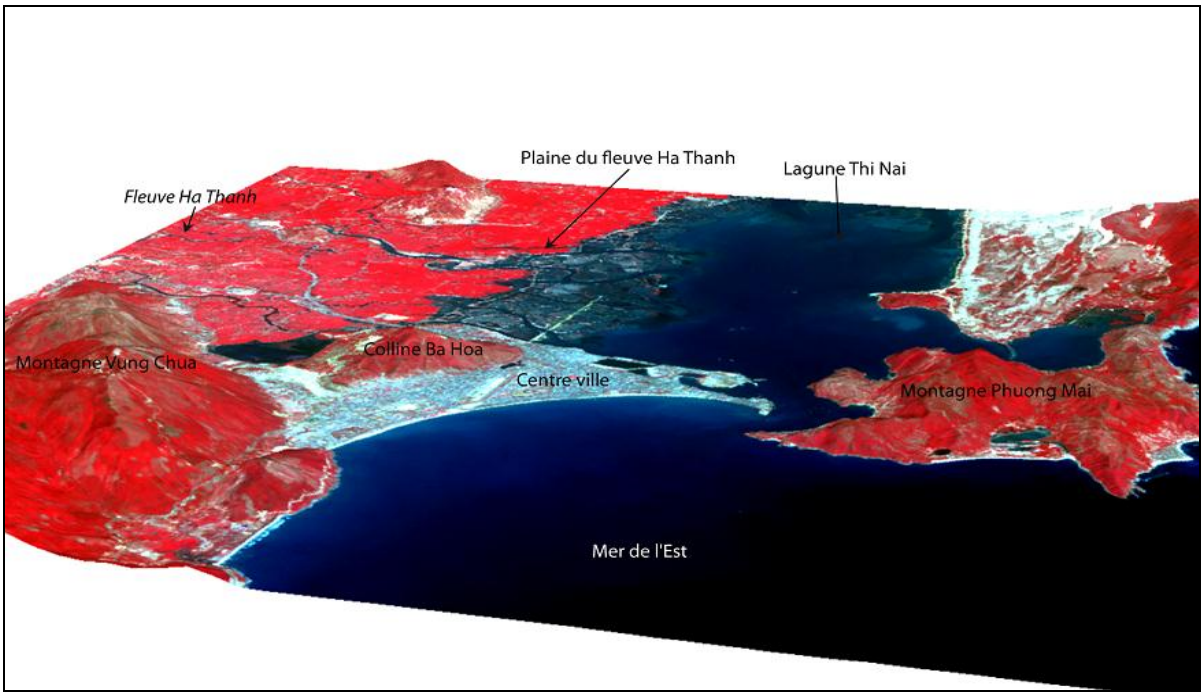


Figure 5.10. Le site de la ville de Quy Nhon
(Sources : Spot 4, 2009, drapée sur un MNT ASTER GDEM 30 m. Réalisation : Ngo, 2011)

5.2.1. Les projets de l'Etat et de la province

Les réseaux urbains du Viêt-Nam en général, et la ville de Quy Nhon dans la province de Binh Dinh en particulier, sont en cours de développement. En effet, la population urbaine augmente chaque année. A titre d'exemple, la surface de la ville d'Hanoï a augmenté en moyenne de 29 % chaque année et la population de 16 % entre 2005-2010 (Tab. 5.3). En même temps, Ho Chi Minh-Ville a augmenté de 5 % par an (Tab. 5.3). En ce qui concerne la ville de Quy Nhon, sa surface est augmentée de 6 % par an et sa population de 2 % par an entre 2005-2010 (Tab. 5.3).

Tableau 5.3. Croissance de la superficie et de la population de trois villes du Viêt-Nam

Ville	Indicateurs	Année		Evolution annuelle (%)
		2005	2010	
Hanoï	Superficie (km^2)	921	3344.6	29%
	Population (1000)	3145.3	6561.9	16%
	Densité (hab./km^2)	3415	1962	-10%
Quy Nhon	Superficie (km^2)	216.4	285.5	6%
	Population (1000)	258.9	281.1	2%
	Densité (hab./km^2)	1196	985	-4%
Ho Chi Minh-Ville	Superficie (km^2)	2095.5	2095.2	0%
	Population (1000)	5891.1	7396.5	5%
	Densité (hab./km^2)	2811	3530	5%

(Source : Bureau Général de la Statistique, 2005 et 2010)

Le centre-ville de Quy Nhon est densément peuplé avec 2 636 hab./km^2 en 2009 (Source : Bureau de Quy Nhon de la statistique en 2009). Par conséquent, le besoin de logements des habitants de la ville de Quy Nhon a augmenté. Les autorités sont alors pressées de résoudre le problème.

De plus, Quy Nhon est une ville côtière. Son économie est diversifiée : port, industrie et tourisme. Les pressions économiques et démographiques se conjuguent pour influencer la planification urbaine. Les deux questions qui se soulèvent dans le cas de Quy Nhon, sont les suivantes :

Est-ce que les aménageurs vont développer la ville en tenant compte des conditions naturelles ? Quelle conscience ont-ils des contraintes naturelles à l'urbanisation ?

Le Ministère de la Construction a arrêté un nouveau projet urbain en 2003 qui oriente l'aménagement du territoire et le projet de développement de la province de Binh Dinh jusqu'à 2020. Ce projet a été confirmé par le Premier ministre le 1er juin 2004 (décision 98/2004/QD-TTg [63]) (Fig. 5.11).

En 2020, la superficie de la ville de Quy Nhon sera portée à 334,73 km^2 (soit 165,31 km^2 pour le centre-ville et 169,42 km^2 pour la banlieue). La population serait estimée à environ 500 000 habitants. Quy Nhon sera le centre du développement économique, culturel et politique du Centre-Sud (Viêt-Nam).

[63] http://thuvienphapluat.vn/archive/Quyet-dinh/Quyet-dinh-98-2004-QD-TTg-phe-duyet-dieu-chinh-Quy-hoach-chung-thanh-pho-Quy-Nhon-Binh-Dinh-den-2020-vb5897t17.aspx

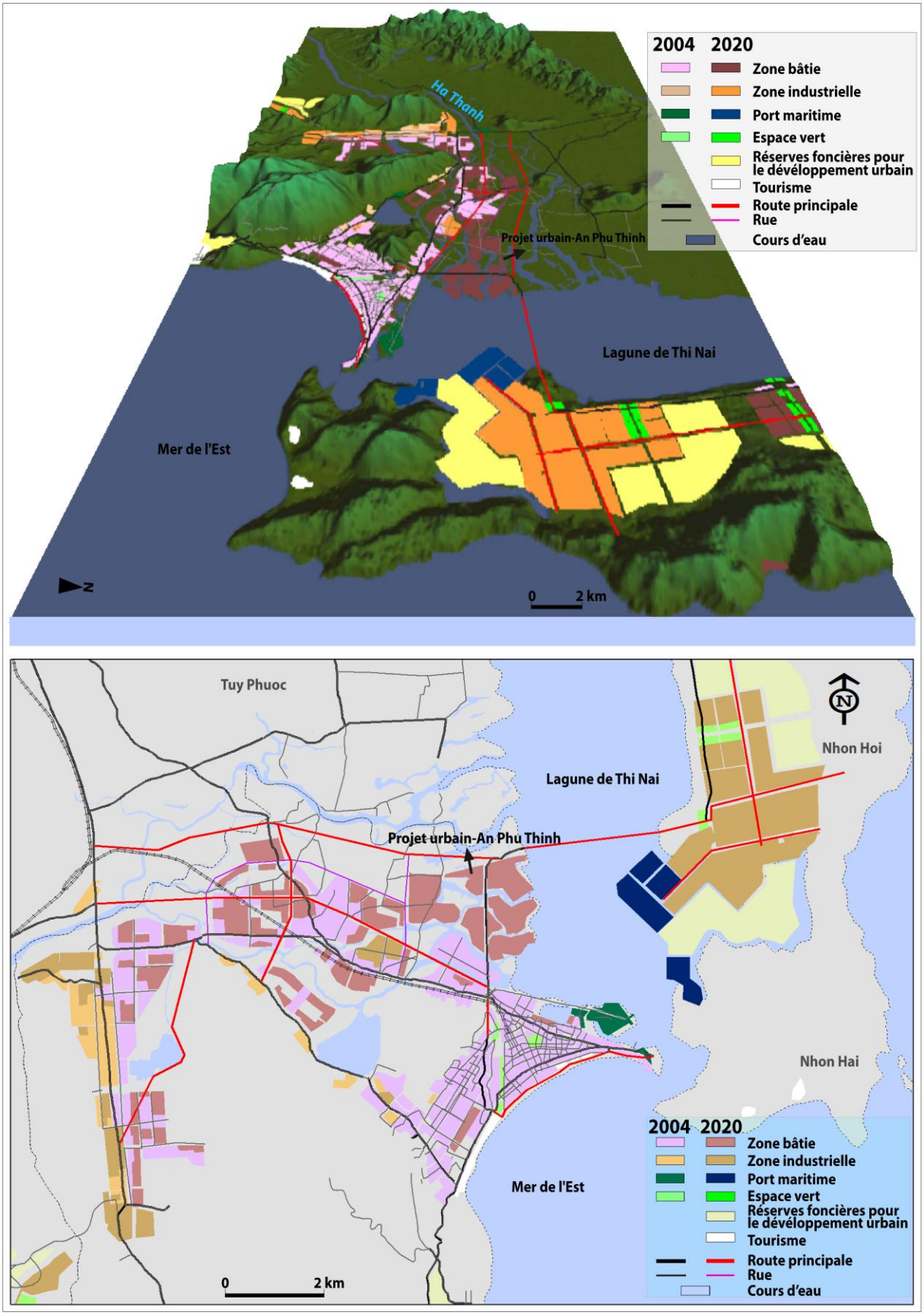


Figure 5.11. Bloc-diagramme (2D et 3D) du projet urbain à l'horizon 2020 (Source : Comité des personnes de la province de Binh Dinh et ASTER GDEM 30m. Réalisation : Ngo, 2013)

a) Le projet urbain

- le centre-ville de Quy Nhon est composé de 12 quartiers : Le Loi, Dong Da, Thi Nai, Hai Cang, Tran Phu, Ngo May, Nguyen Van Cu, Ghenh Rang, Quang Trung, Le Hong Phong, Tran Hung Dao et Ly Thuong Kiet ;

- la banlieue de la ville est composée de 4 quartiers : Bui Thi Xuan, Nhon Binh, Nhon Phu et Tran Quang Dieu ; de 4 villages : Nhon Hai, Nhon Hoi, Nhon Ly et Phuoc My ;

- le village de Nhon Chau est situé sur l'île de Cu Lao Xanh au sud-est de la ville de Quy Nhon (Fig. 5.12).

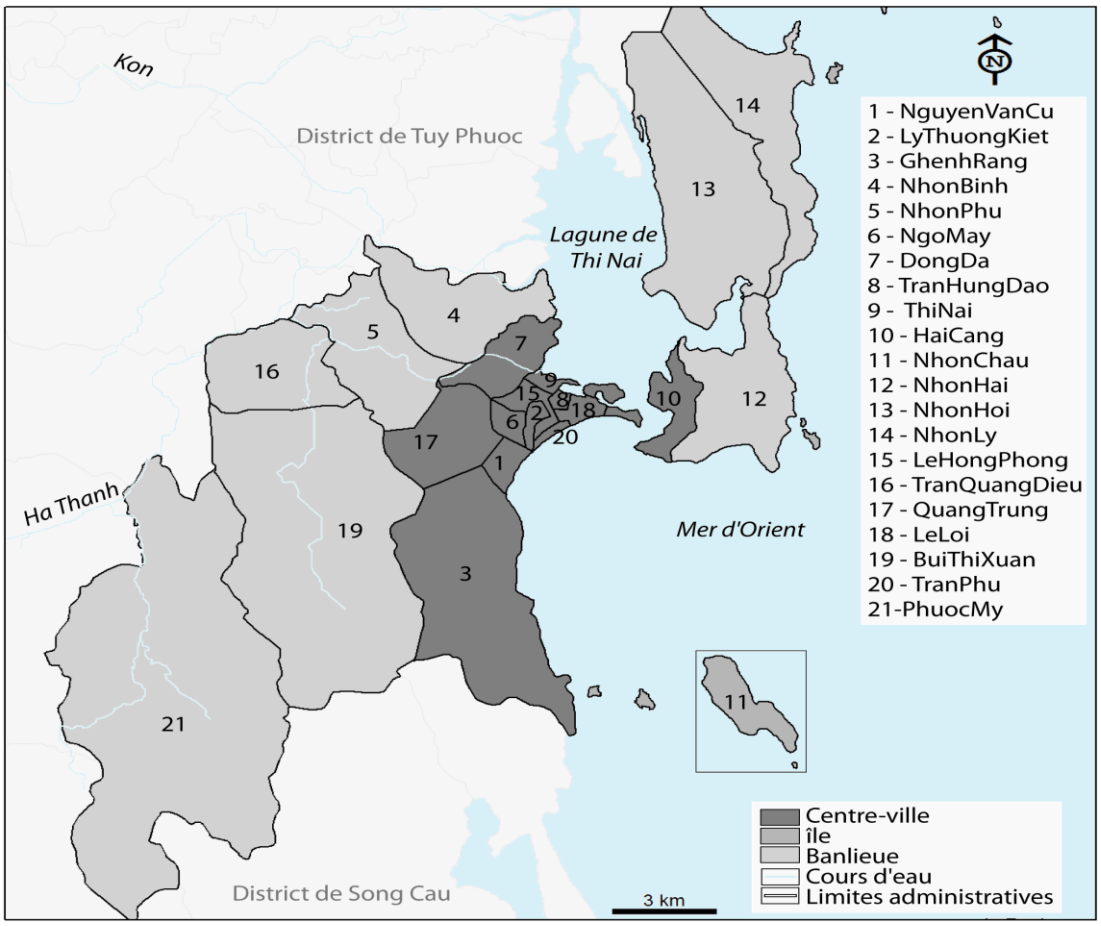


Figure 5.12. Centre-ville, banlieue et île de la ville de Quy Nhon en 2020 (Réalisation : Ngo, 2013)

La ville de Quy Nhon va se développer dans toutes les directions, en fonction de la disponibilité de terrains raisonnablement constructibles. On identifie en particulier :

- l'extension de la ville à l'ouest: centre industriel de Long My du village de Phuoc My soit de 69,42 km^2. Ce secteur sera essentiellement tourné vers l'industrie avec les centres industriels de Phu Tai.

- l'extension de la ville au nord-est: centre d'industriel et économique de Nhon Hoi avec une superficie de 71,13 km^2. Ce village pourrait alors devenir un nouveau centre du

développement industriel (Fig. 5.13). De plus, une partie (48,87 km^2) du district de Phu Cat sera annexée à la ville de Quy Nhon.

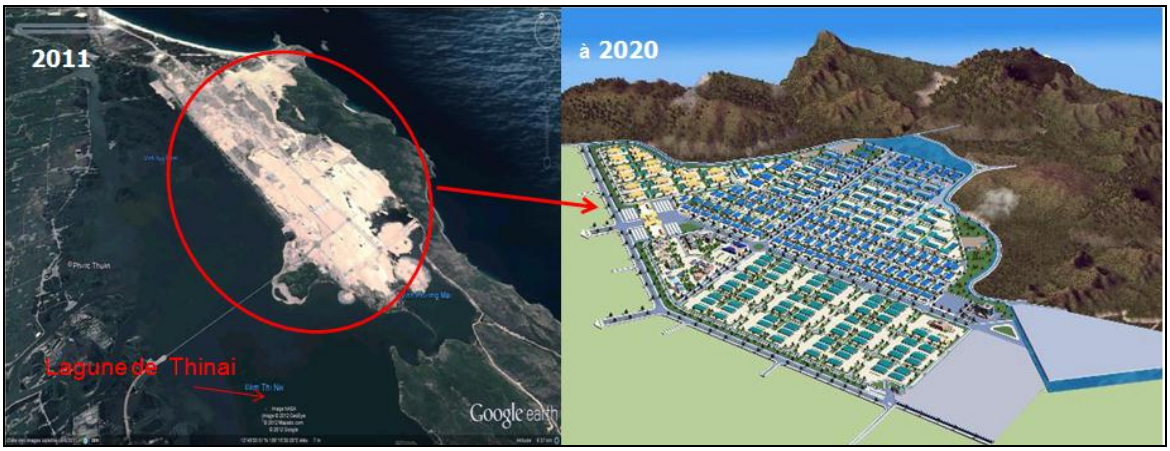


Figure 5.13. Centre industriel et économique de Nhon Hoi – Quy Nhon ville
(Source : *Google Earth*©, 2011 et http://www.intereal.vn)

Au début de 2013, le Groupe « Pétrole Thaïlande » a terminé l'étude de faisabilité du projet de raffinerie pétrochimique dans le quartier de Nhon Hoi. Ce projet concerne l'ouest du quartier de Nhon Hoi sur la lagune de Thi Nai (20 km^2). La réalisation du projet est estimée à 21 milliards d'euros (Source : http://vnexpress.net, consulté le 15 mai 2013). « Le Premier Minitre a accepté le projet de raffinerie pétrochimique dans le quartier de Nhon Hoi » (Source: http://www.tinmoi.vn, consulté le 21 mai 2013). Ho Quoc-Dung, vice-président de la province de Binh Dinh, s'est déclaré à son tour en faveur du projet le 12 mai 2013. L'objectif principal est l'exportation du pétrole vers le Japon, la Chine et d'autres pays d'Asie du sud-est. Le chantier commencera au début 2016 pour une mise en production en 2020. L'usine est dimensionnée pour traiter 660 000 baril pétrole/jour, ce qui correspond à 30 millions de barils par an (Source: http://www.tinmoi.vn, consulté le 21 mai 2013).

En outre, une nouvelle zone urbaine sera située dans le quartier de Dong Da et de Nhon Binh. Les trois quartiers de Dong Da, de Nhon Binh et de Nhon Phu au nord de la ville sont essentiellement composés de villas avec des jardins (35 m^2/personne). Ces quartiers sont à proximité du fleuve Ha Thanh et de la lagune de Thi Nai. La nouvelle zone urbaine sera appelée "An Phu Thinh". Nous présenterons cette nouvelle zone urbaine dans la partie 5.2.2.

- le quartier de Le Loi sera le centre administratif et politique de la ville de Quy Nhon, avec une superficie de 0,15 km^2. Le centre économique (commerces, services, finances et banques...) est située au long de la rue de Nguyen Tat Thanh dans les quartiers de Ly Thuong Ket et de Ngo May, avec une superficie de 0,45 km^2.

Figure 5.14. Le nouveau port de Thi Nai dans le quartier de Nhon Hoi
(Source : *Google Earth*©, 2011 et http://www.khangthong.vn/)

Ce plan de développement s'explique par la situation de Quy Nhon, qui se trouve à un carrefour de communication entre la mer d'Orient (connue en France sous le nom de Mer de Chine du Sud), les provinces du Centre-sud et les Hauts Plateaux du Viêt Nam, ainsi qu'au débouché de routes terrestres vers le Laos et le Cambodge (Fig. 2.4 dans le chapitre 2, p.57). Par conséquent, en 2020, la ville de Quy Nhon aura deux ports maritimes : le port historique de Quy Nhon situé dans le quartier d'Hai Cang et le nouveau port de Thi Nai situé dans deux quartiers de Nhon Hoi et de Nhon Hai (Fig. 5.11 & 5.14).

b) Aménagement touristique

La ville va développer le tourisme des plages à Hai Giang du village de Nhon Hai, situé à l'est de la ville de Quy Nhon (Fig. 5.11). Les plages se situent au sud-est dans les quartiers de Nguyen Van Cu, de Tran Phu et de Le Loi (Photographie 5.1). En outre, les autorités veulent développer des villas qui seront situées au sud-est du quartier de Ghenh Rang.

Photographie 5.1. Front balnéaire de la ville de Quy Nhon (Photographie : Van Luu, 2013)

c) Infrastructures de transport

Le tracé d'un certain nombre de nouvelles rues est planifié dans le centre-ville comme la rue de Xuan Dieu avec une largeur de 30 m et une longueur de 5 km et la rue de Nguyen Tat Thanh avec une longueur de 1 km et une largeur de 40 m (Fig. 5.11 & 5.15).

La construction de deux rocades est également programmée : la route de Dien Bien Phu (d'une largeur de 60 m et d'une longueur de 9 km) et la route 19A (d'une largeur de 60 m et d'une longueur 9,5 km) (Fig. 5.15). Ces routes vont servir pour transporter les marchandises des ports de Quy Nhon et de Thi Nai vers les routes nationales 1A et 1D. La route de Long Van-Long My (d'une largeur de 42 m et d'une longueur de 7 km) sera construite au sud-ouest de la ville (Fig. 5.15). Cette route va permettre de transporter des marchandises pour les centres industriels de Phu Tai et de Long My dans les deux quartiers de Bui Thi Xuan et Tran Quang Dieu, et dans le village de Phuoc My.

Ont été également prévues la construction du pont de Thi Nai (d'une longueur de 2,5 km et d'une largeur de 14,5 m) et celle de la route Quy Nhon-Nhon Hoi (d'une longueur de 5 km et d'une largeur de 25 m) (Fig. 5.15). Ce pont et cette route vont connecter Quy Nhon avec les villages de Nhon Hoi, de Nhon Hai et de Nhon Ly au nord-est de la ville de Quy Nhon. Notamment, le pont de Thi Nai va permettre de transporter des marchandises et matériaux du centre économique de Nhon Hoi vers la route nationale A1. Le pont de Thi Nai a d'ores et déjà été inauguré le 12 décembre 2006 (Photographie 5.2). Cependant, la route Quy Nhon-Nhon Hoi pourrait être un facteur d'obstruction de l'écoulement des crues du fleuve Ha Thanh. Nous présenterons cette problématique dans le chapitre suivant.

Grâce à l'aménagement et aux projets de développement, les autorités ont eu la volonté de faciliter l'urbanisation en minimisant les surcoûts liés aux contraintes topographiques. L'urbanisation se concentrant sur les surfaces planes explique la forme complexe de l'extension urbaine. Le développement en cours privilégie l'occupation de la plaine alluviale. Il y a ici une contradiction entre le développement économique et urbain d'une part, et l'impact environnemental et le risque d'inondation d'autre part, en particulier pour le projet de la nouvelle zone résidentielle qui se développe au nord de la ville de Quy Nhon.

Ces nouveaux quartiers d'habitation sont potentiellement exposés aux crues. On retrouve ici le même type de biais qui ont été dénoncés de longue date dans les pays développés. C'était par exemple le cas du développement urbain de la Nouvelle Orléans aux Etats-Unis des années 1950 au début des années 1980 selon Lewis (2003), « La croissance urbaine accélérée de La Nouvelle-Orléans et la construction de nombreux lotissements en zone inondable » (Lewis, 2003, p.80). La multiplication des enjeux localisés en zone inondable est le premier facteur de vulnérabilité au risque naturel (Zaninetti, 2013b).

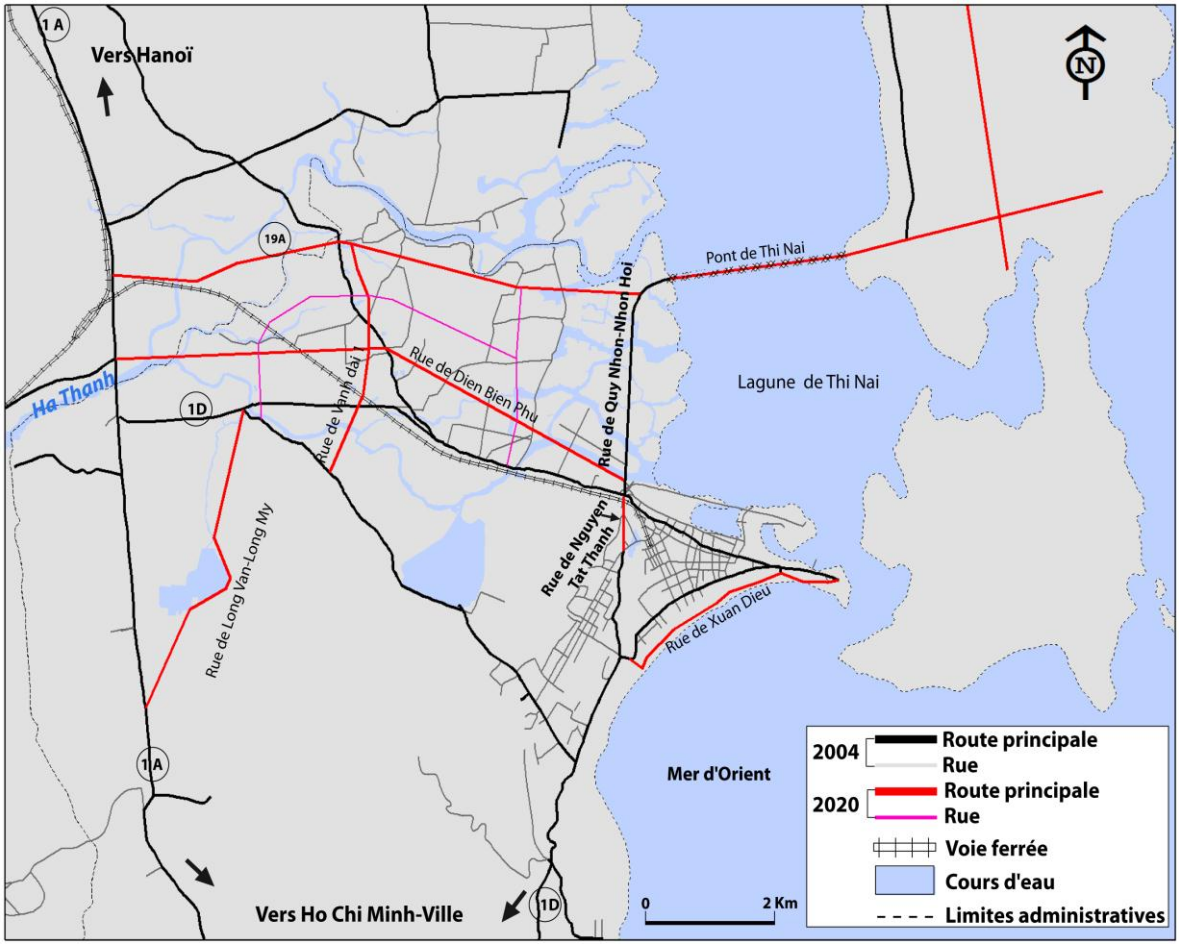


Figure 5.15. Evolution des axes du transport dans la ville de Quy Nhon (2004-2020) (Source : Comité de la ville de Quy Nhon et Atlas du Viêt-Nam, 2010. Réalisation : Ngo, 2013)

Photographie 5.2. Pont de Thi Nai de la ville de Quy Nhon (Photographie : Le Nguyen, 2013)

5.2.2. Mutation sociale des quartiers

La mutation sociale (ou changement social) est définie comme "l'ensemble des changements intervenus dans la structure d'une société dans un laps de temps" selon Peter Heintz (1970) (Source : http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/f/F15993.php, consulté le 26 mai 2013). Elle est l'ensemble des modifications intervenues dans la structure de la société qui changent les comportements sociaux. Le développement urbain est un facteur de mutation sociale. Cette mutation sociale peut être bénéfique quand elle s'accompagne d'un développement socio-économique, mais elle peut aussi avoir des effets adverses, quand elle entraîne l'exode des habitants et accroît la vulnérabilité au risque d'inondation. Plusieurs exemples d'évolution urbaine inadaptée sont documentés. On peut citer en particulier le cas extrême de La Nouvelle-Orléans aux Etats-Unis entre 1965 et aujourd'hui, illustre particulièrement bien les contradictions liées à l'urbanisation des zones inondables (Zaninetti, 2013a & 2013b). Toutes proportions gardées, des cas similaires sont documentés au Viêt-Nam. C'est le cas de la ville de Ninh Binh dans le delta du fleuve Rouge (Mottet et Roche, 2008). Ces villes ont en commun la pression urbaine sur des terrains à bâtir relativement rares où les autorités ont favorisé l'urbanisation des plaines alluviales et des zones humides.

Dans le cas de la ville de Quy Nhon, la mutation sociale a été accélérée par le projet de développement urbain depuis 2004, dans lequel les deux quartiers de Nhon Binh et Dong Da où se trouve le projet An Phu Thinh sont situés dans la plaine deltaïque du fleuve Ha Thanh.

a) Mutation sociale des quartiers par le projet An Phu Thinh

D'après le schéma directeur de planification et de développement de la ville de Quy Nhon jusqu'à 2020, conformément à la décision 98/2004/QD - TTg du Premier ministre rendue le 01 juin 2004, et la décision les autorités de la province de Binh Dinh signée le 28 mai 2010, il a été décidé de construire un nouveau quartier urbain qui sera appelé "An Phu Thinh". La nouvelle zone urbaine se situe à cheval sur les deux quartiers de Nhon Binh et de Dong Da (Fig. 5.16).

Avec une superficie d'environ 3,61 km^2, le projet comprend les composantes fonctionnelles suivantes :

- Bâtiments : maisons isolées et résidentielles;
- Travaux publics et services;
- Parcs et espaces verts;
- Routes et infrastructures urbaines.

Cette zone urbaine doit accueillir de 8 000 à 10 000 habitants, avec près de 63 habitants par hectare (Source : http://anphuthinh.com.vn/, consulté le 23 mai 2013).

Selon les investisseurs et les autorités de la ville de Quy Nhon, ce nouvel ensemble urbain moderne sera en harmonie avec les conditions naturelles du paysage dans le delta du fleuve Ha Thanh. Le projet est concentré sur l'amélioration de la qualité du cadre de vie et la satisfaction des besoins de logements (Fig. 5.17).

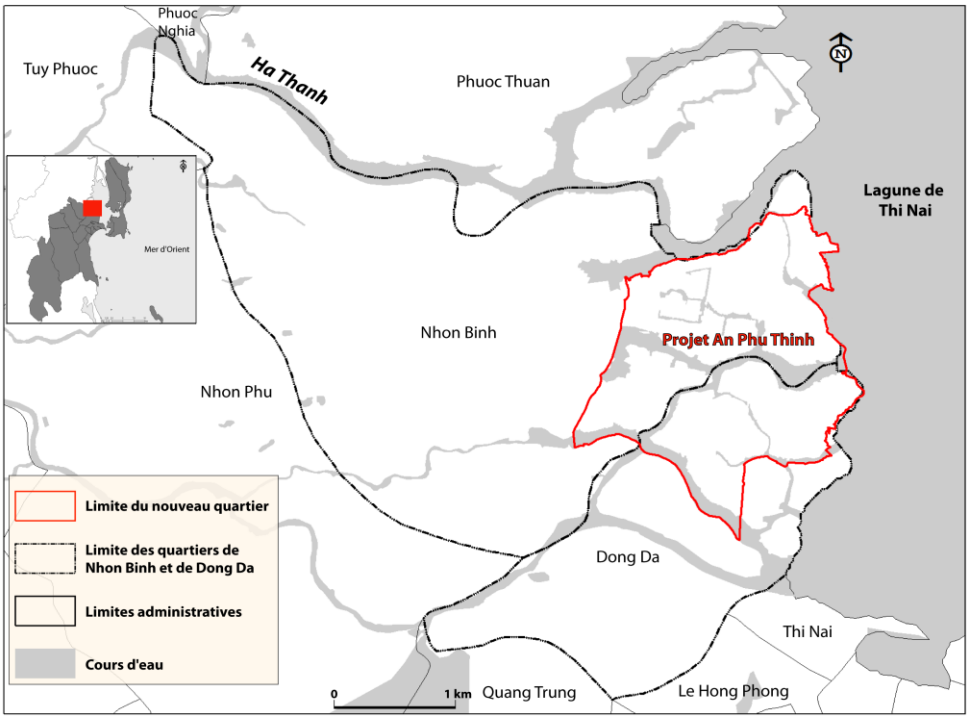


Figure 5.16. Localisation du projet An Phu Thinh dans les quartiers Nhon Binh et Dong Da de Quy Nhon (Ngo, 2013)

Figure 5.17. Plan masse du projet An Phu Thinh dans les quartiers de Nhon Binh et de Dong Da (Source: http://anphuthinh.com.vn/, 2012)

Cependant, ce projet est situé à l'aval du delta du fleuve Ha Thanh et se trouve pratiquement au niveau de la mer (2 m d'altitude en moyenne). Il est traversé par de multiples

bras de décharge du fleuve Ha Thanh, qui divise le projet entre deux quartiers inégalement urbanisés. Le premier quartier de Dong Da est situé au nord-ouest de la ville, ce quartier est en partie urbanisé en continuité de l'agglomération actuelle. Et le deuxième quartier de Nhon Binh situé au nord du delta conserve encore un paysage semi-rural.

b) Représentation des deux quartiers : Dong-Da et Nhon-Binh

Le quartier de Dong Da est situé au nord-ouest de la ville de Quy Nhon, proche de la lagune de Thi Nai et la deuxième branche du fleuve Ha Thanh (Fig. 5.18). Il est de 6,2 km^2 en superficie soit 2% de la superficie de la ville de Quy Nhon, la population était de 30 074 habitants en 2009. Les habitants résident principalement au centre du quartier et très peu au nord du quartier. Nous pouvons estimer la surface de zone bâtie dans ce quartier de 1,1 km^2, soit de 17,75% de la superficie de l'ensemble du quartier de Dong Da (Fig. 5.18). En outre, les habitants au nord du quartier, sont pêcheurs ou éleveurs de crevettes.

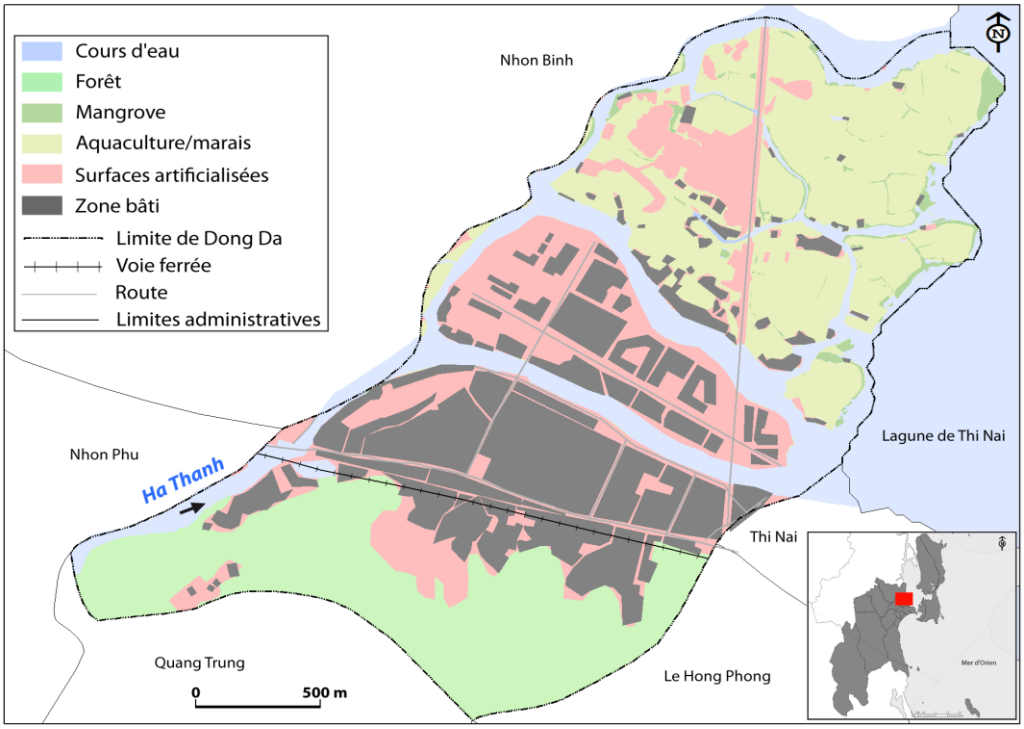


Figure 5.18. Occupation du sol du quartier de Dong Da en 2011 (Ngo, 2013)

Le quartier de Nhon Binh est situé au nord de la ville de Quy Nhon (Fig. 5.19), proche du fleuve Ha Thanh et à proximité de la lagune de Thi Nai. La superficie est environ 14,7 km^2 soit de 5,15 % de la superficie de la ville de Quy Nhon. Ce quartier est le cinquième par sa surface totale dans la ville de Quy Nhon avec une population de 18 806 d'habitants au recensement de 2009. Les habitants résident principalement au sud et à l'ouest du quartier. A l'ouest du quartier, les habitants travaillent principalement dans les rizières. Le nord-est du

quartier où s'étend le projet An Phu Thinh, compte encore aujourd'hui très peu d'habitants. Ce sont des pêcheurs ou des ouvriers agricoles qui travaillent sur les marais salants. Grâce au SIG, nous estimons la superficie des zones bâties à 0,54 km^2, soit 3,68% de la superficie de l'ensemble du quartier de Nhon Binh. Des bidonvilles existent au nord et nord-ouest du quartier.

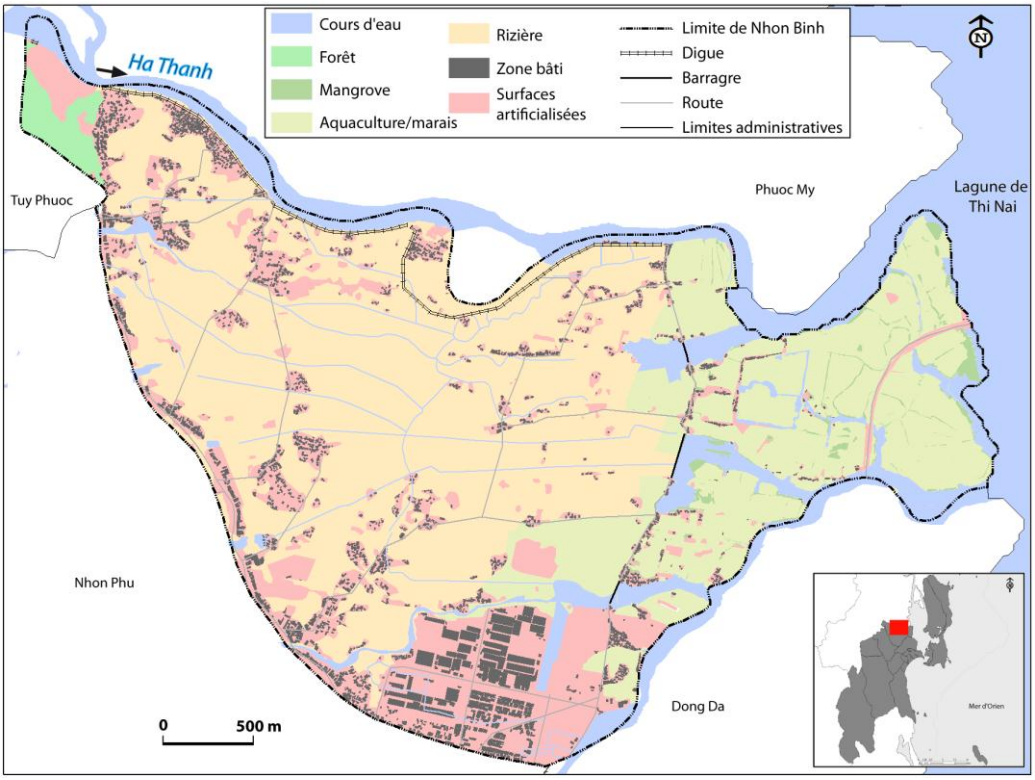


Figure 5.19. Occupation du sol du quartier de Nhon Binh en 2011 (Ngo, 2013)

Ces deux quartiers comptaient près de 48 880 habitants en 2009, contre 35 572 en 1999. La population des deux quartiers du delta a augmenté de plus de 13 308 habitants, soit +3 % d'évolution annuelle sur la période 1999-2009, un rythme d'accroissement supérieur à la moyenne de l'agglomération.

Chaque année, ces deux quartiers font l'objet d'inondations liées aux événements cycloniques et aux tempêtes tropicales. Les deux quartiers sont également exposés au risque de crue fluviatile combinant pluie diluvienne et montée du niveau de la mer au passage des typhons.

Grâce au SIG et au MNT dans la plaine du delta du fleuve Ha Thanh, nous pouvons réaliser le profil topographique détaillé en coupe dans ces deux quartiers (Fig. 5.20 & 5.21). Au sud du quartier de Dong Da, avec la colline de Ba Hoa, l'altitude est forte et le dénivelé d'environ 50 m à 200 m. Cependant, au nord, au nord-est et au nord-ouest du quartier de Dong Da, les altitudes sont très basses, de 2 m à 3 m au maximum (Fig. 5.20). Pour le quartier

de Nhon Binh (Fig. 5.21), l'altitude est en général très basse (2-3 m) sauf au nord-ouest (30 m au maximum).

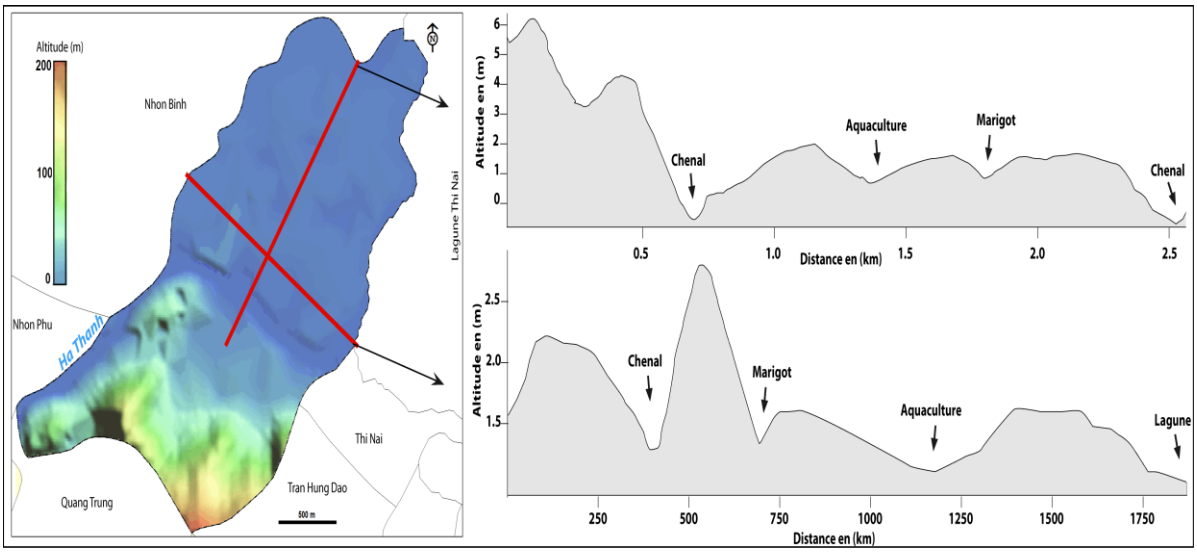


Figure 5.20. MNT et coupe du quartier de Dong Da (Source : MNT 5m de résolution. Réalisation : Ngo, 2013)

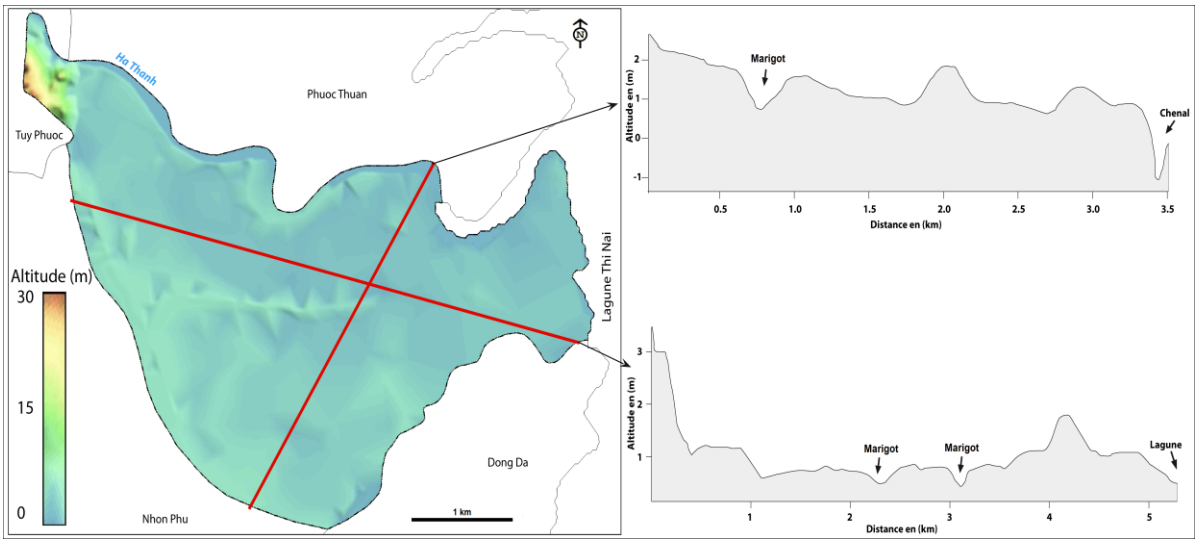


Figure 5.21. MNT et coupe du quartier de Nhon Binh (Source : MNT 5m de résolution. Réalisation : Ngo, 2013)

c) Cartographie participative de la mutation sociale dans le nouveau quartier

Durant l'été 2012, nous avons invité 15 personnes résidant dans la zone du nouveau quartier à participer à un groupe de discussion sur le risque d'inondation dans le delta. Le but était de comparer la vulnérabilité de la zone d'habitat traditionnel à celle du projet de nouvelle zone urbaine (An Phu Thinh). Deux cartes en papier ont été créées spécifiquement pour être soumise au groupe de discussion et réaliser ainsi ce qu'on appelle une séance de cartographie participative (Fig. 5.22 & 5.23) (Feyerabend *et al.*, 2000 ; Chambers., 2006; FIDA, 2009 et 2010 ; Luong, A.T., 2012).

- la première information qu'on dégage est qu'avant 2009, l'occupation du sol et l'activité du delta étaient très différents de 2013. Auparavant, l'occupation du sol en zone deltaïque était composée d'étangs aquacoles où se pratique l'élevage de crevettes et de poissons ainsi que les marais salants. La mangrove y occupait une place non négligeable. Les réseaux de canaux étaient nombreux et le lit du fleuve plus large. A cet endroit, il y a quatre affluents du fleuve Ha Thanh. Par conséquent, le drainage de l'amont à l'aval permet aux crues de s'écouler plus rapidement vers la lagune de Thi Nai.

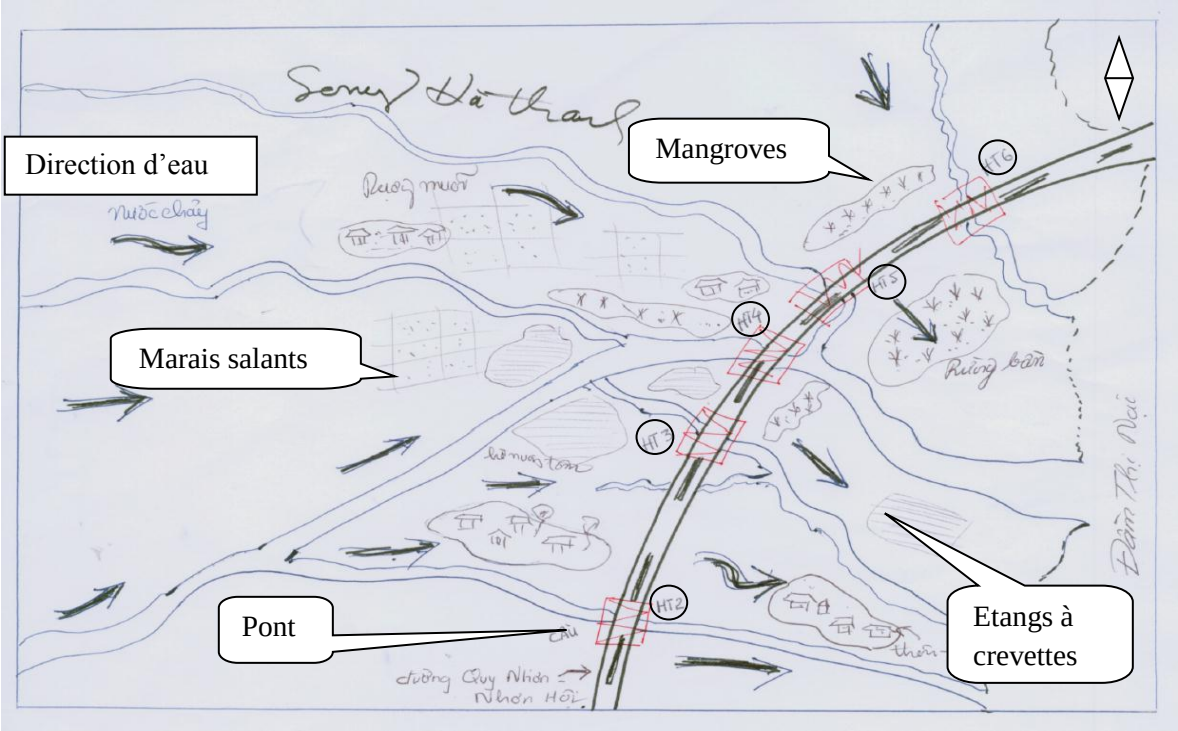


Figure 5.22. Cartographie mentale des paysans visualisant leurs terres soumises aux inondations avant la réalisation du projet de la nouvelle zone urbaine

- la deuxième information qu'on dégage est relative à l'inondation de novembre 2009. Elle concerne la vitesse et la direction des courants. Selon les habitants, le débit de l'eau était très rapide, avec des directions du Sud à l'Est et du Nord à l'Est. Il s'achemine vers la lagune de Thi Nai en s'écoulant principalement à travers quatres chenaux : les points identifiés sur le plan HT 2, 3, 4 et 5 (Fig. 5.22).

Nous analysons la deuxième cartographie (Fig. 5.23), qui se réfère à aux écoulements de la rivière et à l'occupation du sol. Contrairement à la première cartographie, on représente de nouvelles surfaces. Nous voyons que, au delà des représentations liées aux activités, le sud-est du hameau de Dang fait l'objet de modifications liées à de nouvelles constructions.

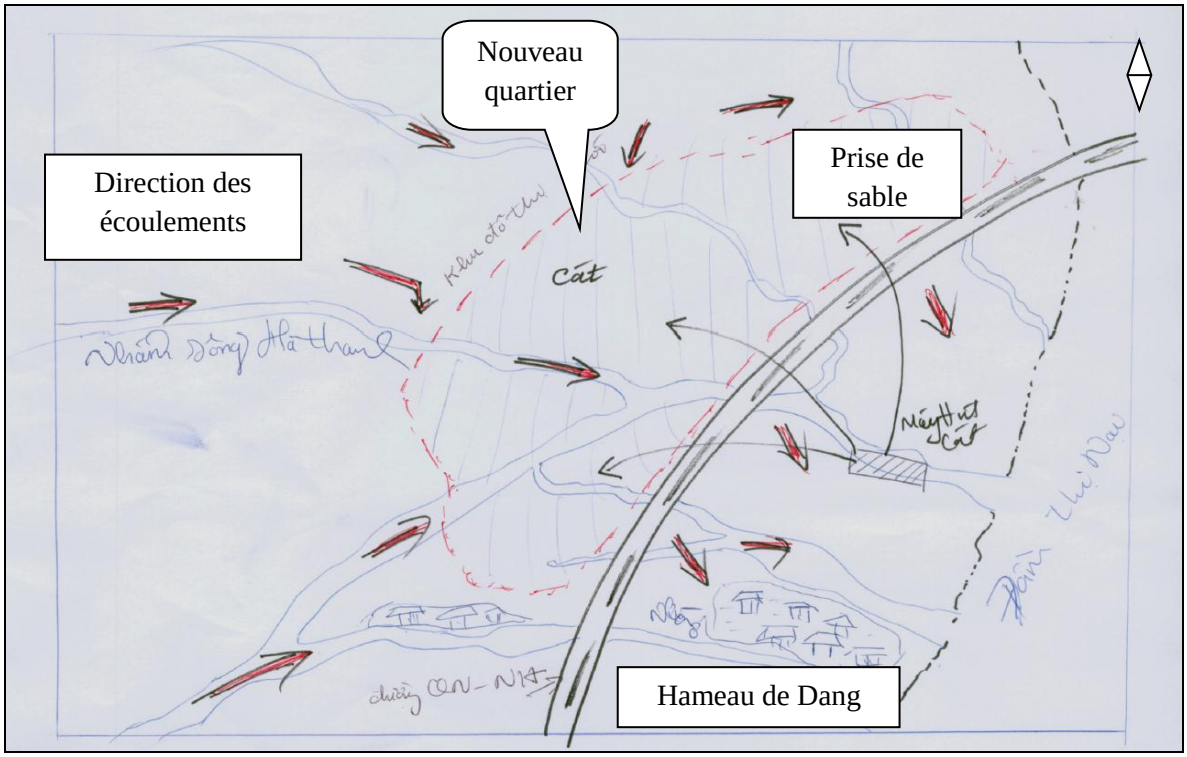


Figure 5.23. Carte mentale des paysans visualisant leurs terres pendant la réalisation du projet de la nouvelle zone urbaine en 2012

En support à cette description cartographique, d'autres informations apparaissent :

- les personnes qui participent à cette description, habitent depuis très longtemps sur le lieu. Mais, elles ne savaient pas qu'il y avait un tel projet d'aménagement dans le delta du fait de l'absence de notification de la part des autorités. De plus, ces dernières n'ont pas demandé l'avis des habitants lors de la consultation communautaire préalable à la planification des nouvelles zones urbaines ;

- le 2 août 2010, les autorités locales ont organisé une cérémonie d'inauguration pour la construction des nouvelles zones urbaines. A cette occasion, elles ont annoncé un plan de dégagement de terrain. Cependant, certains habitants ont continué à vivre sur le lieu par manque d'argent pour un nouveau logement. Par la suite, les autorités ont pris une grande quantité de sable du fleuve Ha Thanh pour la construction des bâtiments et des travaux publics pour cette nouvelle zone urbaine.

Grâce à l'image de *Google Earth*© (2010), l'enquête de terrain et le plan du projet An Phu Thinh, nous pouvons créer deux cartographies de l'occupation du sol pour représenter les changements liés au projet urbain dans la période 2010-2020 (Fig. 5.24). En 2010, les sols sont occupés par la mangrove, des marais salants et des parcs aquacoles. Des habitations pauvres existent déjà au sud et sud-est du nouveau quartier. Les habitants sont principalement des agriculteurs, des pêcheurs ou des paysans pratiquant l'aquaculture. En outre, avant juin

2010, la zone était fortement soumise au fonctionnement naturel du fleuve (Fig. 5.25). A partir de 2012, l'urbanisation s'est accentuée avec l'aménagement de voies rapides sur les berges du fleuve. Des marais salants, des zones de mangrove et des petits étangs disparaissent alors au profit de ces constructions (Fig. 5.25). En 2020, l'occupation du sol va complètement changer en conséquence de la réalisation du projet An Phu Thinh. De nouveaux bâtiments seront construits par le remblaiement de centaines d'hectares de marais salants, et d'étangs aquacoles (Fig. 5.25). Dans ce secteur nouvellement gagné sur les surfaces agricoles et les zones humides du fleuve Ha Thanh, des dizaines de bâtiments et des espaces verts sortiront de terre. Des mutations urbaines fortes sont donc programmées, car de nouvelles populations s'installeront dans ce quartier alors que les paysans qui y vivaient en seront délogés. Quelle sera donc la sensibilisation de ces nouvelles populations inexpérimentées à l'existence du risque d'inondation ?

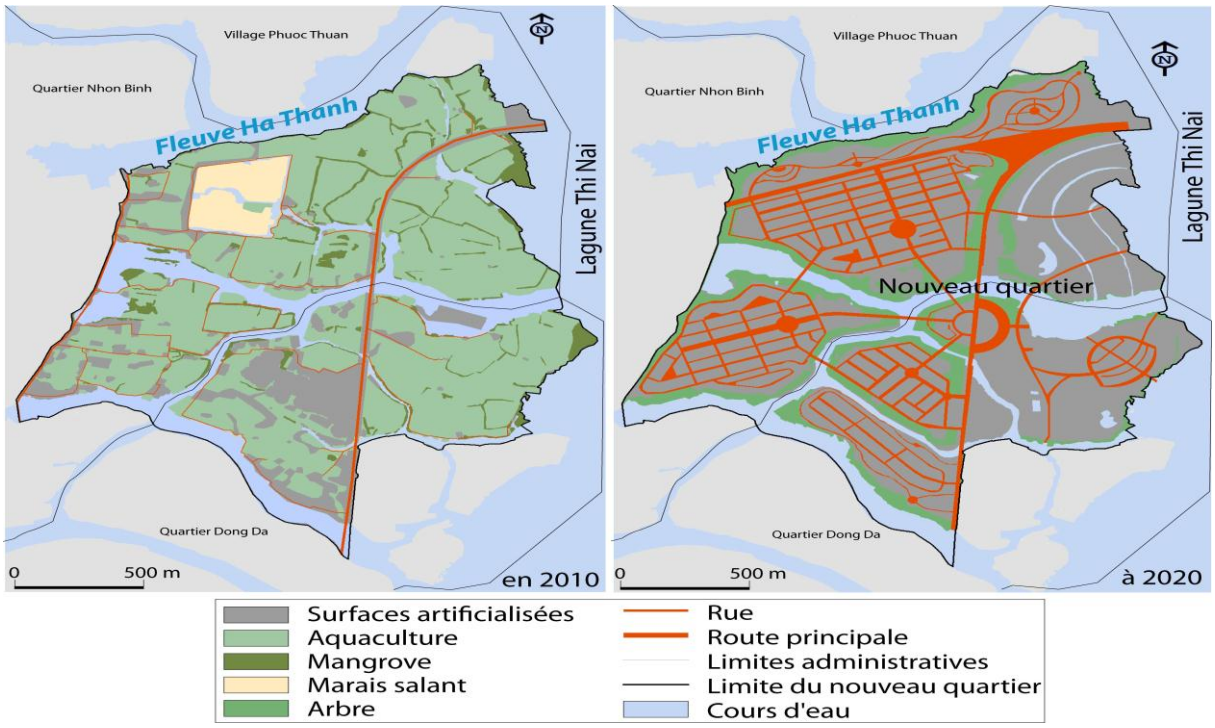


Figure 5.24. Les changements anthropogéniques programmés dans le delta (Sources : Google Earth©, 2010, enquêtes de terrain 2011 et 2012, plan du projet An Phu Thinh. Réalisation: Ngo, 2013)

Nous avons collecté 25 réponses exploitables dans le secteur des deux quartiers de Dong Da et de Nhon Binh où les urbanisations nouvelles sont programmées lors de l'enquête de terrain sur la perception du risque d'inondation (juin 2012). Il est apparu à cette occasion que 60 % des personnes sondées sont défavorables au nouvel aménagement urbain dans le delta. Personne n'imaginait en 2004 qu'il y aurait des aménagements ici. Les habitants qui pensent que le projet est une bonne initiative sont les plus aisés. Mais pour les autres cela signifie

qu'ils vont devoir partir s'installer vers d'autres lieux, et perdre leur emploi. Il y a donc un certain "malaise" de la population.

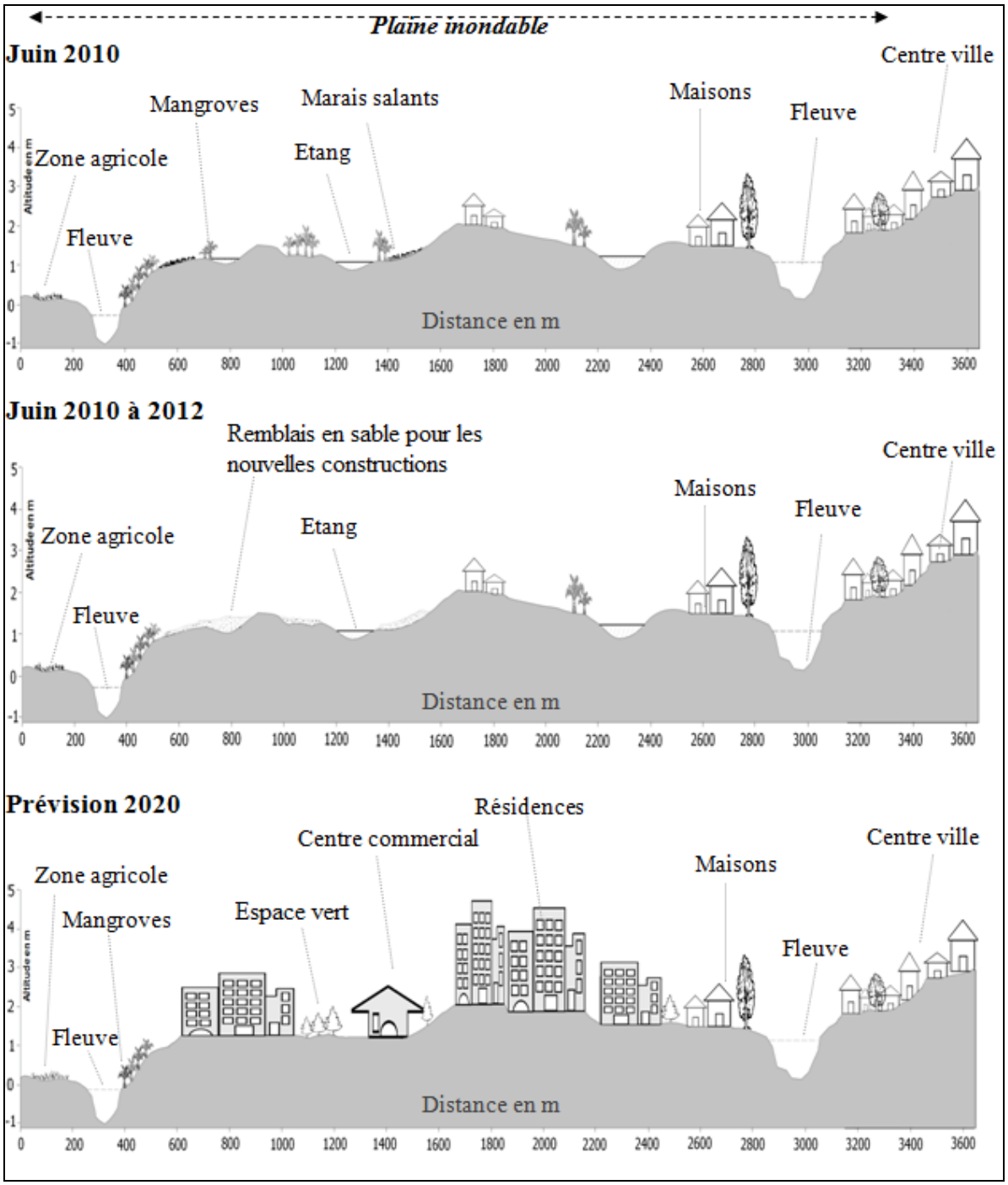


Figure 5.25. Evolution en coupe du nouveau quartier de la ville de Quy Nhon de 2010 à 2020 (Réalisation : Ngo, 2012)

5.2.3. Conflits d'usage et menaces sur l'environnement deltaïque

Le développement du nouveau projet urbain entraîne une réaffectation générale de l'usage des sols qui génère des menaces sur l'environnement deltaïque où il se situe, ainsi que des conflits d'usage qui ont des conséquences sociales dommageables. L'environnement

deltaïque est compris comme l'ensemble des éléments naturels du delta, les bras du fleuve, les plans d'eau et les zones humides, ainsi que la biocénose (végétation et faune).

Les menaces sur l'environnement fluvial, dans notre étude, sont une conséquence prévisible du projet de développement urbain. Elles comprennent la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines, ainsi qu'une incidence forte sur la biodiversité.

Pour expliquer ces menaces sur l'environnement fluvial, nous avons utilisé les deux cartographies participatives (Fig. 5.22 & 5.23), puis leur traduction dans le SIG (Fig. 5.26).

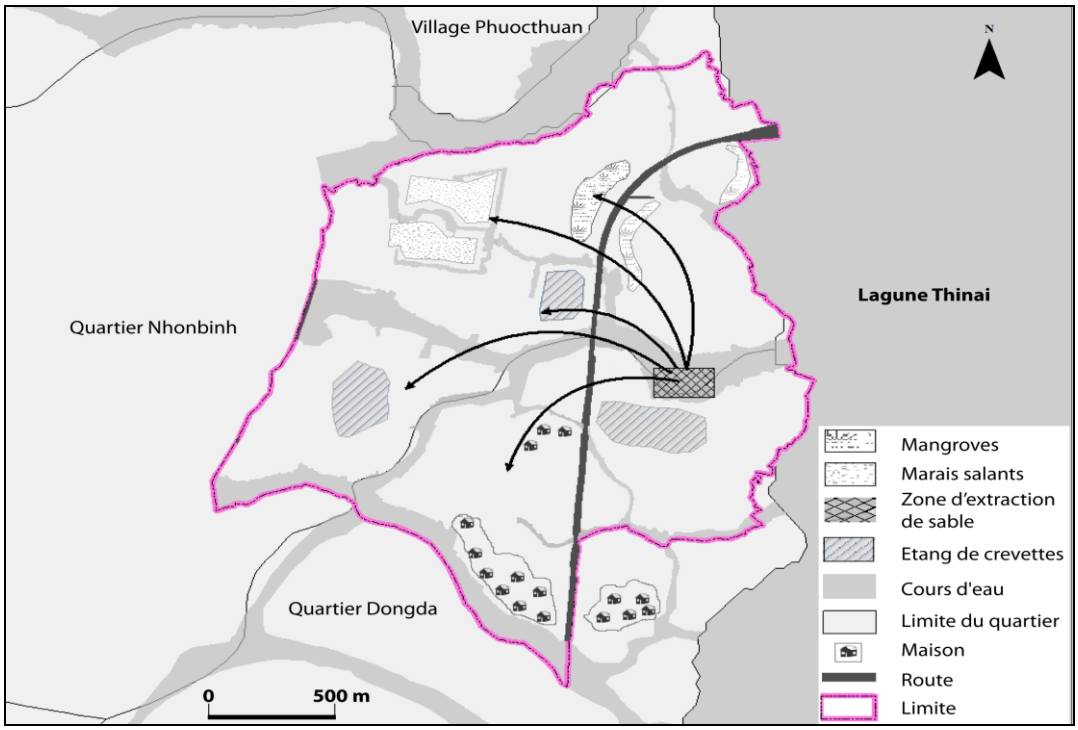


Figure 5.26. Réélaboration numérique de la carte participative dans le nouveau quartier (Réalisation : Ngo, 2012)

- pollution urbaine: la pollution causée par les déchets contribuera à l'accélération de la dégradation de l'environnement fluvial. « Chaque activité, chaque personne ou chaque utilisation de la technologie moderne a son propre impact sur l'écosystème de la mangrove et sur les populations locales » (Rapport de l'Office des publications officielles des Communautés européennes, 1992, p.68). En réalité, il n'y a aucune étude pour estimer les conséquences précises à long terme de ce problème.

Dans le futur, les nouveaux aménagements vont changer les conditions d'écoulement et pourraient aggraver les conséquences des inondations : rétrécissement du lit du fleuve Ha Thanh, bétonnage des bras du fleuve. Un goulet d'étranglement majeur à l'écoulement vers l'aval des eaux du fleuve Ha Thanh sera formé. Ce qui serait susceptible de ralentir l'évacuation des eaux de crue et d'augmenter la hauteur d'eau des inondations. Selon M.

TRAN Van Giai Phong, professionnel d'ISET (*Institute for Social and Environmental Trasition*) au Viêt-Nam, « Le problème, c'est que même en essayant de protéger ce nouveau quartier par la construction de digues, le risque d'inondation serait déplacé et aggravé dans d'autres quartiers et villages proches de cette zone » (Source : http://www.tinmoi.vn, conssulté le 7 juin 2013).

- conséquences sur la flore et la faune du delta :

Les sables du lit du fleuve Ha Thanh ont été extraits pour la construction des infrastructures et des bâtiments dans le nouveau quartier. Par conséquent, des petits étangs, des marais salants et des pisciculture ont été comblés et nivelés par le remblaiement du sable (Photographie 5.3). Grâce au SIG, nous pouvons estimer à environ 0,25 km^2 la superficie de mangrove située dans ces deux quartiers en 2010 (Fig. 5.27). La mangrove aura disparue en 2020 (Fig. 5.25). La perte de cet écosystème tropical entraînera une érosion de la biodiversité (diminution et disparition de l'abondance spécifique de poissons, crustacés et oiseaux dans le delta du fleuve Ha Thanh et la lagune de Thi Nai). La mangrove, des étangs et des marais salants vont bientôt disparaître, alors que ces zones humides peuvent jouer un rôle non négligeable dans la rétention et l'écrêtement "naturels" des crues (Manuels Ramsar 6e Edition., 2013; Tran, 2009).

Photographie 5.3. Sables du lit du fleuve Ha Thanh pour la construction (Photographie : Grivel, 2012)

La partie aval du delta du fleuve Ha Thanh sert de frayère pour de nombreuses espèces piscicoles comme les *Brachyamblyopus urolepis* (Bống Thụt Dài en Viêt-Namien), les *Glossogobius giuris* (Bống Cát en Viêt-Namien), les *Siganus fuscescens* (Dìa Trơn en Viêt-Namien) (Tran *et al.*, 2005). La mangrove est un habitat privilégié pour les crevettes *Lucifer*, *Sergestidae* (Tôm Quỷ en Viêt-Namien), *Mysidacea* (Tôm Cám en Viêt-Namien), et *Cumacea*

(Tôm Sen en Viêt-Namien) (Tran *et al.*, 2005). La préservation de la mangrove semble donc nécessaire pour maintenir une certain niveau de biodiversité (El *et al.*, 2013).

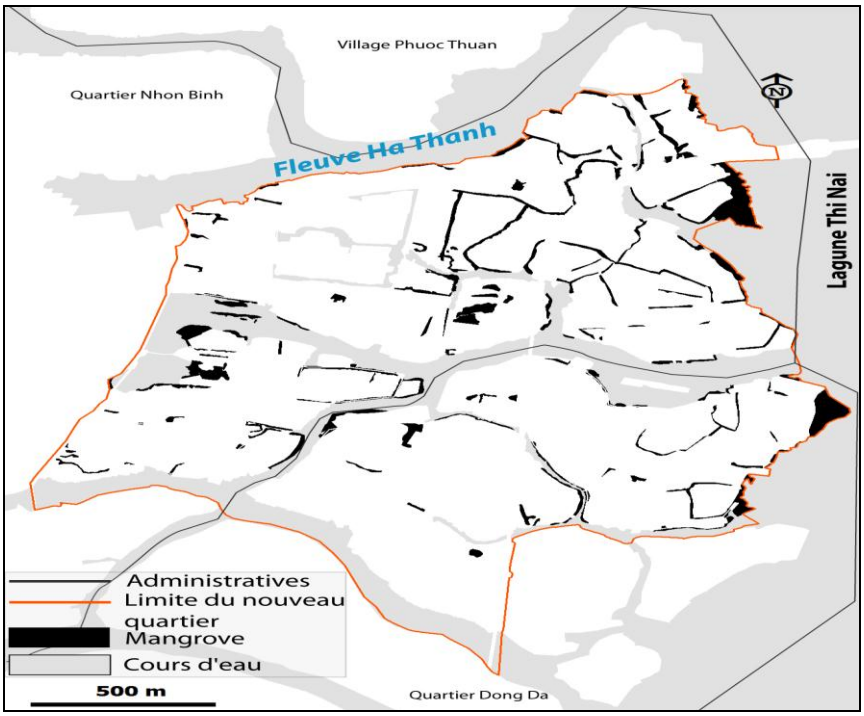


Figure 5.27. Zone de mangrove située dans le nouveau quartier en 2010 (Ngo, 2013)

Selon Tran et al (2005), le delta du fleuve Ha Thanh et la lagune de Thi Nai abritent une diversité d'espèces d'oiseaux typiques des forêts de mangrove comme : *Sterna hirundo* (Nhàn en Viêt-Namien), *Chlidonias hybridus* (Nhàn đen en Viêt-Namien), *Ardea cinerea* (Diệc xám en Viêt-Namien), *Mesophoyx intermedia* (Cò Ngàng nhỡ en Viêt-Namien). En 2012, la mangrove du delta est déjà réduite à quelques arbres épars sur le long des digues de pisciculture (Photographie 5.4).

Photographie 5.4. Résidus de mangrove le long des digues de pisciculture dans le nouveau quartier en 2012 (Photographie : Ngo, 2012)

- conflits d'usages et effets d'éviction :

Dans la plupart des cas au nord du quartier de Dong Da et au nord-est du quartier de Nhon Binh, l'exploitation des ressources halieutiques (poissons et crevettes) reste l'activité la plus importante, à côté du maraîchage. Comme suite à la construction du nouveau quartier urbain, les habitants ne pourront plus produire le sel, ni pratiquer l'aquaculture, et ne pourront plus pratiquer la pêche dans cette zone non plus. Malheureusement, ils ne savent même pas où ils vont se loger dans l'avenir, et ce qu'ils feront pour gagner leur vie. En effet, puisque le prix de l'indemnisation foncière n'est pas encore défini, il est très difficile pour les habitants de chercher un nouveau logement ailleurs. Par l'effet de prix inabordables, ils ne vont pas pouvoir vivre dans cette nouvelle zone urbaine.

* * * *

Le chapitre 5 nous a permis d'étudier les problèmes liés à la planification urbaine et au développement de la ville de Quy Nhon. Nous nous sommes particulièrement intéressés à l'impact de la planification et les projets de la nouvelle zone urbaine dans la zone inondable. En raison du changement climatique global, le centre du Viêt-Nam pourrait connaître une augnmentation du niveau de la mer (plus d'un mètre d'ici 2100) (MRNE, 2009). Un delta s'ajuste au niveau marin quand il est normalement alimenté en sédiments que la crue peut déposer librement. L'artificialisation du fleuve comme conséquence du renforcement de l'anthropisation du bassin versant et du développement urbain du delta tarit cette dynamique. En conséquence, cette zone sera une zone de plus en plus exposée au risque de submersion marine au fur et à mesure du temps. Les changements anthropogéniques programmés dans le delta sont donc préoccupants.

Ce chapitre complète l'évaluation environnementale qui a été conduite au chapitre 4 pour mesurer les conséquences et la spatialisation des enjeux associés aux phénomènes hydrologiques et à la typologie de l'utilisation du sol. Le prochain chapitre va donc nous permettre de compléter l'analyse du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh.

TROISIEME PARTIE

ETUDE DES VULNERABILITES

Chapitre 6 - Analyse de la vulnérabilité face au risque d'inondation

6.1. Etude du passage du Typhon Mirinae

6.2. Etat des lieux actuel

Chapitre 7 - Essai de modélisation hydrologique dans le bassin du fleuve Ha Thanh

7.1. Vers une modélisation du bassin du fleuve Ha Thanh

7.2. Résultats et limites des simulations

Chapitre 8 - Caractérisation de la vulnérabilité sociale dans le delta et interprétation des résultats du site de Quy Nhon

8.1. Spatialisation de la vulnérabilité sociale de la plaine inondable

8.2. Applicabilités de la modélisation 3D en zone inondable

8.3. Interprétation des résultats

L'évaluation environnementale est complétée dans ce chapitre par la prise en compte de la vulnérabilité sociale face au risque d'inondation. Il s'agit de répondre à un des objectifs majeurs de la thèse en confrontant les évènements hydrométéorologiques aux sociétés directement exposées. La crue historique de novembre 2009 a été générée par le passage du typhon Mirianae. Nous proposons d'y revenir longuement et d'extraire les enseignements utiles à notre étude de cyndiniques.

6.1. Etude du passage du Typhon Mirinae

Mirinae n'est pas le premier typhon à avoir inondé la province de Binh Dinh. Celui-ci a été précédé par les typhons Agnes (1984), Kyle (1993), ATND (1999) et Peipah (2007) qui ont longtemps fait référence pour cette partie de l'Asie du sud-est.

C'est pendant la saison cyclonique 2009 que la province de Binh Dinh a été touchée par le typhon Mirinae. Celui-ci a provoqué la plus grande inondation jamais arrivée depuis 45 ans, depuis la grande crue de 1964, dépassant les inondations provoquées par le typhon Kyle en 1993 (Source : Comité de lutte contre des Inondations-Tempêtes et des Recherches-Sauvetages des victimes de la province de Binh Dinh). Le typhon a frappé directement le bassin versant du fleuve Ha Thanh, où il a causé de graves dommages.

6.1.1. Caractérisation de l'évènement

Au matin du 10 octobre 2009, le JTWC (*Joint Typhoon Warning Center*) avait prévu qu'une zone de convection évoluerait en dépression tropicale environ 500 km au sud-est de Pohnpei, une île de l'archipel des îles Carolines située à l'est des Philippines. La tempête allait ensuite circuler vers l'ouest sur le front de la mousson.

Figure 6.1. Trajectoire du typhon Mirinae du 26 octobre 2009 au 2 novembre 2009 (Source : http://www.wfp.org)

Le 25 octobre 2009, cet évènement est classé en fin de journée comme une dépression tropicale faible par le JMA (*Japan Meteorological Agency*).

Au matin du 26 octobre 2009, Le NWS (*National Weather Service*) Tiyan de Guam prévoit que la dépression tropicale atteindra le statut de tempête tropicale dans les 48 heures (Fig. 6.1).

Le 28 octobre 2009, le nom de Typhon Mirinae lui est donné par le PAR (*the Philippine Area of Responsibility*). A ce moment, la trajectoire de Mirinae s'est incurvée vers le sud-ouest des Philippines. Il passe sur la province Quezon des Philippines dans la nuit du 30 octobre 2009.

Le 31 octobre 2009, le typhon atteint un pic de vent de plus de 160 km/h, frappe l'île de Luzon où il affecte la capitale Manille ainsi que neuf provinces des Philippines. Son passage sur l'archipel a causé 12 décès et l'évacuation de 115 000 habitants vivant dans les zones inondables (Source : http://vietbao.vn, consulté le 7 juin 2013).

Poursuivant sa course, le 1er novembre 2009, le typhon passe au-dessus de la mer de Chine méridionale, connue au Viêt-Nam sous le nom de « Mer de l'Est ». Il touche terre sur le continent le 2 novembre 2009. À ce moment, le Typhon Mirinae, 11e typhon de la saison au Viêt-Nam connaît une réduction de l'intensité du vent, avec un pic de vent d'environ 100 km/h. Cependant, le système perturbé est très étendu. Il frappe principalement la province de Binh Dinh, la province de Phu Yen, et les provinces des hauts plateaux (Fig. 6.2).

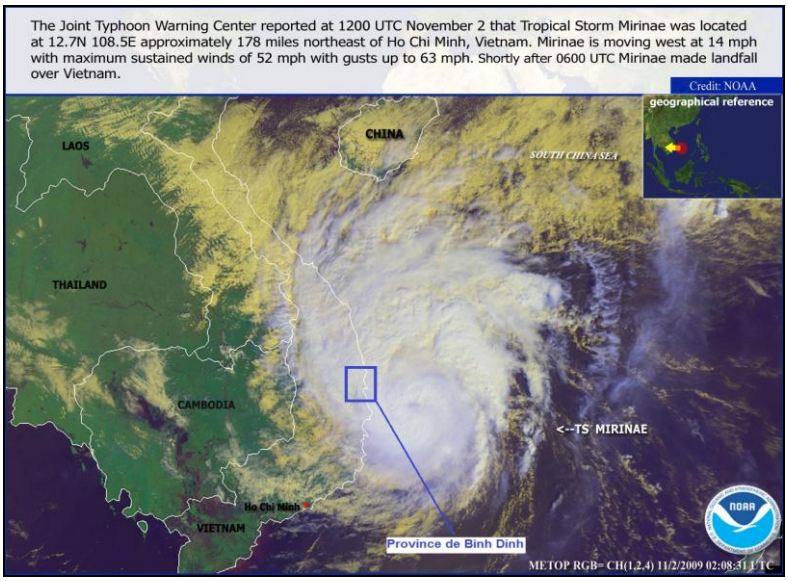


Figure 6.2. Etendue du typhon Mirinae sur l'Asie du sud-est (Source : http://www.osei.noaa.gov/OSEImedia.html)

A ce moment, le typhon se combine avec de l'air froid venu du nord (la mousson d'hiver) (DiGregorio et Huynh, 2012). Ce qui provoque de fortes pluies comme le montre la figure 6.3 avec les valeurs de pluie cumulée sur plusieurs heures.

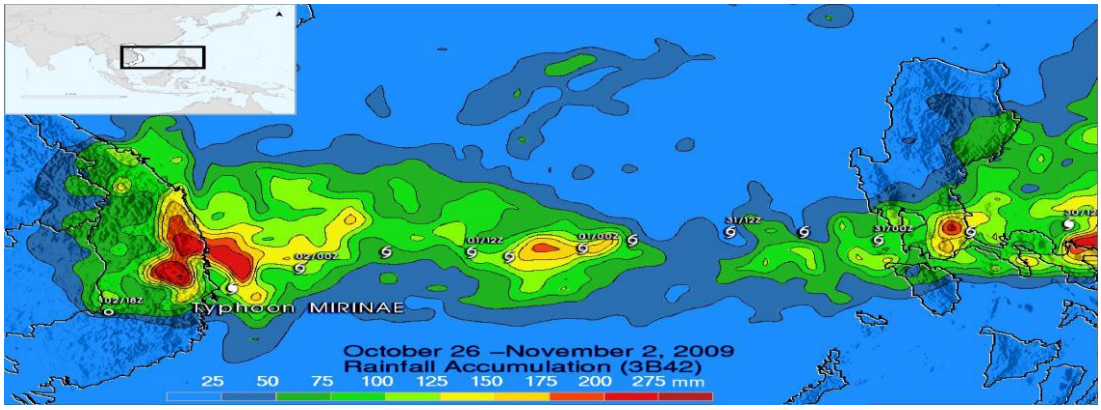


Figure 6.3. Chronologie et intensité des précipitations générées lors du déplacement du typhon Mirinae (Source : http://www.nasa.gov)

Selon M. BUI Minh-Tang, directeur du Centre des Prévisions Météorologie – Hydrologie du Viêt-Nam, le 1er novembre 2009 : " *C'est le plus fort typhon, sa vitesse de déplacement est très rapide. Il peut provoquer de fortes pluies dans 2-3 jours, avec des précipitations de 200 à 400 mm. La pluie affectera les provinces de Quang Binh à Khanh Hoa et ainsi les Hauts Plateaux* " (DiGregorio et Huynh, 2012, p.1).

Mirinae a provoqué de fortes pluies au sud de la province de Binh Dinh précisément dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Fig. 6.4).

Selon le Centre hydrométéorologique de la province de Binh Dinh, du 2 novembre 2009 7h au 3 novembre 2009 23h, le niveau d'eau a augmenté dans toutes les rivières et fleuves de la province, les pluies ont été denses et ont ainsi dépassé les niveaux 2 et 3 d'alertes de crue.

Dans la province de Binh Dinh, il existe 3 niveaux d'alertes de crue, du 1 au 3 pour les rivières de Lai Giang et de Kon (Tab. 6.1). Ces niveaux d'alertes de crue ne sont pas encore définis pour le fleuve Ha Thanh et la rivière de La Tinh.

Tableau 6.1. Niveaux d'alertes de crue dans les rivières de la province de Binh Dinh

Rivière	Station	Niveau 1 (m)	Niveau 2 (m)	Niveau 3 (m)
Lai Giang	Bong Son	≥ 6,00	≥ 7,00	≥ 8,00
	An Hoa	≥ 22,00	≥ 23,00	≥ 24,00
Kon	Thanh Hoa	≥ 6,00	≥ 7,00	≥ 8,00
	Binh Tuong	≥ 21,50	≥ 23,00	≥ 24,50
	Binh Nghi	≥ 15,50	≥ 16,50	≥ 17,50
	Vinh Son	≥ 71,00	≥ 72,50	≥ 74,00

(Source : Centre hydrométéorologique de la province de Binh Dinh)

(Niveau 1 : faible danger ou danger limité ; Niveau 2 : fort danger ou danger marqué ; et Niveau 3 : très fort danger)

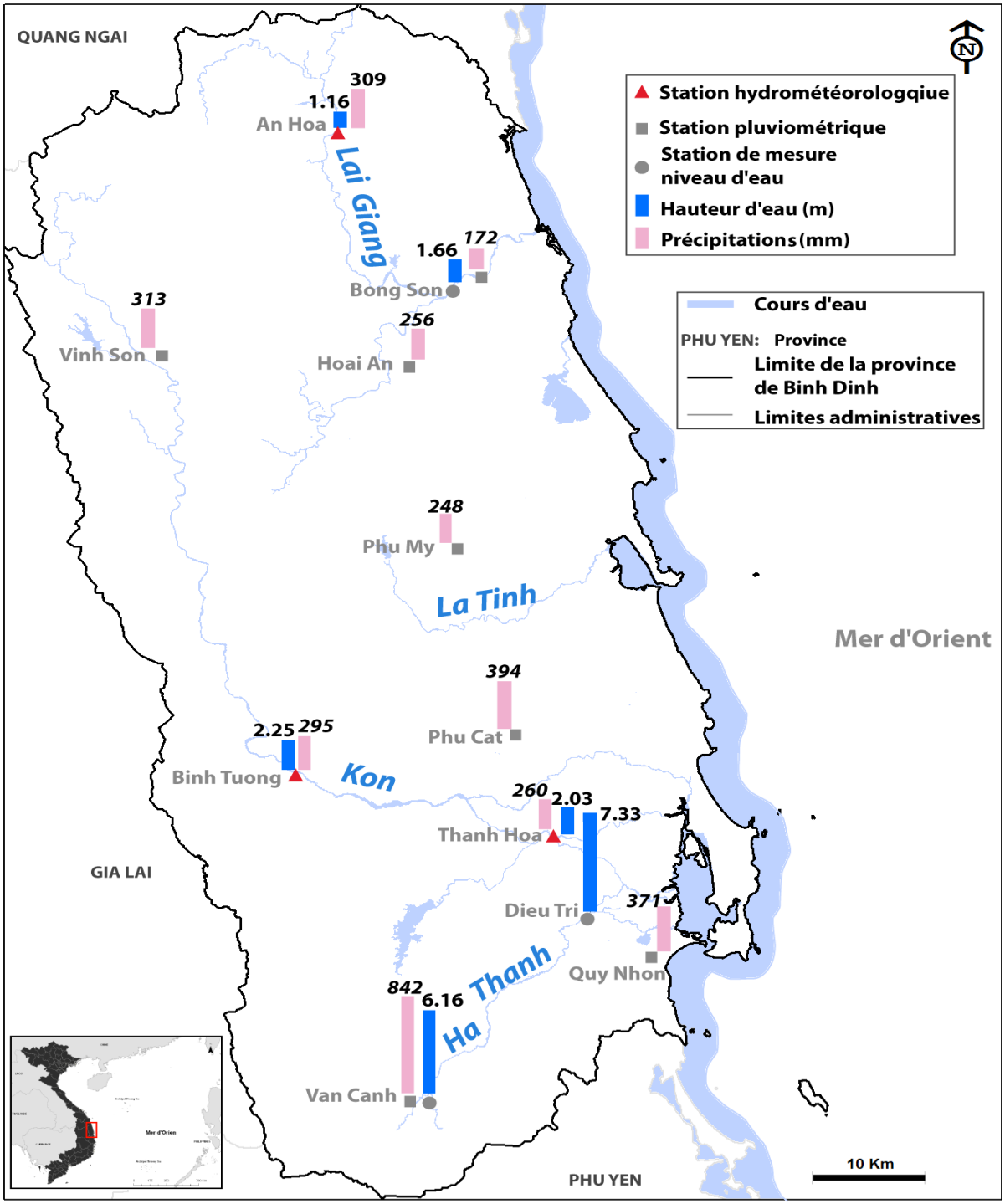


Figure 6.4. Précipitations et pics de niveaux d'eau dans les cours d'eau de la province de Binh Dinh du 2 novembre, à 7h00, au 3 novembre 2009, à 23h (Source : Centre hydrométéorologique de la province de Binh Dinh. Réalisation : Ngo, 2013)

- Sur la rivière de Lai Giang, on a mesuré 309 mm de précipitations et la crue a atteint 7,16 m de hauteur, elle a dépassé le niveau 2 d'alerte de crue soit 0,16 m (22h, le 2 novembre 2009) à la station météohydrologique d'An Hoa, et 172 mm de précipitations et la hauteur de crue de 1,66 m à la station de Bong Son (8h, le 3 novembre 2009), ce qui a dépassé le niveau 2 d'alerte de crue soit 0,66 m (Fig. 6.4);

- Sur la rivière La Tinh, on a mesuré 248 mm de précipitations à la station de Phu My (23h), le 2 novembre 2009 (Fig. 6.4);

- Sur la rivière de Kon, on a mesuré 295 mm de précipitations, 2,25 m de hauteur d'eau, et dépassé le niveau 2 d'alerte de crue qui est de 0,75m à la station de Binh Tuong (10h, le 3 novembre 2009). On a aussi mesuré 260 mm de précipitations, 2,03 m de hauteur d'eau, dépassé le niveau 3 d'alerte de crue et de 1,53 m à la station de Thanh Hoa (14h, le 3 novembre 2009) (Fig. 6.4);

- Le typhon a déversé 842 mm de précipitations sur l'amont du bassin versant du fleuve Ha Thanh les 2 et 3 novembre et on a enregsitré une hauteur d'eau de 6,16 m à la station de Van Canh 22h, le 2 novembre 2009 située à l'amont du fleuve Ha Thanh, (Fig. 6.4) ; pour l'aval du fleuve Ha Thanh, on a mesuré une hauteur d'eau de 7,73 m à la station de Dieu Tri (1h, le 3 novembre 2009) (Fig. 6.4 & 6.5), et 371 mm de précipitations à la station de Quy Nhon (Fig. 6.4).

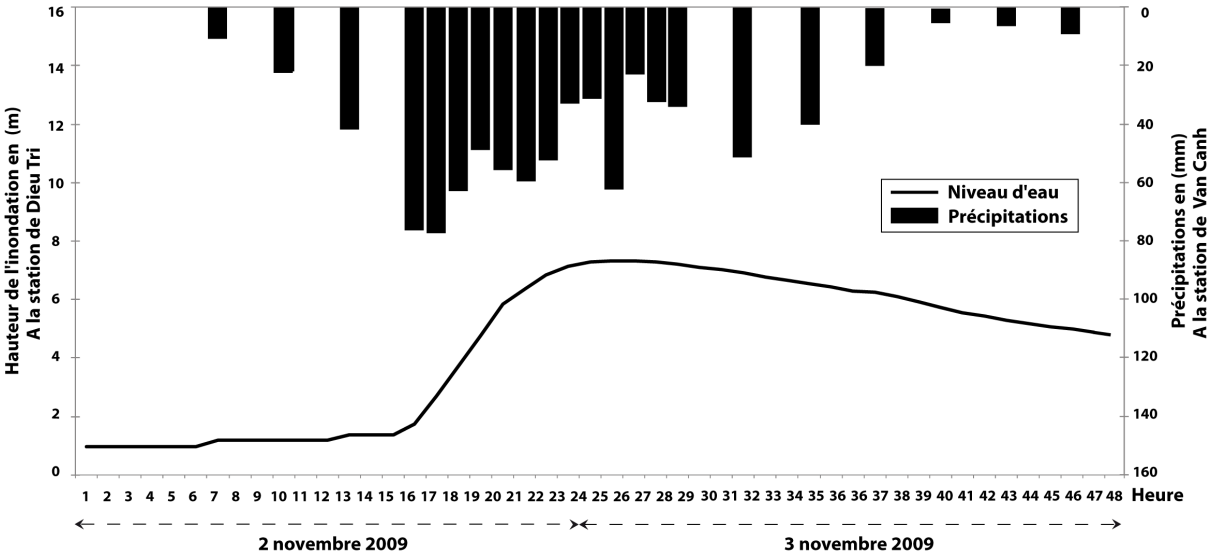


Figure 6.5. Histogramme des précipitations et hauteurs de l'inondation relevées à la station météorologique de Van Canh et à la station hydrologique de Dieu Tri du 2 novembre à 7h00, au 3 novembre 2009 à 0h00 (Source : Centre hydrométéorologique de la province de Binh Dinh, 2012. Réalisation : Ngo, 2013)

Comme le montre la figure 6.5, des pluies intenses ont été enregistrées le 2 novembre à partir de 16h à la station météorologique de Van Canh. La crue se forme très rapidement et s'écoule vers le delta.

Le 2 novembre 2009 de 16h à 17h, le niveau d'eau du fleuve Ha Thanh monte à 3 m en amont de son bassin versant.

Le 2 novembre 2009 de 18h à 19h, le niveau d'eau du fleuve Ha Thanh est monté à environ 4 m à la station de Dieu Tri située à la tête du delta.

Le 2 novembre 2009 de 20h à 22h, la montée d'eau du fleuve Ha Thanh s'est effectuée très vite, un pic de crue de 6,5 m est enregistré à la station de Dieu Tri.

Le 2 novembre 2009 de 23h à 0h, la première inondation submerge le delta du fleuve Ha Thanh. L'inondation atteint un niveau d'eau de 7 m dans le delta (Fig. 6.5). Bien que surélevé sur une digue de 5,2 mètres, le hameau de Luat Le du village de Dieu situé en amont du delta est submergé sous 1,8 m d'eau (Fig. 6.6). Les villages sis au centre du delta ont été submergés par 1,4 m à 1,6 m d'eau. C'est le cas, par exemple du hameau de Phu Hoa, du quartier de Nhon Phu où on a mesuré 1,4 m d'eau, et du hameau de Binh Thanh avec le quartier de Nhon Binh où la crue a atteint 1,6 m. Dans le hameau de Van Ha, l'inondation dépasse 2,5 m (DiGregorio et Huynh, 2012) (Fig. 6.6).

Le 3 novembre 2009, de 0h à 3h, s'est produit la deuxième inondation dans ce delta. Les fortes pluies ont persisté, avec un cumul de 127 mm de précipitations pendant 3 heures (Fig. 6.5). Le pic de la crue atteint 7,33 m (Fig. 6.4). Le hameau de Cay Dua du quartier de Nhon Binh a été submergé par 1,7 m d'eau entre 1h et 2h du matin, le 03 novembre 2009 (DiGregorio et Huynh, 2012). Jusqu'à 4h du 03 novembre 2009, le hameau de Phu Hoa a été submergé par 2,6 m d'eau (Fig. 6.6).

Le 3 novembre 2009 de 4h à 18h, le delta était encore inondé par la grande crue, le niveau d'eau du fleuve Ha Thanh a reculé lentement de 7 à 6 m. A ce moment, les zones situées nord-est du quartier de Nhon Binh, au nord du quartier de Dong Da et au nord-est du village de Phuoc Thuan ont été également submergées.

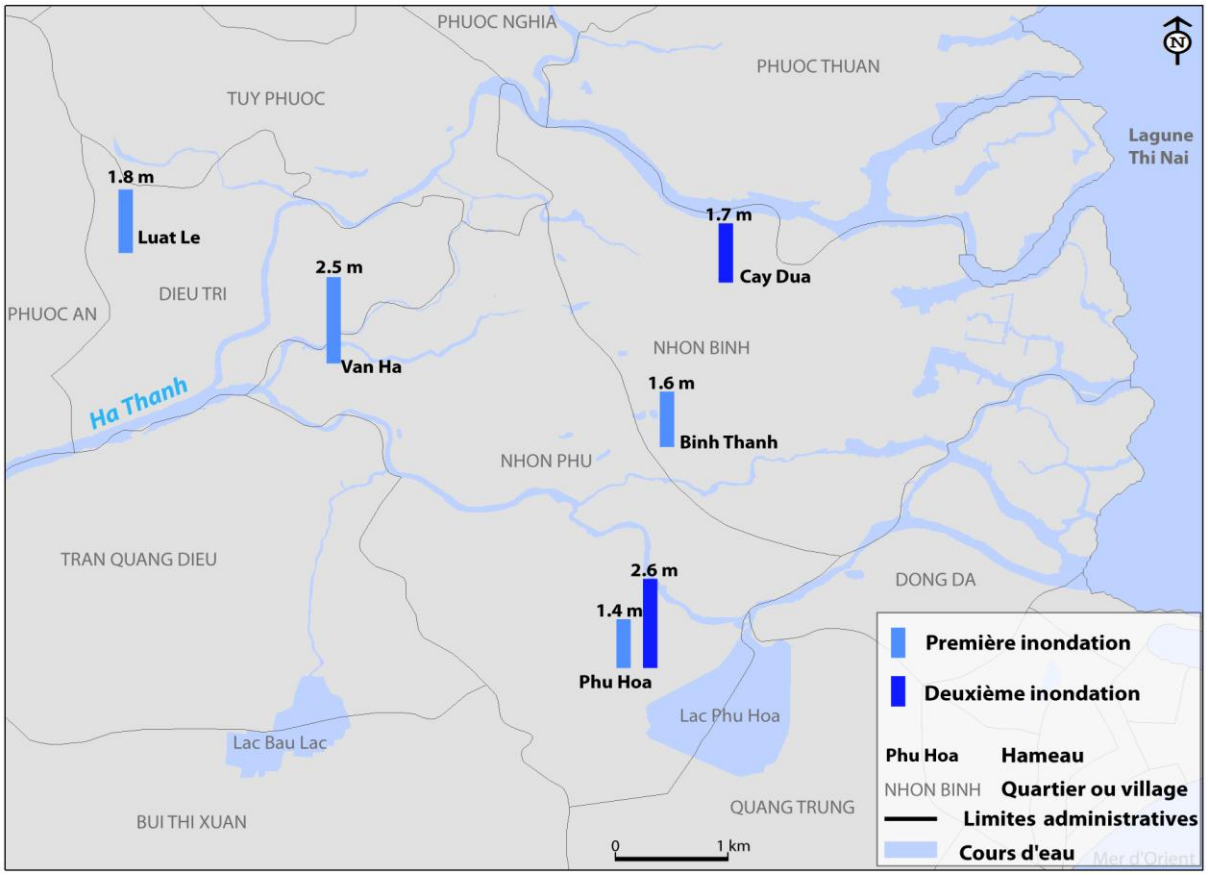


Figure 6.6. Hauteurs d'eau dans les hameaux du delta du fleuve Ha Thanh (2-3/11/2009)

(Source de donnée : DiGregorio et Huynh, 2012. Réalisation : Ngo, 2013)

Le 3 novembre 2009, de 18h à 23h, le typhon est passé au Cambodge, puis il s'est affaibli comme simple dépression. En même temps, la pluie a cessé, mais le niveau d'eau du fleuve Ha Thanh a diminué lentement. L'aval du fleuve Ha Thanh et de la rivière Kon ont été encore inondés jusqu'à la fin du 4 novembre 2009 (Photographie 6.1).

Photographie 6.1. Exemple de maisons inondées lors de la tempête Mirinae (Source: Reuters)

Selon les autorités locales, le Typhon Mirinae a provoqué une inondation historique en 2009, en particulier dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh et l'aval du bassin versant de la rivière de Kon. La crue maximale de 7,33 m pulvérise un record précédemment établi en 1964 (Source : http://www.baomoi.com, consulté le 10 juin 2013). La figure 6.7 ci-dessous montre l'évolution des pics des niveaux d'eau maximum à la station de Dieu Tri depuis 1994.

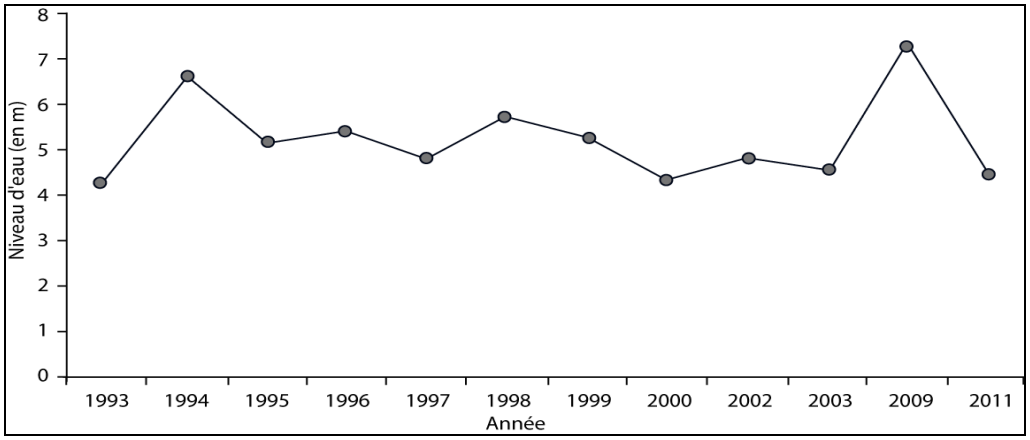


Figure 6.7. Evolution des pics des niveaux d'eau maximum à la station de Dieu Tri du fleuve Ha Thanh (1994-2011)

(Source : Comité de lutte contre des Inondations-Tempêtes et des Recherches-Sauvetages des victimes de la province de Binh Dinh et Centre d'hydrométéorologie de la province de Binh Dinh. Réalisation : Ngo, 2013)

Les pics des niveaux d'eau sont souvent de 4,5 m à 5,5 m pendant la saison des crues mais, en 2009, la grande crue du fleuve Ha Thanh a atteint un maximum soit 7,33 m, bien plus élevée que l'inondation jugée historique en 1993 (6,66 m)-(Fig. 6.7).

6.1.2. Conséquences et spatialisation des enjeux touchés

Le bilan des dommages est dressé le 30 novembre 2009, dans le rapport du Comité de contrôle des Inondations et des Typhons du Viêt-Nam (CCFSC, 2009). Le Typhon Mirinae a causé des dommages très graves dans les provinces du Centre-sud (Binh Dinh, Khanh Hoa, Ninh Thuan, Phu Yen et Quang Ngai) et les hauts plateaux (Dac Lac et Gia Lai). On dénombre 124 décès et 22 personnes sont portées disparues. De plus, 168 personnes ont été blessées (Tab. 6.2).

L'estimation des dégâts matériels s'élève à 5 796 milliards de dongs Viêt-Namiens (214, 66 millions d'euros) (Tab. 6.2). La province de Binh Dinh est parmi les plus durement touchées.

Tableau 6.2. Bilan du passage du Typhon Mirinae dans les provinces touchées

Province	Décès	Disparus	Blessés	Estimation des dégâts en millions d'euros de 2013
Binh Dinh	*22*	*2*	*35*	*41,11*
Dac Lac	1	1	20	6,15
Gia Lai	6	0	0	37,04
Khanh Hoa	14	3	9	14,07
Ninh Thuan	1	0	0	1,54
Phu Yen	80	16	97	114,00
Quang Ngai	0	0	7	0,74
Total	**124**	**22**	**168**	**214,66**

*(Source : Comité de Contrôle des Inondations et des Typhons du Viêt-Nam - www.ccfsc.gov.*vn)

a) Conséquences dans la province de Binh Dinh

Binh Dinh est la deuxième province pour les dégâts causés par le typhon Mirinae (Tab. 6.2). Ce typhon et les inondations qu'il a provoqué ont causé des pertes humaines et dégâts matériels dans toute la province :

- 22 personnes sont décédées, dont 5 sur le territoire de la ville de Quy Nhon;

- 2 autres personnes sont portées disparues, 1 sur le territoire de la ville de Quy Nhon et 1 autre dans le district de Van Canh;

- 35 personnes ont été blessées;

- 523 maisons se sont effondrées, 6 079 ont été endommagées, souvent au niveau de la toiture du fait des dégâts dus au vent;

- Plusieurs services publics sont perturbés : 1 salle de classe s'est effondrée, 478 autres salles de classe ont été endommagées, 4 953 manuels scolaires ont été détruits par l'eau, des centaines de tables et chaises scolaires ont été emportées par l'inondation. 24 hopitaux et dispensaires ont été endommagés. (Source : Comité de contrôle des Inondations et des Tempêtes du Viêt-Nam, et Comité de lutte contre des Inondations-Tempêtes et des Recherches-Sauvetages des victimes de la province de Binh Dinh).

b) Spatialisation des enjeux touchés dans la province de Binh Dinh

C'est à partir du rapport de Comité de contrôle des Inondations-Tempêtes et de Recherche-Sauvetage de la province de Binh Dinh en 2009 que nous sommes en mesure de spatialiser les enjeux touchés dans la province de Binh Dinh.

Les inondations ont affecté presque tous les districts (An Nhon, Phu Cat, Tay Son, Tuy Phuoc et Van Canh) et la ville de Quy Nhon dans deux bassins versants des fleuves Ha Thanh

et Kon, sauf les quartiers et villages les plus surélevés. En outre, il y a eu 52 030 maisons inondées. Pendant la crue, des milliers de personnes se sont réfugiés sur les toits (Photographie 6.2) :

- plus spécifiquement, 16 quartiers et villages de la ville de Quy Nhon ont été inondés : soit un peu plus de 75 % du territoire municipal. En moyenne, la crue a été de 0,5 m à 1,5 m, et plus de 3 m dans certains lieux;
- district de Tuy Phuoc : 8 villages et 2 bourgs ont été inondés à 60 % par, en moyenne, entre 0,5 et 1,7m d'eau, certains lieux ont été submergés sous plus de 2,5 m à 3 m d'eau;
- district de Van Canh : 5 villages et 1 bourg ont été inondés à plus de 70 % par, en moyenne, entre 0,5 et 1,5m d'eau, certains lieux ont été submergés sous plus 3 m d'eau;
- entre 40 % et 50 % des districts d'An Nhon, Phu Cat et Tay Son ont été inondés par, en moyenne, entre 0,4 et 1,5m d'eau, certains lieux ont été submergés sous plus de 2,5 m d'eau.

Photographie 6.2. Maisons inondées dans le quartier de Nhon Binh à Quy Nhon, 3 novembre 2009 (Souce : http://www.baobinhdinh.com.vn/)

Les secteurs économiques ont tous été affectés par l'inondation historique.

+ Agriculture : la superficie totale de rizières inondées s'élève à 43,40 km^2; 62,94 km^2 de cultures maraîchères (épinards, liseron d'eau, ciboules…) et 8,40 km^2 de cultures intensives (maniocs, patates douces, maïs…) ont également été inondés.

+ Semences et animaux d'élevage : plus de 900 tonness de riz de semences sèches ont été inondés; 30 294 buffles / vaches, 56 934 porcs et 234 456 volailles ont été noyés.

+ Aquaculture: 57 tonnes de poissons et crevettes se sont échappées de leur enclos, 12,78 km^2 de bassins à poissons/crevettes ayant été inondés.

+ Transports : dans toute la province, on a dénombré 149 km de routes endommagées, 184 185 m^3 de gravats, 107 380 m^2 de surfaces asphaltées ou bétonnées ont été endommagées (Photographie 6.3); 86 ponts ont été submergés.

- la route nationale A1 a été inondée sur une longueur de plus de 15 km (zones de Dieu Tri et Phu Tai). Elle a été recouverte, en moyenne, de 0,4 m à 1 m d'eau, avec plus de 1,2 m d'eau par endroits.

- la route nationale *1D* a été inondée sur une longueur de plus de 4 km (zone de Long Van, Phu Hoa, Khu Vuc 4 et Tay Son). Elle a été recouverte, en moyenne, de 0,5 m à 1 m, avec plus de 1,3 m d'eau par endroits.

Photographie 6.3. Dégats sur les voies de communication dans les districts de Nhon Binh et de Dong Da à Quy Nhon (4 novembre 2009)

- Chemin de fer : les voies ferrées ont été inondées en 2 endroits sur des dizaines de kilomètres. Les voies ont été endommagées et érodées (Photographie 6.4) : la gare de Dieu Tri, située dans le bourg de Dieu Tri, a été inondée par 0,3 m à 1 m d'eau et la gare de Quy Nhon, située en centre-ville, a été submergée par 0,5 m à 1 m d'eau.

A cause de ces inondations, 14 trains ont été annulés (SE1, SE3, SE5, SE7 et NT1 entre Hanoï et Saïgon ; SE2, SE4, SE6, TN2 entre Saïgon et Hanoï ; SQN1 et SQN2 entre Saïgon et Quy Nhon, et vice versa ; SH1, SH2 entre Saïgon et Hué et vice versa (Source : http://vnexpress.net, consulté le 11 juin 2013). En outre, les vols (Viêt-Nam Airline) ont aussi été annulés au départ ou à destination de Quy Nhon vers Ho Chi Minh-Ville ou Hanoï et vice versa. Cette paralysie a causé beaucoup de dégâts économiques pour le secteur des transports à l'échelle de la province mais également à l'échelle du pays (coupure des liaisons Nord-Sud).

Photographie 6.4. Endommagements sévères de l'unique voie ferrée, dans le quartier de Dong Da (9h, le 4 novembre 2009) (Source : http://www.BinhDinhffc.com)

- Presque toutes les rues du centre-ville de Quy Nhon ont été recouvertes par 0,4 m à 1 m d'eau, éventuellement plus de 1,3 m d'eau par endroits (Photographie 6.5). Les déplacements ont été très perturbés et la ville de Quy Nhon a été isolée.

Photographie 6.5. Rue de Tran Hung Dao du quartier de Tran Hung Dao (3 novembre 2009) (Souce : CCCO-http://ccco.Binh Dinh.gov.vn/, 2011)

+ Communications et énergie : environ 14,20 km de câbles téléphoniques, d'Internet et aussi de télévision ont été cassés, 561 poteaux électriques sont tombés et 7 transformateurs ont été inondés.

+ Ouvrages hydrauliques et digues :

- 15 réservoirs ont été érodés et inondés, 8 évacuateurs de crues endommagés et 19,48 km de canaux ont été comblés par les glissements de terrain;

- on a mesuré 6,72 km de rupture de digues dans les bassins versants du fleuve Ha Thanh et de la rivière de Kon. 27,72 km de digues maritimes érigées pour empêcher la salinisation des nappes ont été submergées par 0,2 m à 0,8 m d'eau.

Estimation totale des dégâts dans la province : 41,11 millions euros, dont 15,98 millions euros pour la seule ville de Quy Nhon : (soit de 39 % du total). Mirinae est à lui seul responsable de 83 % des dommages enregistrés dans la province de Binh Dinh pendant l'année 2009 (CCFSC, 2010).

6.1.3. Gestion de crise et perception de l'évènement

a) Avant l'évènement

Avant que le Typhon Mirinae ne passe au-dessus du Viêt-Nam, le Comité de Contrôle des Inondations et des Typhons du Viêt-Nam a tenu une réunion d'urgence le 30 octobre 2009 après-midi. A cette occasion, le Vice-Premier ministre HOANG Trung Hai a déclaré que, « *Bien que le Typhon Mirinae est encore loin du Viêt-Nam on ne peut pas préciser exactement que ce typhon va frapper le pays. Mais nous devons être proactifs pour la lutte contre le typhon* ». Le vice-Premier ministre a demandé aux provinces du Centre, des Hauts Plateaux et du Nord situées sur la trajectoire du typhon d'activer la préparation des plans « 4 sur place » (« 4 tại chỗ » en Viêt-namien), c'est-à-dire : "commandement, force d'intervention, communication-matériel et logistique" (Source : http://dantri.com.vn, consulté le 12 juin 2013).

Pour la province de Binh Dinh, le Comité populaire de la province a demandé à la direction de renforcer les capacités du Comité de lutte contre des Inondations-Tempêtes et des Recherches-Sauvetages des victimes du niveau provincial au niveau communal, avec la devise principale « 4 sur place » du niveau provincial au niveau villageois.

b) Aux approches de l'évènement

Le Comité de lutte contre des Inondations-Tempêtes et des Recherches-Sauvetages des victimes de la province diffuse les alertes sur la radio et la télévision pour l'événement en cours. L'accent est mis sur la prévention du typhon, ce qui consiste principalement à demander aux personnes de protéger leur maison, notamment la toiture et d'assurer l'élagage des arbres.

- *commandement sur place* du niveau provincial au niveau villageois : suivre l'évolution du typhon Mirinae sur la télévision, la radio ou l'annonce urgente par le Centre National de Prévision hydrométéorologique et le Centre de hydroétéorologique de la province de Binh

Dinh au 1er novembre 2009. En cas d'urgence, décider de recourir au plan d'évacuation des personnes.

- *force d'intervention sur place* du niveau provincial au niveau villageois : des groupes, d'environ de 15 à 20 personnes par hameau, se tiennent prêt à effectuer des recherches et des opérations de sauvetage des victimes.

- *communication/matériel sur place* du niveau provincial au niveau des villages : on prépare radios, bateaux, canoës, bambous et sacs de sable.

- *logistique sur place* du niveau provincial au niveau des villages, on prévient les populations qu'elles doivent faire des réserves alimentaires, en eau potable et en médicaments...

c) Pendant l'évènement

Le 2 novembre 2009 après-midi, les chefs de province, le Conseil populaire de la province, le Comité populaire provincial de Binh Dinh et le commandant du Centre de lutte contre les Inondations-Tempêtes et les Recherche-Sauvetages des victimes du niveau provincial au niveau district, ont estimé que la ville de Quy Nhon, les districts de Tuy Phuoc et de Van Canh étaient exposés au risque d'impact du typhon Mirinae.

- le 2 novembre 2009 à 23h, le delta du fleuve Ha Thanh est déjà inondé de 1,5 m à 1,8 m. A ce moment, les habitants vivant à proximité de l'évacuateur de crue numéro 1 (Tràn Số 1 en viêt-namien) du quartier de Nhon Phu ont été surpris par les inondations qui étaient de 1 m à 1,5 m. Dans le même temps, aucun moyen de sauvetage n'était opérationnel (DiGregorio et Huynh, 2012).

- le 3 novembre 2009 à 2h, les troupes de choc ont fait leur apparition. Mais l'eau de crue qui s'écoule très rapidement et la nuit ont rendu les opérations de sauvetage de victimes très difficiles dans les zones inondées (CITRS, 2010).

- le 3 novembre 2009 au matin, les autorités ont mobilisé 2 058 soldats et 91 véhicules blindés et embarcations de sauvetage pour le sauvetage de 1 856 personnes situées dans les zones inondées (DiGregorio et Huynh, 2012)-(Photographie 6.6). De plus, 800 policiers de la province et 15 canots de sauvetage sont déployés pour le sauvetage de 455 personnes, et l'approvisionnement alimentaire, en eau potable, et en médicaments pour les habitants encore dans les zones inondées (CITRS, 2010).

- le 3 novembre 2009 après-midi, 2 hélicoptères de la zone militaire 5, basés à Da Nang, ont été mobilisés pour le sauvetage des personnes et le largage de nouilles instantanées et d'eau potable sur les zones inondées (quartiers de Nhon Binh, de Nhon Phu, de Dong Da...)-(Source : http://www.baoBinh Dinh.com.vn, consulté le 13 juin 2013).

La route nationale A1 était inondée, donc les sauveteurs ont eu du mal à intervenir dans la ville de Quy Nhon et les districts de Tuy Phuoc, Van Canh. Pendant ce temps, des milliers de personnes étaient en attente des secours.

Photographie 6.6. Tank pour la recherche et le sauvetage de victimes dans la ville de Quy Nhon (3 novembre 2009) (Source : http://www.baoBinhDinh.com.vn)

Au matin du 4 novembre 2009, bien que le typhon soit passé, la décrue se fait lentement dans les zones touchées (Nhon Binh, Dong Da et Phuoc Thuan).

d) Après l'événement

Le 4 novembre 2009 à 13h, le Chef de la police de la province de Binh Dinh a mobilisé 3 camions de pompiers pour l'approvisionnement en eau des quartiers de Bui Thi Xuan, de Nhon Binh, de Nhon Phu et de Tran Quang Dieu (DiGregorio et Huynh, 2012). En outre, le vice-Première ministre HOANG Trung Hai est venu dans la province de Binh Dinh pour superviser les opérations de secours et de nettoyage des débris laissés par le typhon Mirinae. Il apporte à la province le soutien de 4,45 millions euros et 5 500 tonnes de riz (CITRS, 2010).

Dans les jours qui suivent, le Comité populaire de la province de Binh Dinh effectue des visites de condoléance et d'aide aux familles endeuillées.

Les centres de soins ont fourni des médicaments et des soins aux sinistrés. Puis, le Département de l'Agriculture et du Développement rural de la province de Binh Dinh a apporté son soutien en distribuant des semences de riz aux paysans sinistrés. Le Département des transports a fait réparer les routes endommagées et érodées par cette inondation. Le Département de l'irrigation a fait réparer les digues endommagées et construire de nouvelles digues.

Le bilan de la protection civile est mitigé. La prévision de l'orientation du Typhon Mirinae a été satisfaisante, mais l'ampleur de l'inondation dans cette province n'a pas été anticipée ; les plans d'évacuation et de secours ont manqué de scénarios appropriés à l'ampleur et à l'étendue des inondations. La cartographie du risque d'inondation était d'ailleurs inexistante. C'est dans la

nuit 2 au 3 novembre 2009, entre 22h et 2h du matin, que les lacunes de la protection civile ont été soulignées et critiquées. Aucun système d'alerte contre les inondations n'a fonctionné et les autorités n'ont activé aucun dispositif de secours pendant la nuit, au plus fort de la montée des eaux. De plus, la préparation selon le slogan « 4 sur place » s'est avérée défaillante et nombre d'habitants des zones inondées n'ont reçu aucun secours.

6.2. Etat des lieux actuel

Quatre ans après ces faits, l'inondation historique qui a accompagné le passage du typhon Mirinae est encore présente à l'esprit des habitants directement touchés par cet événement hydrométéorologique. En outre, l'événement a suscité de nombreuses conférences et réunions organisées par les autorités locales et, des études ont été produites sur cet événement. A titre d'exemple, le CITRS édite en 2010, « Le rapport des catastrophes dans la province de Binh Dinh en 2009 » et en 2012 « Analyse des résultats des inondations du 2 novembre 2009 dans le quartier de Nhon Binh de la ville de Quy Nhon » est rapportée par DiGregorio et Huynh (2012). Ces rapports et études analysent les causes, les conséquences et les corrections à apporter aux dispositifs de prévention et de protection des risques liés aux typhons afin de proposer des solutions pour le futur. Cependant, ils se concentrent principalement sur l'évaluation qualitative et quantitative des dommages. Ils ne s'intéressent pas beaucoup à l'analyse des causes des inondations, ni aux opinions des habitants sur la lutte contre les inondations et les typhons. Nous proposons ainsi d'apporter des éléments de compréhension complémentaires à ces études afin d'entrer dans une logique d'anticipation des changements environnementaux futurs et des conséquences des évènements hydrométéorologiques.

6.2.1. Résultats des enquêtes et typologie de la perception du risque d'inondation

Pour ce faire, nous mettons en œuvre une enquête auprès des populations du delta durement touché par la crue historique. Les sites sélectionnés ont ainsi pour particularité de se trouver en zone inondable. Il s'agit des quartiers de Nhon Binh, Dong Da, des villages de Phuoc Nghia et Phuoc Thuan situés dans le delta du fleuve Ha Thanh (Fig. 2.29 du chapitre 2, p.87). L'objectif était de disposer d'un échantillon de terrains diversifiés soumis au risque d'inondation en juin 2012.

98 personnes ont accepté de répondre au questionnaire sur la vulnérabilité au risque d'inondation. Les résultats des entretiens sont complétés par des protocoles d'enquête avec 26 questionnaires (Fig. 6.8) et (Annexe 6). Les questionnaires concernent 11 sites en lien avec les profils topographiques dressés dans le lit du fleuve, de manière à mieux coupler les hauteurs d'eau relevées dans les maisons et le fond du lit fluvial. Certains sont répartis dans le nouveau quartier à

la sortie du delta, le long de la route menant au pont de Thi Nai (Fig. 6.9). Nous avons lancé un essai de cartographie participative auprès des résidents du quartier récent (entretien de groupe).

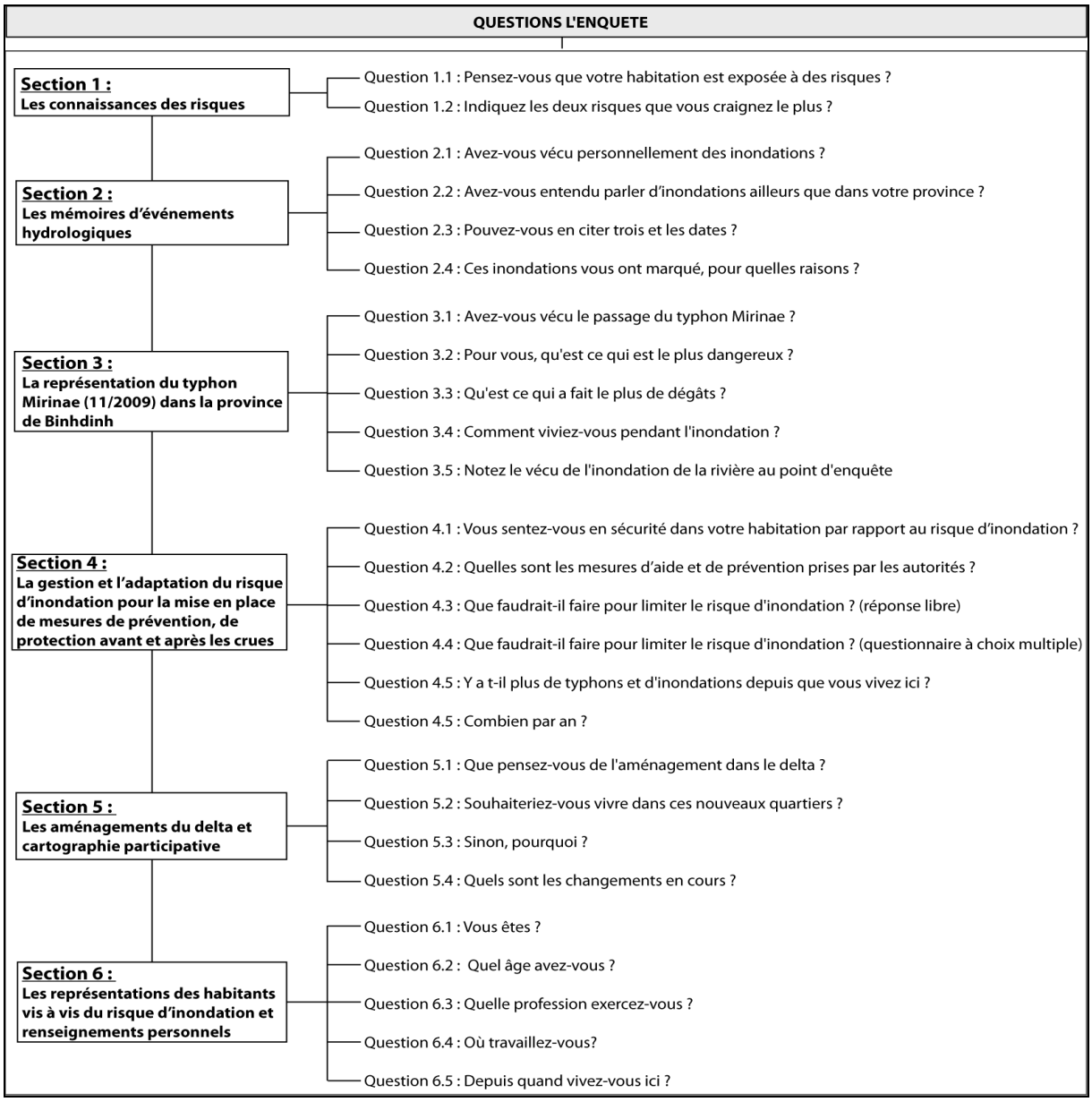


Figure 6.8. Grille de l'enquête menée dans le delta du fleuve Ha Thanh (Source: Grivel, Zaninetti et Ngo, 2012; exploitation sous le logiciel Sphinx. Réalisation : Ngo, 2012)

Les résultats, quantitatifs et relatifs, de cette enquête consacrée à l'approche des représentations du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh sont présentés dans cette partie ainsi que leur représentation graphique.

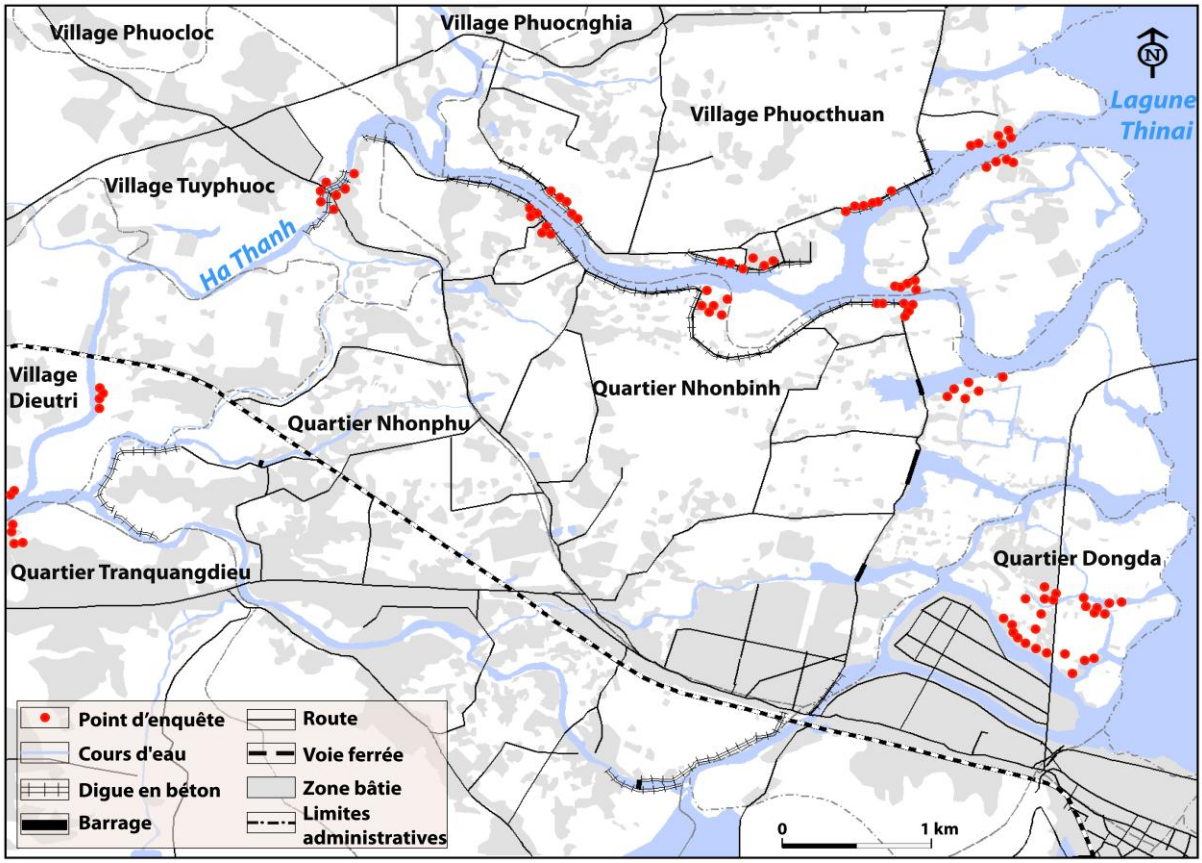


Figure 6.9. Répartition des échantillons de l'enquête dans le delta du fleuve Ha Thanh (Réalisation : Ngo, 2013)

+ Section 1 : connaissances des risques

Question 1.1 : Pensez-vous que votre habitation est exposée à des risques ?

A cette question, 95 personnes ont répondu « oui », et 3 « je ne sais pas » (Tab. 6.3). Chaque année, ce delta est concerné par des dépressions tropicales, des fortes pluies des tempêtes et les inondations du fleuve Ha Thanh. Il s'agit d'une zone située au niveau de la mer (altitude moyenne de 1 à 3 m). Certaines personnes ont répondu « je ne sais pas » car leurs maisons se situe sur un terrain plus élevé que la moyenne. Les personnes enquêtées sont bien conscientes de se situer dans un territoire exposé.

Tableau 6.3. Représentation des données de la question 1.1

Question 1.1	Données quantitatives	Données relatives (%)
Oui	95	96.94
Non	0	0.00
Je ne sais pas	3	3.06

Question 1.2 : Indiquez les deux risques que vous craignez le plus ?

47 personnes ont choisi le risque d'inondation et 44 le risque de typhon (Tab. 6.4). Les risques de rupture de digues arrivent rarement (construction en béton). Mais certaines

personnes ont choisi ce danger avec raison, car les digues qui ont été construites sont de faible hauteur (2 mètres en moyenne).

Tableau 6.4. Représentation des données de la question 1.2

Type de risque	Choix 1		Choix 2	
	Données quantitatives	Données relatives (%)	Données quantitatives	Données relatives (%)
Risques d'inondation	47	48	25	25,5
Risques de rupture de digue	32	33	30	30,6
Risques de typhon	19	19	43	43,9

+ Section 2 : mémoires d'événements hydrologiques

Question 2.1 : Avez-vous vécu personnellement des inondations ?

92 personnes ont répondu ‘‘Oui’’ (Tab. 6.5). Les enquêtes ont montré que les personnes interrogées connaissent bien les inondations.

Tableau 6.5. Représentation des données de la question 2.1

Question 2.1	Données quantitatives	Données relatives (%)
Oui	92	93,88
Non	5	5,10
Je ne sais pas	1	1,02

Photographie 6.7. Exemple l'enquête sur les hauteurs crues dans le delta du fleuve Ha Thanh (Photographie : Nam, 2012)

Certains restent toujours marqués par ces risques (Photographie 6.7). Dès qu'il pleut, ils montent des objets à l'étage. Les quelques personnes qui ont répondu ‘‘non’’, (5%) et ‘‘je ne sais pas’’ sont soit encore jeunes, soit nouvellement installés ici depuis moins de 2 ans.

Question 2.2 : Avez-vous entendu parler d'inondations ailleurs que dans votre province (au Viêt-Nam, dans le monde) ?

On ne peut ignorer le phénomène d'inondation puisque 92 personnes interrogées ont déjà entendu parler d'inondations ailleurs que dans leur province. (Tab. 6.6).

Tableau 6.6. Représentation des données de la question 2.2

Question 2.2	Données quantitatives	Données relatives (%)
Oui	92	93,88
Non	2	2,04
Je ne sais pas	4	4,08

Question 2.3 : Pouvez-vous en citer trois et les dates ?

92 personnes ont répondu à cette question. Toutes ont cité les inondations provoquées par Mirinae en 2009 : plus les événements sont anciens, moins ils sont fréquemment évoqués (Tab. 6.7). Cette réponse souligne également l'importance de l'évènement hydrométéorologique bien ancré dans les mémoires de ceux qui l'ont directement vécus.

Tableau 6.7. Représentation des données de la question 2.3

Lieu de l'inondation	Date	Données quantitatives	Données relatives (%)
Province Binh Dinh	02/11/2009, 04/12/1999 et 17/11/1987	15	16
	02/11/2009, 06/11/1999 et 02/12/1996	18	20
	02/11/2009, 06/12/1999 et 17/11/1987	13	14
	02/11/2009, 04/12/1999 et 06/11/1999	20	22
	02/11/2009, 30/11/1996 et 3/12/1986	12	13
	02/11/2009, 08/11/2007 et 17/11/1987	14	15

Question 2.4 : Ces inondations vous ont marqué, pour quelles raisons (une réponse)

A cette question 58 personnes sondées ont expliqué qu'elles avaient de la famille impliquée dans un tel évènement. Au Viêt-Nam, les familles, les villageois discutent souvent entre eux au sujet des inondations et des tempêtes historiques afin de comparer avec les inondations et les tempêtes actuelles. 28 personnes ont choisi la réponse ''je les ai vécus personnellement''. Seulement 7 ont choisi la réponse ''j'ai beaucoup entendu parler par les médias''. Au Viêt-Nam, les médias commentent rarement les inondations historiques. On dispose de peu d'informations historiques sur les crues au Viêt-Nam (conditions économique ; guerre). Les autres personnes sont jeunes pour la plupart d'entre elles ou ne prêtent pas attention à ce genre de questions auxquelles elles ne s'intéressent guère et ne se rappellent pas des inondations passées.

Tableau 6.8. Représentation des données de la question 2.4

Question 2.4	Données quantitatives	Données relatives (%)
Je les ai vécus personnellement	28	28,57
J'en ai beaucoup entendu parler par les médias	7	7,14

J’ai de la famille qui a été impliquée dans un tel évènement	58	59,18
Autres (à déterminer)	5	5,10

+ Section 3 : Typhon Mirinae (novembre 2009)

Question 3.1 : Avez-vous vécu le passage du typhon Mirinae (novembre 2009) ?

Tableau 6.9. Représentation des données de la question 3.1

	Données quantitatives	**Données relatives (%)**
Je l'ai vécu personnellement	57	58,16
J’en ai beaucoup entendu parler par les médias	5	5,10
J’ai de la famille qui a été impliquée dans un tel évènement	35	35,71
Autres (à déterminer)	1	1,02

Le 2 novembre 2009, la tempête Mirinae est une tempête historiquement importante et récente. Par conséquence 57 personnes ont répondu ‘‘je l’ai vécu personnellement’’. 35 déclarent qu’elles ont eu de la famille impliquée dans cet évènement, 5 autres on répondu ‘‘j’en ai beaucoup entendu parler par les médias’’ (Tab. 6.9).

Question 3.2 : Pour vous, qu'est ce qui est le plus dangereux ?

Le principal danger est correctement identifié, 84 personnes ont répondu la crue du fleuve Ha Thanh, 13 les vents et 1 seule personne a évoqué la montée de la mer (Tab. 6.10). Le secteur d’enquête a été l'un des plus touchés par les terribles crues qui ont frappé le delta en 2009 (Photographie 6.8).

Tableau 6.10. Représentation des données de la question 3.2

Question 3.2	**Données quantitatives**	**Données relatives (%)**
Les vents	13	13,27
La montée de la mer	1	1,02
La crue du fleuve Ha Thanh	84	85,71

En outre, en raison de l'impact de la tempête, certaines des toitures ont été arrachées. La submersion marine n’est pas considérée, dans la zone enquêtée, comme un agent destructeur de bien. La montée de la mer pourrait pourtant affectée les terres agricoles en accroissant leur salinité (MRNE, 2009; Tran, 2012).

Photographie 6.8. Exemple de dégât matériel causé par le typhon en 2009 (Photographie : Nam, 2012)

<u>Question 3.3</u> : Qu'est ce qui a fait le plus de dégâts ?

La maison inondée est le dégât le plus fréquemment répondu (Tab. 6.11). Les dégâts enregistrés sur ces biens correspondent aux conséquences classiques des maisons inondées : meubles, appareils, électriques, structures en bois, sanitaires sont touchés. Les activités agricoles ont également été compromises (cultures, animaux domestiques et aquacultures : 29 réponses). Ces réponses indiquent clairement le niveau de vulnérabilité de ces personnes dans la plaine d'inondation : localisation dans le lit majeur, vulnérabilité sociale, activités agricoles dominantes, perte humaine. Le passage du cyclone a entraîné également des conséquences directes sur les constructions les plus fragiles (toitures arrachées).

Tableau 6.11. Représentation des données de la question 3.3

Phénomènes naturels	**Dégâts**	**Données quantitatives**	**Données relatives (%)**
Vents	Toiture arrachée	13	13.27
	Arbres arrachés	2	2.04
	Autres…	0	0.00
Submersion marine	Toiture arrachée	0	0.00
	Arbres arrachés	1	1.02
	Culture détruite	0	0.00
	Autres…	0	0.00
Crue du fleuve Ha Thanh	Maison inondée	40	40.82
	Culture détruite	11	11.22
	Arbres arrachés	2	2.04
	A emporté quelque chose dans la maison	6	6.12
	Animal perdu	8	8.16
	Maison effondrée	3	3.06
	Fondation endommagée	1	1.02
	l'aquaculture affectée	10	10.20
	Mort	1	1.02

<u>Question 3.4</u> : Comment viviez-vous pendant l'inondation ?

Tableau 6.12. Représentation des données de la question 3.4

Question 3.4	Données quantitatives	Données relatives (%)
Vie sur la toiture	2	2.04
Vie très difficiles *(Faims, soifs, électricité coupée, dormir sur la table,…)*	64	65.31
Refuge à l'école	2	2.04
Refuge dans la maison du voisin	10	10.20
Un peu difficile	15	15.31
ne pouvaient pas marcher	5	5.10

On a cherché ici à connaître auprès des enquêtés comment ils ont vécu pendant l'inondation. 64 déclarent avoir eu une vie très difficile (Tab. 6.12). Avec la durée importante des inondations, supérieure à 2 jours, voire 4 jours, les dégâts sont particulièrement importants. Ces sinistrés ont aussi eu plus de difficultés à évacuer l'eau de leur maison ainsi qu'à en assécher les parois après la décrue. La nourriture située dans les placards bas de la cuisine a été gâtée. D'autres ont répondu qu'ils ont dormi sur la table pendant 2 jours. 15 répondants ont connu quelques difficultés. Ce sont des personnes qui ont des maisons qui sont très solides ou surélevées dans lesquelles la crue a été de moins de 20 cm au-dessus du plancher du rez-de-chaussée. 10 personnes ont déclaré avoir été obligées de quitter leur maison pour être hébergés par les voisins. 5 personnes avaient des difficultés à se déplacer. 2 personnes se sont réfugiées sur la toiture de leur maison, et 2 autres se sont réfugiées dans une école.

Ces réponses soulignent la difficulté de vivre pendant la crue et la décrue. De tels évènements hydrologiques compliquent les déplacements et les moyens de survivre dans la plaine d'inondation. A nouveau, la vulnérabilité des habitants dans ces zones agricoles ressort vis-à-vis du risque d'inondation. La durée de la crue et sa décrue plutôt lente est un facteur déterminant dans le niveau d'adaptation des habitants au sein de leur territoire affecté.

<u>Question 3.5</u> : Notez le vécu de l'inondation de la rivière au point d'enquête (niveau de l'eau, vitesse des courants, plusieurs courants ?

Nous avons interrogé des personnes pour voir le niveau de l'eau depuis novembre 2009. Puis nous avons utilisé le GPS pour prendre le point de niveau de l'eau, après quoi nous avons mesuré précisément la hauteur.

- *niveau de l'eau* : ici on trouve que 43 personnes ont souffert d'une inondation de moins de 0,5 m dans leur maison, 40 entre 0,5 à 1 m, 13 ont eu de 1 à 1,5 m et 2 ont été inondées par 1,5 à 1,9 m d'eau (Tab. 6.13 et Fig.6.10).

Tableau 6.13. Représentation des données de la question 3.5 (niveau de l'eau)

	Mètres (m)	Données quantitatives	Données relatives (%)
Niveau de l'eau	0-0,5	43	43,9
	0,5-1	40	40,8
	1-1,5	13	13,3
	1,5-1,9	2	2,0

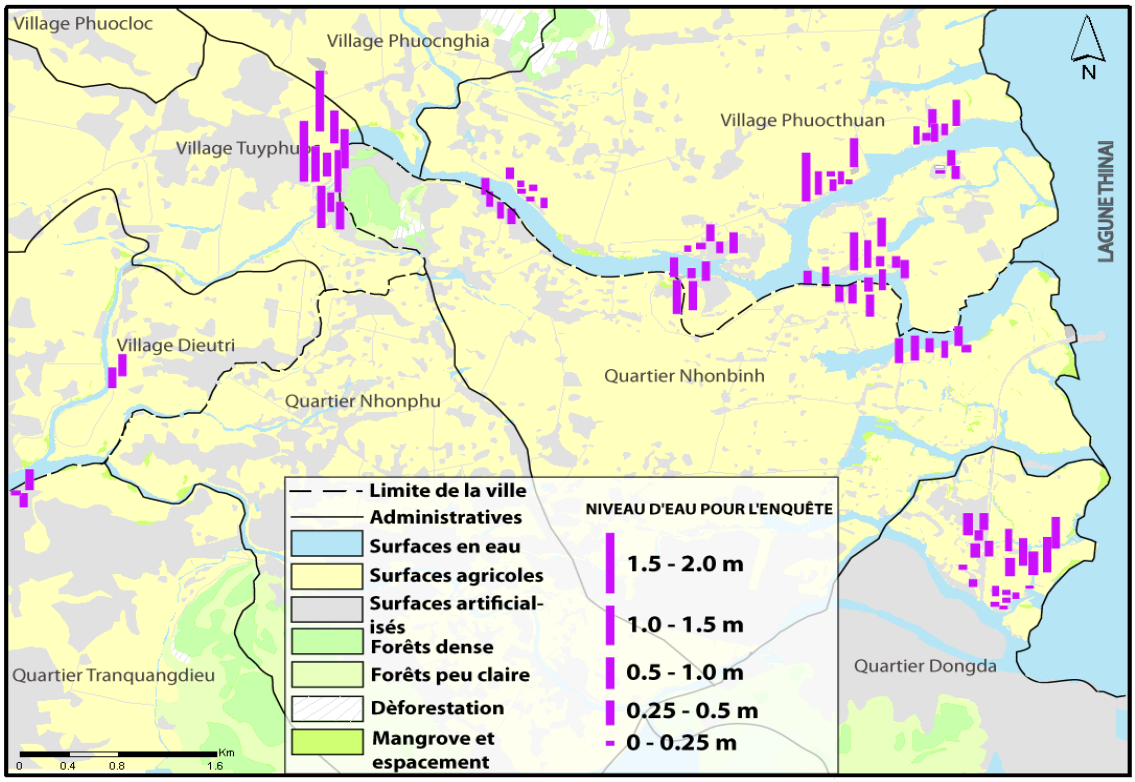


Figure 6.10. Niveaux de crue relevés en novembre 2009 dans le delta du fleuve Ha Thanh (Réalisation : Ngo, 2012)

Ces données sont très importantes pour compléter plus finement la future cartographie des zones inondables.

- *vitesse des courants :* pour l'enquête des vitesses de courant nous ne pouvions pas demander aux personnes des débits en $m^3.s^{-1}$. Mais, nous avons posé la question suivante : leur estimation de la vitesse des courants : très rapide, moyenne ou lente.

A cette question, 62 ont répondu ''très vite'', 27 ''vite'', 6 ''moyen'' et 3 ''lentement'' (Tab. 6.14). Les personnes ont perçu cette crue comme la plus importante avec des hauteurs d'eau et de vitesse jamais atteintes avant 2009.

Tableau 6.14. Représentation des données de la question 3.5 (vitesses des courants)

Vitesses de courant	Données quantitatives	Données relatives (%)
Très vite	62	63,27
Vite	27	27,55
Moyen	6	6,12
Lentement	3	3,06

- *plusieurs ondes de crue :* ces réponses permettent de compléter les données sur la chronologie de la crue de 2009.

33 personnes ont indiqué que la première crue était survenue entre 22h et minuit le 2 novembre 2009 et la deuxième crue était survenue entre 1h et 3h du matin le 3 novembre 2009. Selon 27 autres réponses, la première crue était survenue entre 20h et 23h le 2 novembre 2009 et la deuxième crue entre 1h et 4h du matin le 3 novembre 2009. Selon 26 autres personnes, la première crue était survenue entre 22h et minuit le 2 novembre 2009 et la deuxième crue était survenue entre 1h et 4h le 3 novembre 2009. Enfin, 12 réponses indiquent que la première crue s'est produite entre 23h et minuit le 2 novembre 2009 et la deuxième crue entre 2h et 6h du matin le 3 novembre 2009 (Tab. 6.15). Si les réponses s'accordent à identifier deux ondes de crue distinctes, elles ne concordent pas sur les heures de l'inondation dans le delta.

Tableau 6.15. Représentation des données de la question 3.5 (plusieurs courants)

Les courants	Données quantitatives	Données relatives (%)
Première crue 21h-24h, Deuxième crue 1h-3h	26	26,5
Première crue 22h-24h, Deuxième crue 1h-4h	33	33,7
Première crue 23h-24h, Deuxième crue 2h-6h	12	12,2
Première crue 20h-23h, Deuxième crue 1h-4h	27	27,6

Grâce à la question 3.5, nous avons réparti les niveaux d'eau et la chronologie de la crue de novembre 2009 dans le delta du fleuve Ha Thanh (Fig. 6.11). Ces données déclaratives seront comparées aux résultats à l'essai de modèlisation hydrologique de la plaine d'inondation que l'on présentera dans le chapitre 7.

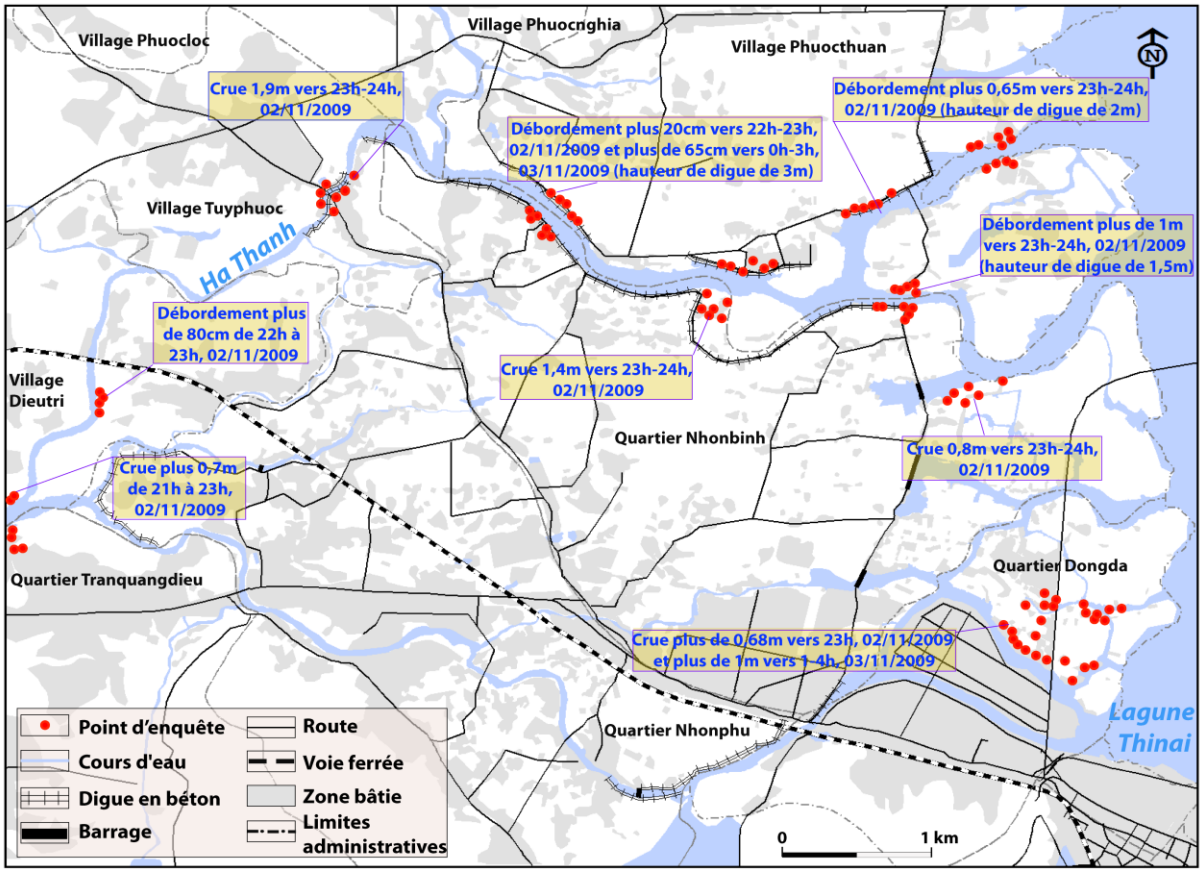


Figure 6.11. Chronologie de la crue du 2-3 novembre 2009 dans le delta du fleuve Ha Thanh

(Réalisation : Ngo, 2012)

+ Section 4 : gestion et adaptation au risque d'inondation

Question 4.1 : Vous sentez-vous en sécurité dans votre habitation par rapport au risque d'inondation ?

Ici, 42 répondants ne se sentent pas en sécurité. Cette réponse dominante souligne le niveau de vulnérabilité sociale de la population vivant dans le delta qui combine pauvreté, habitations vulnérables (absence d'étages, matériaux de construction relativement fragiles) et proximité du fleuve. Inversement, 25 personnes se sentent plutôt en sécurité, 13 pas du tout en sécurité, ce sont les ménages les plus pauvres en particulier. En enquêtant, dans ce lieu nous avons vu très peu d'habitations solides construites en béton armé et comptant plus de deux niveaux. Par conséquent, 8 personnes seulement se sentent très en sécurité (Tab. 6.16).

Tableau 6.16. Représentation des données de la question 4.1

Question 4.1	Données quantitatives	Données relatives (%)
Très en sécurité	8	8,2
Plutôt en sécurité	35	35,7
Plutôt pas en sécurité	42	42,9
Pas du tout en sécurité	13	13,3

Question 4.2 : Quelles sont les mesures d'aide et de prévention prises par les autorités ?

Cette question se subdivise en trois : avant l'inondation, pendant l'inondation et après l'inondation.

- *avant l'inondation* : 70 des personnes interrogées confirment avoir beaucoup entendu parler de l'imminence du cyclone et des conseils de prévention prodigués par les autorités à la télévision, à la radio et dans les quotidiens (Tab. 6.17). Cependant, les personnes interrogées ont répondu que les autorités n'ont pas annoncé d'évacuation des populations quand il y aurait une inondation. La population s'est enfermée chez elle. Par conséquent, lorsque la rivière a débordé rapidement pendant la nuit, de nombreuses personnes n'ont pas eu le temps de fuir.

Tableau 6.17. Représentation des données de la question 4.2

Avant l'inondation	Fréquence	Données quantitatives	Données relatives (%)
Entendu parler par les médias : radio, télévision, etc.	Beaucoup	70	71,4
	Pas beaucoup	15	15,3
	Moyen	13	13,3

- *pendant l'inondation* : 83 personnes ont déclaré n'avoir reçu aucune aide de la part des autorités. 10 mentionnent avoir reçu des nouilles instantanées et 5 déclarent avoir reçu des sacs de sable pour protéger des digues (Tab. 6.18).

Tableau 6.18. Représentation des données de la question 4.2

Dans d'inondation	Soutenir	Données quantitatives	Données relatives (%)
Autorités ont aidé	Fournir des sacs de sable	5	5,1
	Des nouilles instantanées	10	10,2
	Rien	83	84,7

(La nouille instantanée en baril)

- *après l'inondation* : les autorités ont aidé les personnes en distribuant du riz, de l'eau et des nouilles instantanées. Après plusieurs jours, ils avaient faim et soif à cause des inondations. Cependant, grâce à l'enquête, nous savons que les aides ont été distribuées environ une semaine après l'inondation. Un certain nombre de familles touchées par l'inondation n'ont pas été aidées par les autorités. 59 personnes interrogées ont répondu que les autorités ont distribué du riz aux sinistrés. Par contre, 25 ne mentionnent aucune aide. Certaines de ces familles ont été durement touchées par cette inondation. 14 répondants mentionnent les distributions de nouilles instantannées, 12 parlent à la fois du riz et des nouilles instantanées, 7 parlent de riz et d'eau. Les quantités de riz distribuées semblent avoir

été variables. Ces différentes réponses donnent des indications sur le type d'aide apportée par les autorités (Tab. 6.19).

Tableau 6.19. Représentation des données de la question 4.2

Après d'inondation	Soutenir	Données quantitatives	Données relatives (%)
Les autorités ont aidé	Riz (30kg)	2	2,04
	Riz (15kg)	2	2,04
	Riz (10kg)	36	36,73
	Riz & eau (15kg+5L)	7	7,14
	Riz & nouilles instantanées (10kg+1 baril)	12	12,24
	Nouilles instantanées (1 baril)	14	14,29
	Argent	0	0,00
	Rien	25	25,51

(Note : le riz en kg ; la nouille instantanée en baril, l'eau en litre)

Grâce à cette question 4.2, nous savons quand la tempête Mirinae, a provoqué des pluies torrentielles dans la nuit du 2 au 3 novembre 2009 sur le haut bassin du fleuve Ha Thanh et provoqué l'inondation dans le reste du bassin et du delta. Les autorités n'ont pas apporté de précisions sur le niveau de l'inondation; elles n'avaient pas de plans pour une intervention efficace lors de la crue. La plupart des personnes interrogées déclarent avoir utilisé leur propre moyen pour faire face aux inondations. Après la tempête, le soutien aux sinistrés par la distribution de nourriture et d'eau potable a été mis en place lentement et de manière inégalement répartie. Les systèmes de communication faibles et le manque de partage de l'information entre les ministères expliquent qu'un faible nombre de personnes ont été impliquées dans les dispositifs de secours lors de l'inondation.

<u>Question 4.3</u> : Que faudrait-il faire pour limiter le risque d'inondation ? (réponse libre)

Pour 45 personnes interrogées, la meilleure solution pour lutter contre les inondations serait de surélever le niveau des digues (Tab. 6.20). Cela a déjà commencé depuis le typhon Mirinae, car là où nous avons fait les enquêtes en 2012, il y avait un linéaire récent de rivière endiguée d'environ 12 km. La longueur totale de digues n'était encore que de 8 km sur les deux rives du fleuve. La hauteur moyenne de la digue était de 2,5 m en mai 2009, le fleuve a largement submergé ces digues lors du passage du typhon.

Tableau 6.20. Représentation des données de la question 4.3

Question 4.3	Données quantitatives	Données relatives (%)
Améliorer les digues en hauteur	45	45,9
Entretenir le fleuve par tous les ans	9	9,2
Construire le pont	2	2,0
Prévoir précisément des inondations et des tempêtes	13	13,3
Construire des barrages	10	10,2
Reconstruire les maisons	3	3,1
Utiliser des canoës	3	3,1
Équipe d'intervention rapide	7	7,1
Améliorer le système d'alerte précoce	6	6,1

Par conséquent, des personnes voudraient améliorer les digues en hauteur. Durant l'été 2012, on a observé des travaux d'amélioration des digues et des constructions de nouvelles digues dans le delta (Photographie 6.9).

Photographie 6.9. Digue en construction sur le fleuve Ha Thanh (Photographie : Ngo, 2012)

10 personnes ayant répondu à l'enquête proposent de construire des barrages, parce qu'il n'y avait que des barrages construits avec des bambous avant Mirinae (Photographie 6.10).

Photographie 6.10. Barrage construit en bambous sur le fleuve Ha Thanh (Photographie : Grivel, 2012)

9 personnes suggèrent qu'il faudrait entretenir la rivière en draguant son lit tous les ans, car depuis très longtemps le fleuve Ha Thanh n'a pas été dragué. Le chenal d'écoulement devient de plus en plus étroit en raison du dépôt de limon. Parmi les autres suggestions, mentionnons des mesures de protection civile : mise en place d'une force d'intervention rapide (7) et amélioration du système d'alerte (6) sont préconisées par les personnes interrogées.

Question 4.4 : Que faudrait-il faire pour limiter le risque d'inondation ? (questionnaire à choix multiple)

Tableau 6.21. Représentation des données de la question 4.4

Question 4.4	Données quantitatives	Données relatives (%)
Construire des barrages	33	33,7
Améliorer les digues	86	87,8
Améliorer les habitations	11	11,2
Entretenir la rivière	45	45,9

La grande majorité des personnes sondées (86) sont favorables au renforcement des digues, 45 sont pour entretenir la rivière, 33 pour construire des barrages et 11 seulement sont favorables à l'amélioration des habitations (Tab. 6.21). Ces réponses sont intéressantes en ce sens que l'aménagement du milieu fluvial fait consensus. L'adaptation de l'habitat au risque hydrologique n'est pas une forme de réponse envisagée pour réduire les risques. On est donc dans une stratégie classique de résistance au risque naturel, et non dans une optique de résilience.

Question 4.5 : Y a t-il plus de typhons et d'inondations depuis que vous vivez ici ?

A cette question 96 personnes enquêtées ont répondu « oui » (Tab. 6.22). Pour la province de Binh Dinh, de 1970 à 2009 il y a eu 14 typhons de niveau 7 à niveau 13 selon l'échelle de Beaufort (sans compter le niveau 6 et les dépressions tropicales)-(Fig. 2.26 dans le chapitre 2, p.85. La région a connu ses inondations majeures en 1986, 1987, 1996, 1999, 2007 et 2009.

Tableau 6.22. Représentation des données de la question 4.5

Question 4.5	Données quantitatives	Données relatives (%)
Oui	96	98,0
Non	1	1,0
Ne se souvient pas	1	1,0

Question 4.5 : Combien par an ?

Chaque année, des inondations et tempêtes peuvent être forts ou faibles. Les gens qui vivent ici subissent annuellement ces phénomènes. Par conséquent, 56 personnes ont répondu qu'il y a des typhons et des inondations une fois par an, 28 deux fois par an, 10 personnes répondent qu'elles ne souviennent pas, 3 optent pour trois fois par an et 1 pour 4 fois par an (Tab. 6.23). Ces réponses ne sont pas exactement en phase avec les observations, on constate une tendance à l'exagération du risque.

Tableau 6.23. Représentation des données de la question 4.5

Question 4.5	Données quantitatives	Données relatives (%)
1 fois	56	57,1
2 fois	28	28,6
3 fois	3	3,1
4 fois	1	1,0
Je ne mémorisais pas	10	10,2

+ Section 5 : aménagements du delta

Nous avons réalisé 25 interviews dans la zone du nouveau quartier urbain que nous avons choisi d'étudier (cf. chapitre 5) et réalisé une cartographie participative avec 14 personnes qui habitent ici et dans les environs.

Question 5.1 : Que pensez-vous de l'aménagement dans le delta ?

Tableau 6.24. Représentation des données de la question 5.1

Question 5.1	Données quantitatives	Données relatives (%)
C'est un bon projet	4	16
Ce n'est pas un bon projet	15	60
C'est moyen	6	24

Comme il a déjà été mentionné au chapitre précédent, la majorité des personnes interviewées sont défavorables au nouvel aménagement urbain dans le delta (Tab. 6.24). Bien que le projet ait été décidé en 2004, ces personnes ne savaient pas en 2012 qu'il y aurait prochainement des aménagements ici. Les habitants qui pensent que le projet est une bonne initiative sont les plus aisés. Mais pour les autres cela signifie qu'ils vont devoir partir habiter ailleurs et perdre leur emploi. Il y a donc un certain " malaise " de la population. Notamment, certains des habitants ne sont pas d'accord pour des dédommagements jugés insuffisants.

Question 5.2 : Souhaiteriez-vous vivre dans ces nouveaux quartiers ?

Les trois-quart des personnes interrogées ne souhaitent pas vivre dans ce nouveau quartier (Tab. 6.25).

Tableau 6.25. Représentation des données de la question 5.2

Question 5.2	Données quantitatives	Données relatives (%)
Oui	4	16
Non	19	76
Je ne sais pas	2	8

Question 5.3 : Sinon, pourquoi ?

Parmi les 19 personnes qui ont répondu ‘‘Non’’, c’est parce qu’une fois le quartier aménagé, ils ne pourront plus pratiquer leurs activités agricoles traditionnelles, exploitation de marais salants, pêche et élevage de crevettes et de poissons. De plus, ils n’auront pas d’argent pour acheter une nouvelle maison. D’autres personnes ont répondu qu’il faudra aller ailleurs, changer de profession ou faire évoluer les traditions. On observe un attachement manifeste des personnes interrogées à la maison dans laquelle ils vivent depuis longtemps.

Question 5.4 : Quels sont les changements en cours ?

Si ce projet se réalise, des maisons et des marais salants sont bientôt perdus. Il y aura des changements dans la végétation, ainsi que des changements de morphologie des bras et des débits sur le fleuve Ha Thanh.

+ Section 6 : renseignements personnels

Question 6.1 : Vous êtes ?

Nous avons enquêté auprès d’une population composée de 47 hommes et de 46 femmes (Tab. 6.26). Les hommes et les femmes que nous avons interrogés ont été très intéressés par notre enquête et leur participation a été enthousiaste.

Tableau 6.26. Représentation des données de la question 6.1

	Femme	Homme
Données quantitatives	46	52
Données relatives (%)	47	53

Question 6.2 : Quel âge avez-vous?

Tableau 6.27. Représentation des données de la question 6.2

	< 20 ans	21-30 ans	31-40 ans	41-50 ans	51-60 ans	61-70 ans	>71 ans
Données quantitatives	1	9	17	32	13	15	11
Données relatives (%)	1,0	9,2	17,3	32,7	13,3	18,4	11,2

La grande majorité des personnes enquêtées ont entre 20 et 60 ans. Etant réalisée en pleine journée l'après midi, la plupart des répondants sont en âge de travailler. Ils travaillent près du fleuve Ha Thanh et de la lagune Thi Nai. 26 personnes étaient âgées de plus de 60 ans. Bien que normalement, c'est l'âge de la retraite, celles-ci doivent encore travailler. Une seule personne interviewée a déclaré avoir moins de 20 ans (Tab. 6.27).

Question 6.3 : Quelle profession exercez-vous ?

L'enquête a couvert la zone périurbaine du delta de bassin versant du fleuve Ha Thanh. Par conséquent, les personnes enquêtées sont en majorité des agriculteurs et des pécheurs, sans oublier les éleveurs de crevette et les paludiers (60). Ce sont les deux principales professions de la zone d'enquête. Les autres personnes travaillent dans différents métiers de l'artisanat et des services, excepté 6 personnes qui travaillent dans le secteur de la construction, 4 étudiants, et 1 seule personne qui s'est déclarée retraitée (Tab. 6.28).

Tableau 6.28. Représentation des données de la question 6.3

Professionnel	Données quantitatives	Données relatives (%)
Pêcheur et Agriculteur	4	4,1
Pêcheur	15	15,3
Secteur de la construction	6	6,1
Agriculteur	29	29,6
Vendeur	11	11,2
Cuisinier	8	8,2
Peintre en bois	3	3,1
Saunier	8	8,2
Eleveur de crevettes	4	4,1
Retraité	1	1,0
Etudiant	4	4,1
Charpentier	1	1,0
Secrétaire	1	1,0
Coiffeur	1	1,0
Conducteur	1	1,0
Tailleur	1	1,0

Question 6.4 : Où travaillez-vous ?

59 personnes enquêtées ont déclaré travailler à côte ou sur le fleuve Ha Thanh (Tab. 6.29). 18 travaillent sur la lagune de Thi Nai, dont la moitié considèrent le fleuve et la lagune comme faisant partie simultanément de leur lieu de travail. 12 personnes mentionnent travailler dans d'autres quartiers de la ville de Quy-Nhon, dont 7 en centre-ville.

Ainsi, dans la zone où nous avons enquêté, les personnes interrogées sont principalement employées dans l'agriculture et la pêche sur la rivière et la lagune. Elles sont donc étroitement tributaire des ressources naturelles de leur environnement pour assurer leurs moyens d'existence.

Tableau 6.29. Représentation des données de la question 6.4

Lieu de travail	Données quantitatives	Données relatives (%)
Sur le fleuve Ha Thanh	12	12,2
A côte du fleuve Ha Thanh	38	38,8
Centre ville	7	7,1
Le fleuve Ha Thanh et la lagune Thi Nai	9	9,2
A domicile	16	16,3
Industriel de Phu Tai du quartier de Tran Quang Dieu	2	2,0
Industriel de Nhon Binh du quartier de Nhon Binh	1	1,0
Au marché de Dieu Tri	1	1,0
Au marché de Nhon Hoi	1	1,0
Partout	1	1,0
Lagune Thi Nai	9	9,2
Dans la province Binh Dinh	1	1,0

Question 6.5 : Depuis quand vivez-vous ici ?

La majorité des personnes interrogées habitent ici depuis plus de 25 ans. Les plus anciens sont très importants pour notre enquête, car ils habitent ici depuis plus de 50 ans. Ils ont vu un grand nombre d'inondations et de tempêtes. Par conséquent, ils sont de bons témoins de l'histoire des risques naturels dans le delta (Tab. 6.30).

Tableau 6.30. Représentation des données de la question 6.5

Vie depuis (années)	Données quantitatives	Données relatives (%)
] 1-5]	3	3,1
] 5-10]	10	10,2
] 10-15]	5	5,1
] 15-20]	15	15,3
] 20-25]	6	6,1
] 25-30]	10	10,2
] 30-35]	3	3,1
] 35-40]	10	10,2
] 40-45]	9	9,2
] 45-50]	4	4,1
] 50-55]	4	4,1
] 55-60]	6	6,1
] 60-65]	5	5,1
] 65-70]	1	1,0
] 70-75]	5	5,1
] 75-80]	2	2,0

- **Limites de l'enquête**

L'enquête nous a permis de déterminer la mémoire et la perception des risques liés au fleuve Ha Thanh, ainsi que l'opinion des populations locales concernant la nouvelle zone urbaine du projet An-Phu-Tinh en cours dans le delta Ha Thanh. Cependant l'enquête repose sur un petit nombre d'interviews et ne couvre pas l'ensemble du delta Ha Thanh, qui s'étend sur une surface totale d'environ 80 km² et se compose de 2 bras, quand notre enquête s'est concentrée sur le bras nord du fleuve, son principal chenal d'écoulement vers la mer.

De plus, nous avons rencontré de nombreuses difficultés pour le recueil d'information sur le terrain, notamment auprès de familles très réticentes à donner des informations sur le nombre de personnes, d'enfants qui composent les foyers. Grâce à cette enquête auprès des habitants, nous avons cependant accumulé beaucoup d'informations sur le fleuve et la crue historique des 2 et 3 novembre 2009.

Nous avons ainsi recueilli une quantité importante de données que nous avons croisées et agrégées en suivant les avis d'experts (HUYNH Cao Van-CCCO à Quy Nhon et NGUYEN Van Dung, directeur du Centre Hydrométéorologique de la province de Binhdinh).

Nous avons aussi fait des enquêtes dans les hameaux (Binh Thai et Khu Vuc 9) en plaine, malgré de nombreuses difficultés de transport, le bateau étant parfois le seul moyen de se rendre sur place pour rencontrer certaines familles. Nous avons ainsi enquêté pendant près de 10 jours avec une équipe de 4 personnes.

En 2009, il nous avait été proposé de mettre en place une cartographie participative dans le delta, jusque là les représentations étaient peu compréhensibles et difficiles à déchiffrer. La mise en place d'une cartographie participative a été longue et a pris beaucoup de temps. En effet cette démarche s'appuyait sur une participation des habitants et notamment des paysans du delta. Toutefois, certains résultats ont pu être intégrés au SIG (cf. chapitre 5).

6.2.2. Identification des enjeux d'acteurs et des interactions

Dans la province de Binh Dinh, la gestion de la lutte contre les inondations, les tempêtes, les recherches et les sauvetages de victimes est réglée par l'ordonnance 9-L/CTN [(64)] du 20 mars 1993 édictée par le Président de l'Etat de la République socialiste pour la lutte contre les inondations et les tempêtes ; complétée par la décision 47/2001/QĐ-UB du 31 mai 2001 par la présidence provinciale de Binh Dinh qui a institué le Comité provincial pour la lutte contre les inondations, les tempêtes, les recherches et les sauvetages ; et le décret du Premier ministre 14/2010/NĐ-CP [(65)] du 27 février 2010 pour l'organisation des tâches et la répartition des pouvoirs et du mécanisme de coordination du Comité central pour le contrôle des inondations et des tempêtes. Cette structure se duplique aux différents échelons de la hiérarchie administrative : Comité national, Comité de branche et Comité de localité pour la recherche et de sauvetage. Ce sont des organes consultatifs qui aident le Premier ministre à diriger la lutte contre les inondations, les évênements météorologiques extrêmeset à superviser les recherches et les sauvetages sur tout le territoire national.

Cependant, cet organigramme ne doit pas dissimuler le fait que des problèmes persistent dans cette province en matière de lutte contre les inondations et les tempêtes :

- Une gestion trop complexe.

Le Comité central pour le contrôle des inondations et des tempêtes dont le Ministre de l'Agriculture et du Développement rural est le chef; le sous-ministre de l'Agriculture et du Développement rural est le chef adjoint de la commission permanente; un vice-président de l'Office du gouvernement et un chef adjoint de l'Armée sont également chefs adjoints. Le comité comprend aussi des représentants des Ministère des Ressources naturelles et de l'Environnement, Ressources naturelles et de l'Environnement, Ministère de la Police, Ministère de la Planification et de l'Investissement, Ministère de l'Economie et des Finances, Ministère de l'Industrie et du Commerce, Ministère de l'Éducation nationale et de la

[64] http://thuvienphapluat.vn/archive/Phap-lenh-Phong-chong-lut-bao-1993-9-L-CTN-vb38466.aspx

[65] http://www.download.com.vn/docs/nghi-dinh-so-14-2010-nd-cp-quy-dinh-ve-to-chuc-nhiem-vu-quyen-han-cua-ban-chi-dao-phong-chong-lut-bao-trung-uong/download

Formation professionnelle, de Ministère de l'Information et communication, Ministère de la Culture-des Sports et du Tourisme, Ministère de la Construction, Ministère du Transport, Ministère de la Santé, Ministère de la Science et de la Technologie, Ministère des Affaires étrangères, Ministère du Travail-des Invalides de guerre et des Affaires sociales. La Station de Télévision du Viêt-Nam et la Radio « la voix du Viêt-Nam » ont aussi des représentants dans la commission (Source : http://vanban.chinhphu.vn, consulté le 24 juin 2013).

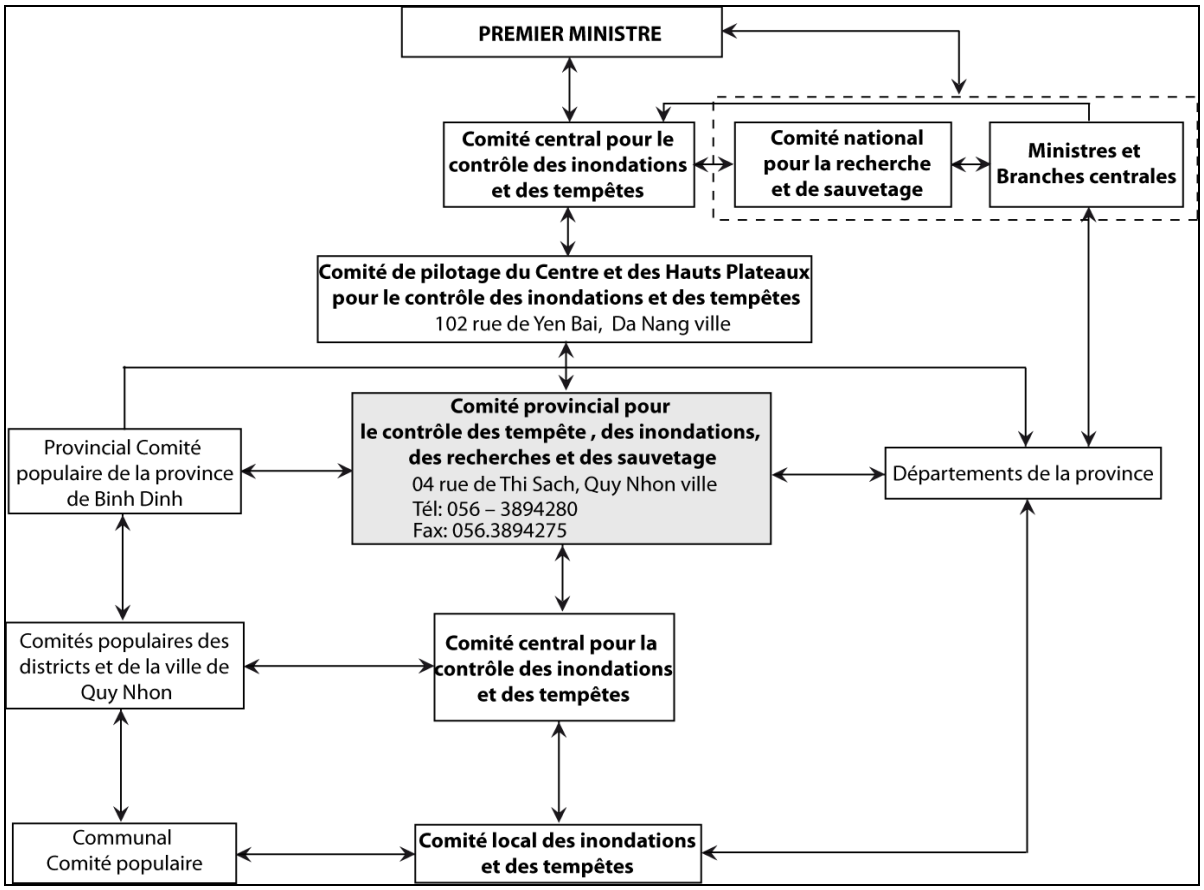


Figure 6.12. Complexité du système de gestion des inondations et des tempêtes dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Source des données: www.ccfsc.gov.vn et http://snnptnt.binhdinh.gov.vn. Traduction : Ngo, 2013)

Dans la province de Binh Dinh, le Comité pour le contrôle des inondations, des tempêtes, des recherches et des sauvetages se démultiplie du niveau provincial au niveau du village. Chacun de ces comités est placé sous l'autorité du Président des Comités populaires de même niveau. Il a un rôle d''inspection et de surveillance, ainsi que d'intervention en cas de catastrophe dans la localité (Fig. 6.12). On retrouve l'éclatement sectoriel au niveau des départements de la province de Binh Dinh, département de l'agriculture et du développement rural, département de la construction, département de l'éducation… Tous ces organismes participent aux comités. Cette lourdeur administrative génère une paperasserie inutile, avec un grand nombre de documents délivrés pour le contrôle des inondations et des tempêtes, et des chevauchements de responsabilités.

- la coordination entre les comités est peu efficace : le rôle de la coopération régionale et nationale dans la lutte contre les inondations est un facteur très important dans la réduction de la perte de vie et l'économie de moyens (Geheb et Gichuki, 2003). Au Viêt-Nam, il y a trop de points focaux chargés de la mise en œuvre de la lutte contre les inondations, qui est rattachée aux ministères et à diverses agences (Tran et Shaw, 2007)-(Fig. 6.12). De plus, on déplore le manque de coopération de ces comités avec les organisations à but non-lucratif (association des femmes, association des jeunes, etc.) pour la gestion d'inondation avant, pendant et après une inondation pendant les phases de reconstruction (Shaw, 2006; Luong, 2012).

- le personnel mobilisé pour la lutte contre les inondations et les tempêtes occupe un autre emploi par ailleurs et effectue un service à temps partiel (CITRS, 2011). Ainsi, la capacité à répondre aux catastrophes naturelles n'est pas élevée. En effet, il n'y a pas beaucoup d'officiers chargés de la lutte contre les inondations et les tempêtes.

- les systèmes d'alerte et de prévision ont des défauts.

Par exemple, la prévision des crues s'est révélée inexacte et n'a pas été délivrée en temps opportun à l'occasion du typhon Mirinae du 2 novembre 2009. La prévision des crues rapides est notamment encore très limitée. Le 2 novembre 2009, de 20 h à 23 h, des personnes vivant à l'aval du bassin versant du fleuve Ha Thanh ont été surprises par les inondations. Elles n'avaient pas été alertées par les autorités qu'il y aurait un risque majeur d'inondation.

- manque d'équipement spécialisé et de forces professionnelles pour les recherches et les sauvetages. Le nombre d'embarcations de sauvetage au niveau de la commune est encore très faible (CITRS, 2011). Les sauveteurs manquent d'entraînement. Les « 4 sur place » ne sont pas encore efficaces.

- la participation communautaire à la lutte contre des inondations est très limitée : insuffisance de « la collecte des informations sur les inondations avec la participation de la population locale » (Luong, 2012, p.13).

- les autorités ne se sont pas encore préoccupées d'installer des stations de surveillance pour mesurer des débits dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh. En réalité, il n'y a que 3 stations de surveillance pour mesurer les débits dans les bassins versants des rivières Kon (stations de Binh Tuong et de Thanh Hoa) et Lai Giang (station d'An Hoa).

6.2.3. Analyse des phénomènes météorologiques (2010-2013)

La période 2010-2013 a connu trois inondations importantes dans la province de Binh Dinh. Du 12 au 14 novembre 2010, une dépression tropicale est passée au Centre-sud du Viêt-Nam, aves des vents de plus de 40 km/h (Source : http://weather.unisys.com, consulté le 18 juin 2013). Bien que la vitesse des vents ne soit pas forte, elle a causé de fortes pluies de la

province de Quang Nam à la province de Binh Dinh (Fig. 6.13). Du 14 novembre 2010 au 19 novembre 2010, les précipitations mesurées à la station de Quy Nhon ont été de 234 mm et de 200 mm dans le haut bassin versant du fleuve Ha Thanh à la station de Van Canh (Tab. 6.31).

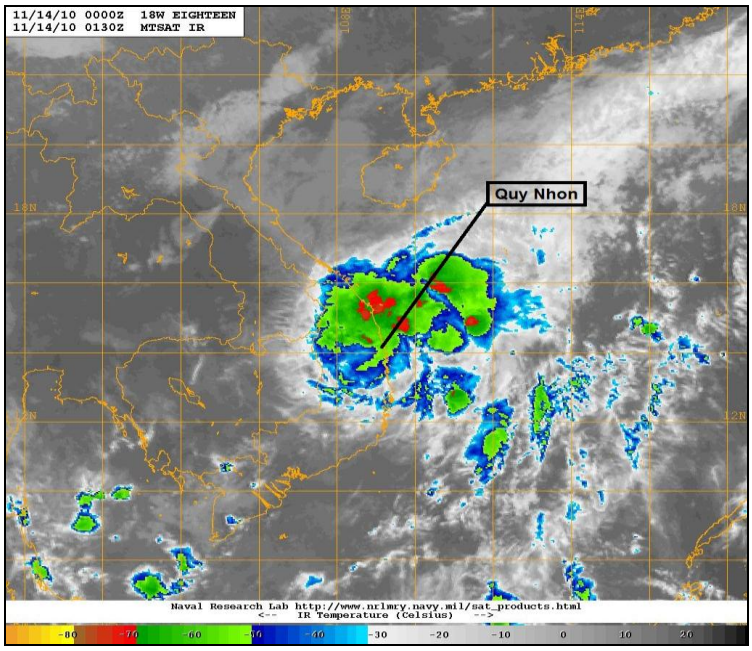


Figure 6.13. Dépression tropicale sur Quy Nhon, le 14 novembre 2010 (Source : MSAT-IR, http://www.nrlmry.navy.mil/)

Tableau 6.31.Précipitations relevées aux stations météorologiques dans la province de Binh Dinh du 14 novembre à 7h, au 19 novembre 2010 à 24h

Bassin versant	Station	Précipitation (mm)
La Tinh	Phu My	342
Lai Giang	An Hoa	470
	Bong Son	453
	Hoai An	473
Ha Thanh	*Quy Nhon*	*234*
	Van Canh	*200*
Kon	Binh Tuong	199
	Thanh Hoa	254
	Vinh Son	341

(Source de donnée : Centre de Hydrométéorologique de la province de Binh Dinh, 2010)

Dans le même temps, les quartiers de Nhon Binh, Nhon Phu et Dong Da (ville de Quy Nhon) qui se situent à l'aval du fleuve Ha Thanh ont été inondés en moyenne de 0,5 m à 1 m d'eau (CITRS, 2011). Le total des dommages causés par cette dépression tropicale pour la province de Binh Dinh est de 5 personnes décédées, 4 blessés et des dégâts matériels s'élèvant à 30 millions d'euros (CITRS, 2011).

Du 1er octobre au 6 octobre 2012, la tempête tropicale Gaemi est passée au-dessus du Centre-sud du Viêt-Nam, avec des vents de plus de 88 km/h. Dès le 6 octobre 2012, la province de Binh Dinh a été affectée par la tempête tropicale Gaemi (Fig. 6.14).

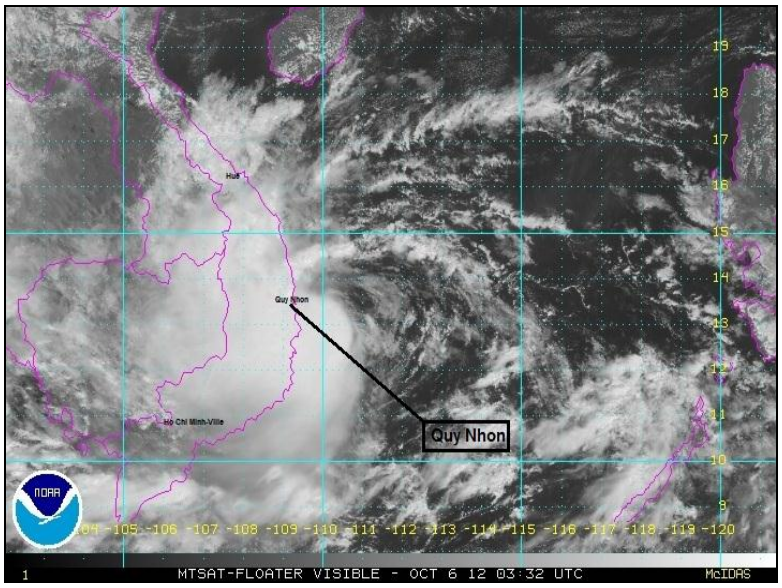


Figure 6.14. Tempête tropicale Gaemi, le 6 octobre 2012 (Source : NOAA)

Entre le 3 octobre et le 8 octobre 2012, le total des précipitations mesurées à la station de Quy Nhon s'élevait à 89 mm et 94 mm à la station de Van Canh dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Tab. 6.32). Le niveau d'alerte de l'inondation sur les rivières a été classé en niveau 1. La station de Thanh Hoa située sur la rivière Kon a mesuré une crue de 0,18 m. Cette tempête tropicale n'a pas causé de véritables inondations dans les bassins versants de la province de Binh Dinh. Mais, le vent a causé des pertes importantes. Un bateau de pêche a été coulé, un autre a été endommagé, 2 personnes ont été blessées, et l'estimation de dégâts matériels a été de 0,41 millions euros (CITRS, 2013).

Tableau 6.32. Précipitations relevées aux stations météorologiques dans la province de Binh Dinh du 3 octobre au 8 octobre 2012

Bassin versant	**Station**	**Précipitation (mm)**
La Tinh	Phu My	153
Lai Giang	An Hoa	208
	Bong Son	172
	Hoai An	188
Ha Thanh	*Quy Nhon*	*89*
	Van Canh	*94*
Kon	Binh Tuong	123
	Thanh Hoa	120
	Vinh Son	114

(Source de donnée : Centre de Hydrométéorologique de la province de Binh Dinh, 2012)

Plus récemment, du 13 novembre au 20 novembre 2013, une dépression tropicale a provoqué des pluies diluviennes et des crues torrentielles dans la province de Binh Dinh et ses trois principaux bassins versants (Kon, Lai Giang et Ha Thanh) (Fig.6.15). Du 14 novembre 2013 à 19 h au 15 novembre 2013 à 16 h, on enregistre de 130mm à 349mm dans la province. Pour le bassin versant du fleuve Ha Thanh, le total des précipitations mesurées à la station de Quy Nhon en aval s'élevait à 133 mm et 297 mm à la station de Van Canh en amont (Tab. 6.33).

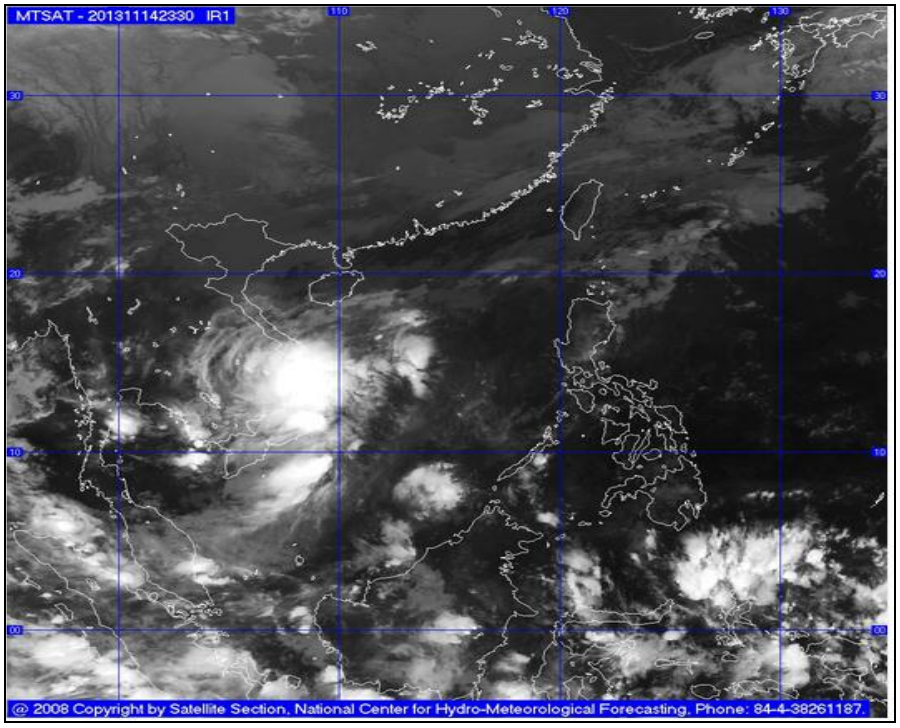


Figure 6.15. Dépression tropicale dans la province de Binh Dinh, le 14 novembre 2013 (Source : http://www.nchmf.gov.vn)

Tableau 6.33. Précipitations relevées aux stations météorologiques dans la province de Binh Dinh du 14 novembre au 15 novembre 2013

Bassin versant	**Station**	**Précipitation (mm)**
La Tinh	Phu My	229
Lai Giang	An Hoa	227
	Bong Son	175
	Hoai An	160
Ha Thanh	*Quy Nhon*	*133*
	Van Canh	*297*
Kon	Binh Nghi	219
	Thanh Hoa	141
	Vinh Son	288

(Source de donnée : Centre de Hydrométéorologique de la province de Binh Dinh, 2013)

De plus, en amont du bassin versant du fleuve Kon, dans le district de Vinh Thanh, on effectue un important lacher de barrage (débit de sortie : 2611 $m^3.s^{-1}$). Le lac de retenue dit de Binhdinh a une capacité de 226 millions de mètres cubes. Il semblerait qu'il y ait eu une mauvaise gestion de ce barrage hydroélectrique car, au lieu d'écrêter la crue, le lacher s'est cumulé au gonflement des écoulements, aggravant les inondations en aval. A la date du 17 novembre 2013, on compte 13 morts dans la province de Binh Dịnh causée par les inondations. « 14 communes et quartiers des districts de Van Canh, Tuy Phuoc, Vinh Thanh et de Tây Son, du chef-lieu d'An Nhon et de la ville de Quy Nhon, ont été gravement inondés » (Source : http://lecourrier.vn, consulté le 17 novembre 2013). Cet évènement montre à nouveau la forte exposition de la région aux évènements hydrométéorologiques et leurs conséquences.

Photographie 6.11. Inondation du village de Dieu Tri en aval du fleuve Ha Thanh (Photographie : VAN Minh, 15 novembre 2013 16h)

Photographie 6.12. Maison endommagée de Đồng Văn Cường du district de Phu My (en aval du fleuve Kon) (Photographie : XUAN Loc, 17 novembre 2013 15h)

* * * *

Le chapitre 6 a fait le point sur la vulnérabilité face au risque d'inondation dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh. Nous avons, notamment, représenté les résultats des enquêtes et la typologie de la perception du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh. De nombreuses informations et inteprétations peuvent à présent nous servir pour orienter certains aspects de l'évaluation géographique et proposer des pistes de réflexion et d'action vis à vis des risques hydrologiques. Ce chapitre termine donc la partie de la thèse consacrée à l'évaluation environnementale et au diagnostic de la plaine d'inondation du fleuve Ha Thanh. Cette partie est très importante pour nous permettre de réaliser la suite des objectifs : la modélisation des interactions sociétés/milieux deltaïques et l'optimisation de la planification urbaine. Le chapitre 7 est consacré à la modélisation et à la détermination de la vulnérabilité dans le delta. Le chapitre 8 aborde l'interprétation des résultats et la discussion des nombreux résultats.

Chapitre 7 - Essai de modélisation hydrologique dans le bassin du fleuve Ha Thanh

Le bassin versant du fleuve Ha Thanh est mal connu, à l'image de nombreux cours d'eau du centre Viêt-Nam. Il nous est apparu nécessaire d'explorer les méthodes de la modélisation hydrologique dans le but de mettre en lumière le comportement dynamique du bassin versant. Un essai de modélisation est donc développé en tenant compte des biais liés à la qualité hétérogène des données et du réseau très réduit des stations pluviographiques. Nous proposons quelques solutions pour concevoir dans un futur proche une modélisation plus élaborée compte-tenu des nouvelles connaissances acquises sur les paramètres morphométriques du fleuve Ha Thanh et de son bassin.

7.1. Vers une modélisation du bassin du fleuve Ha Thanh

7.1.1. Discussion sur quelques modèles disponibles et leurs applications

Il existe de nombreux modèles qui peuvent être répartis en trois grandes catégories : modèles empiriques, modèles conceptuels et modèles à base physique (Refsgaard et Storm, 1995 ; Cosandey et Robinson, 2000; Regazzoni *et al.*, 2010).

- les modèles empiriques utilisent des concepts mathématiques et statistiques pour établir des données à l'entrée (pluie) et à la sortie du modèle (débit) sur un bassin versant considéré (Gnouma, 2006). « Même s'ils permettent d'estimer certaines valeurs caractéristiques de la réponse du bassin (vitesses de transfert, temps de résidence,…), ils s'appuient sur des fonctions et paramètres globaux sans signification physique ou non directement reliés à des propriétés mesurables, donnant une description purement mathématique et numérique du fonctionnement du bassin » (Ambroise, 1988, p.110).

- les modèles à base physique sont basés sur la physique des processus hydrologiques qui contrôlent la réponse du bassin versant et utilisent des équations basées physiquement pour décrire ces processus (Seth, 2008). Ces modèles peuvent être distribués lorsque les équations décrivent une ou plusieurs coordonnées spatiales (Jayakody, 2008).

- les modèles conceptuels : le cycle de l'eau dans un bassin versant relève de la complexité (Ambroise, 1988). Les modèles conceptuels peuvent reposer sur une simplification de ce cycle de l'eau (Regazzoni *et al.*, 2010). Ces modèles peuvent occuper une position intermédiaire entre l'approche entièrement basée sur la physique et l'analyse empirique. "De tels modèles sont formulés sur la base d'un nombre relativement faible de composants, dont chacun est une représentation simplifiée d'un élément de processus dans le système modélisé" (Jayakody, 2008). De plus, ces « modèles considèrent en général le bassin

versant, après quelques simplifications du cycle de l'eau, comme un ensemble de réservoirs interconnectés » (Gnouma, 2006, p.33).

« Les modèles conceptuels sont les plus utilisés puisqu'ils ont l'avantage de représenter les processus physiques internes aux bassins versants à l'événement ou en continu de façon plus réaliste que les modèles empiriques » (Regazzoni *et al.,* 2010, p.11). Ils sont formés à partir d'une série de processus des composantes du cycle de l'eau : pluie, évaporation, eau souterraine, écoulement de base, ruissellement de surface, infiltration (Ambroise, 1988).

Plusieurs modèles (conceptuel, à base physique et empirique) ont été développés comme : modèle *GR©*, modèle *TOPMODEL©*, modèle *SWAT©*, modèle *MIKE-SHE©*, modèle *MARINE©*, modèle *HEC-HMS©*.

- modèles *GR©* (Génie Rural, développé par le Cemagref, aujourd'hui IRSTEA) : ces modèles ont été développés depuis les années 1980 (Perrin *et al.,* 2010). GR© est essentiellement un modèle empirique (Cosandey et Robinson, 2000) qui fonctionne à pas de temps horaire, journalier, mensuel et annuel (Perrin *et al.,* 2010).

De nombreuses applications de recherche ou en contexte opérationnel utilisent les modèles *GR©* : la prévision des crues ou des étiages, la détection de l'impact des changements climatiques, les changements du couvert végétal sur l'hydrologie, l'influence des réservoirs d'eau artificiels sur la transformation pluie-débit (Payan, 2007; Berthet, 2010).

- modèle *TOPMODEL©* (*TOPopgraphy based hydrological MODEL*) : le développement de *TOPMODEL©* a été initié par le professeur Mike Kirby en 1974 (Beven et Kirby, 1979). Le ruissellement, l'infiltration, l'exfiltration, l'écoulement souterrain, l'évapotranspiration font partie des paramètres pris en compte. Il simule les flux hydrologiques dans un bassin versant.

- modèle *SWAT©* (*Soil and Water Assessment Tool*). Il a été développé par l'équipe de Jeff Arnold (1993) chercheur du Département de l'Agriculture des Etats-Unis. C'est un modèle à base physique qui utilise des données d'entrée facilement disponibles et permet aux utilisateurs d'étudier des effets à long terme (Winchelle *et al.,* 2007). *SWAT©* est un modèle d'évaluation d'un bassin versant, développé pour prédire l'impact des pratiques de gestion des terres sur l'eau, les sédiments et les impacts des produits chimiques agricoles dans les bassins versants sur les sols (Neitsch *et al.,* 2002). Il permet d'étudier les transferts des produits chimiques, de ruissellement et d'érosion dans un bassin versant (Gassman *et al.,* 2007).

- modèle *MIKE-SHE©* (*System Hydrologic European*) est un système de modélisation hydrologique intégré pour la construction et la simulation de l'écoulement d'eau de surface et l'écoulement d'eau souterraine. Il a été développé en 1977 par un consortium de trois organisations européennes : l'Institut d'hydrologie (Royaume-Uni), Sogreah (France) et DHI

Water Environnement Health (Danemark) sur la base du plan de Freeze et Harlan (1969) (Abbott *et al.*, 1986). *MIKE-SHE©* a été utilisé dans de nombreuses applications (Refsgaard et Storm, 1995) : étude des zones inondables, irrigation et drainage, gestion et planification des bassins versants. Il existe une large gamme de produits développés pour la modélisation à différents niveaux de résolution en fonction des besoins d'application : modélisation des cours d'eau, des systèmes littoraux et des aménagements avec *MIKE 11©* et *MIKE 21©*, modélisation des inondations en milieu urbain avec *MIKE FLOOD©, gestion intégrée des bassins versants avec MIKE BASIN©*.

- modèle *MARINE©* (*Modélisation de l'Anticipation du Ruissellement et des Inondations pour des événements Extrêmes*) a été développé à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (Estupina-Borrell, 2004). C'est un modèle à base physique et spatialisé (Le, 2008 ; http://hmf.enseeiht.fr, consulté le 13 novembre 2013). Il associe de nombreux types de données : MNT, occupation des sols, types de sol, humidité initiale du sol, lits des cours d'eau, imagerie satellitale, RADAR météorologique (Estupina-Borrell, 2004 ; Bessière, 2008). « *MARINE©* a pour vocation de prévoir des débits de crues éclair à l'exutoire du bassin, ou en certains points critiques du cours d'eau principal (échelle du sous bassin) » (Estupina-Borrell, 2004, p.102).

- modèle *HEC-HMS©* (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*) est un modèle hydrologique conceptuel (Skoulikaris, 2008; Tramblay, 2012; Fadil *et al.*, 2013). Développé par les ingénieurs de l'armée des Etats Unis (*Hydraulic Engineering Corps de l'US Army Corps of Engineers)* pour répondre à diverses questions de modélisations hydrologiques à l'échelle d'un bassin versant : stockage dans les réservoirs, propagation des débits dans les biefs, et transformation des pluies en débits (USACE, 2000) ; c'est cette dernière fonction qui est utilisée dans notre essai de modélisation [(66)].

De nombreuses études ont déjà utilisé ce modèle (Yener, 2006; Amit Karki, 2007; Hammouri et Naqa, 2007; Arekhi, 2012; Sardoii *et al.*, 2012). Le module pluie-débits peut être appliqué pour différents objectifs : prévision des crues, prévision des débits d'étiages, simulation de scénarios de crues, études d'impact à l'échelle d'un bassin versant (changements d'occupation du sol, aménagements hydrauliques (barrage ou digue), modélisation des conséquences des changements climatiques sur le régime hydrologique.

Ce logiciel convertissant les pluies en débit est appliqué au bassin versant du fleuve Ha Thanh afin de mieux comprendre le comportement du bassin versant exposé aux typhons.

[66] Le logiciel ainsi que sa documentation exhaustive sont disponibles sur le site : http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.aspx.

7.1.2. Considérations théoriques du modèle HEC-HMS©

En ce qui concerne les relations pluies-débits, le modèle *HEC-HMS©* peut se représenter selon un schéma conceptuel (Fig. 7.1). Nous présentons ici les bases physiques de la modélisation en reprenant très largement la littérature disponible. Nous intégrons le savoir-faire de la modélisation et essayons de l'adapter à la problématique majeure de la thèse, celle de mieux comprendre le comportement du bassin et les conséquences sur le cadre des écoulements (le fleuve Ha Thanh).

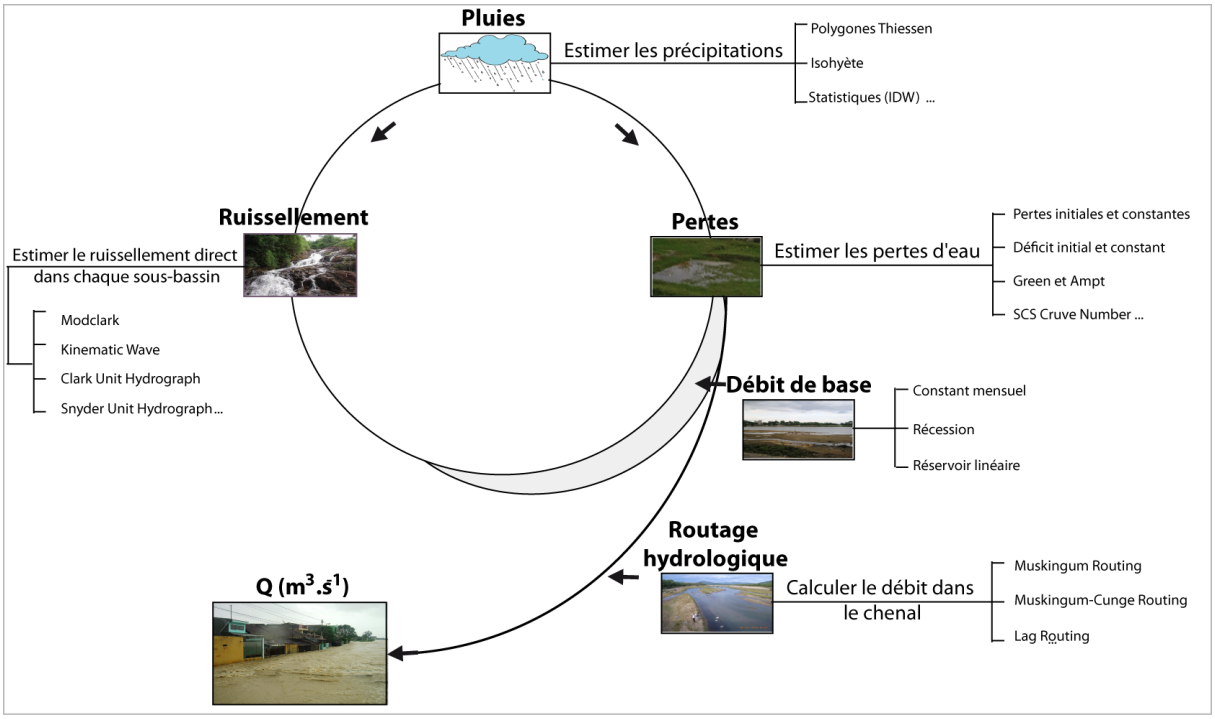


Figure 7.1. Schéma conceptuel du fonctionnement hydrologique selon le modèle HEC-HMS© pour le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

La formation d'un débit de crue peut se modéliser en deux étapes suivant le cycle hydrologique :

- une phase de production quand la pluie commence à tomber. L'écoulement de surface ne se forme pas immédiatement car des précipitations sont retenues par l'infiltration. Lorsque l'intensité des précipitations dépasse l'intensité d'infiltration (précipitations efficaces) des écoulements de surface commencent à se former ;

- une phase de transfert : l'eau circulant exclusivement à la surface du sol va se concentrer pour rejoindre le réseau hydrographique. Puis les écoulements se déplacent vers l'aval selon une progression qui dépend de la morphologie et de la rugosité du lit du cours d'eau.

- **Fonction de production**

+ Estimation de la pluie moyenne sur le bassin versant

La pluie représente la donnée d'entrée pour le calcul de l'écoulement. A chaque sous-bassin est attribuée une valeur de précipitations, en fonction des données disponibles et des interpolations possibles. Il existe de nombreuses méthodes pour calculer les précipitations moyennes dans un bassin versant : moyenne arithmétique, méthode de Thiessen, utilisation des isohyète, méthode statistiques (IDW) (USACE, 2000; Cosandey et Robinson, 2012). Dans cette recherche, nous choisissons la méthode d'interpolation IDW-(*Inverse Distance Weighting*). L'IDW ou la Pondération Inverse à la Distance a été développée par le *National Weather Service*, aux Etats-Unis, en 1972, et est classée comme une méthode d'interpolation mathématique déterministe (Zaninetti, 2005). Cette méthode d'interpolation permet d'assigner des valeurs estimées sur une grille, calculées par une moyenne pondérée par la distance des valeurs connues (Lu et Wong, 2008; Soenario et Sluiter, 2010). Elle est adaptée à la spatialisation des variables météorologiques en l'absence de forte contrainte de relief (Bedient et Huber, 1992; Burrough et Mcdonnell, 1998; Li et Heap, 2008). Selon Shepard (1986), l'IDW utilise la fonction d'interpolation suivante :

$$u(x) = \frac{\sum_{k=0}^{n} w_k(x) u_k}{\sum_{k=0}^{n} w_k(x)} \qquad (7.1)$$

$$\text{Où : } w_k(x) = \frac{1}{d(x, x_k)^p} \qquad (7.2)$$

u est une valeur interpolée ; x étant un point (inconnu) interpolé ; x_k est un point (connu) interpolé ; d est une distance donnée du point connu x_k au point inconnu x ; n est le nombre total de points x_k utilisé pour l'interpolation ; p est un nombre positif réel ; et w_k est une pondération (Shepard, 1986; Zaninetti, 2005).

Pour calculer les précipitations des sous-bassins, on utilise l'équation (7.3) :

$$P_{moy} = \frac{\sum_i \left(w_i \sum_t p_i(t) \right)}{\sum_i w_i} \qquad (7.3)$$

P_{moy} : précipitation moyenne de bassin versant ;

$P_i(t)$ précipitation enregistrée à l'instant t la station i ;

w_i : facteur de pondération attribué à l'observation i. (USACE, 2000)

+ Estimation des pertes initiales

Après la hauteur des précipitations, la perte de précipitation est le principal facteur qui influe sur le volume ruisselé dans le bassin versant. Pendant la pluie, la perte de précipitation est provoquée par l'interception, l'évaporation, le stockage et l'infiltration (USACE, 2000). Dans le cas étudié ici de reconstitution des débits résultants d'une tempête tropicale ou d'un typhon, les pertes autres que celles causées par les infiltrations sont relativement très faibles et ont été négligées; c'est donc l'infiltration qu'il faut estimer.

Pour estimer les pertes d'eau par infiltration, le modèle *HEC-HMS*© dispose de différentes méthodes : Green et Ampt, SCS (*Soil Conservation Service*) Cruve Number, déficit initial et constant (*deficit and constant*), pertes initiales et constantes (*initial and constant*), Smith Parlange,… (USACE, 2000). Dans le cadre de cette recherche, le modèle de pertes SCS Cruve Number (USDA, 1986) a été retenu.

La méthode SCS Curve Number (*CN*) est simple à mettre en œuvre (Soulis et Valiantzas, 2012). Les données nécessaires sont les précipitations et le choix d'une courbe préétablie. Elle a été largement et efficacement utilisée pour estimer le volume ruisselé à partir des précipitations. (Steenhuis *et al.,* 1995; Bellall *et al.,* 1996; Tramblay, 2012). Grâce à ce modèle, « l'excès de précipitations est estimé en fonction des précipitations cumulées » Tramblay, 2012, p.14) sur l'épisode :

$$P_e = \frac{(P - 0{,}2S)^2}{P + 0{,}8S} \qquad (7.4)$$

P_e : volume en excès qui participe aux écoulements superficiels, P : pluie cumulée, S : le potentiel maximum de rétention du sol (Schulze *et al.,* 1992; USACE, 1998).

Dans la méthode SCS, les pertes initiales sont données par la relation $I_a = 0{,}2S$. (7.5) (I_a : les pertes initiales) (USACE, 1998).

Dans lequel S, potentiel de rétention est relié au numéro de courbe *CN* (*Curve Number*), qui défini le coefficient de ruissellement selon l'équation suivante (USACE, 2000) :

$$S = \frac{25400 - 254 * CN}{CN} \qquad (mm\text{-}(SI))\ ^{(67)} \qquad (7.6)$$

Où, CN : le coefficient de ruissellement. Il renseigne sur la capacité du sol à infiltrer l'eau de pluie (Soulis et Valiantzas, 2012).

Les valeurs de *CN* se trouvent dans le NEH [68] (*National Engineering Handbook).* Elles peuvent être estimées en fonction de l'occupation et du type de sol. Le modèle distingue

[67] SI : unités du Système International établi par la 11e CGPM en 1960 (Bureau international des poids et mesures, 2006).

[68] ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch9.pdf

quatre groupes de sols : A, B, C et D (répertoriés dans le NEH *Parte 630* [69] *: Hydrologic Soil-Cover Complexes* ; Tab. 7.1). La plage de valeurs du *CN* va de 100 (pas d'infiltration) à environ 30 correspondant à une importante capacité d'infiltration (USACE, 1998).

Tableau 7.1 : Le SCS groupes de sols et les taux d'infiltration (Skaggs et Khaleel, 1982; SCS, 1986)

Groupe	Description	Taux de pertes (in/heure)
A	Sable profond, lœss profond et limons	0,30-0,45
B	Lœss peu profond et limons	0,15-0,30
C	Argile limoneux, limons sableux peu profonds, sols pauvres en matières organiques	0,05-0,15
D	Argile, sol alcalin, argiles plastiques lourdes	0,00-0,05

A : les sols de ce groupe ont un faible potentiel de ruissellement quand ils sont bien réhumectés. L'eau transite librement dans les sols;

B : les sols ont un potentiel de ruissellement modéré quand ils sont bien réhumectés. La transmission de l'eau dans le sol se réalise sans entrave;

C : les sols ont un potentiel modérément élevé de ruissellement quand ils sont bien réhumectés. La transmission de l'eau dans le sol est un peu limitée;

D : les sols ont un potentiel de ruissellement élevé quand ils sont bien réhumectés. La transmission de l'eau dans le sol est limitée ou très limitée. (USDA, 2007; NRCS, 2009).

Pour un bassin versant qui se compose de plusieurs types et d'occupation des sols, un CN composite est calculé comme suit :

$$CN_{moyen} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i CN_i}{\sum_{i-1}^{n} A_i} \qquad (7.7)$$

Où, CN_{moyen} = coefficient de ruissellement moyen;

i = un type et une couverture du sol (forêt, agricole, urbain);

A_i = une surface de drainage correspondant à la surface occupée par i;

CN_i =un coefficient de ruissellement *CN* correspondant à A_i. (USDA, 1986).

+ Débit de base (q_b)

Au cours de la simulation du modèle pluie-débit, *HEC-HMS*© utilise souvent les deux données de débit : le ruissellement direct des précipitations et le débit de base (USACE, 2000;

[69] ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch7.pdf

Chang, 2009). Le débit de base est la composante du débit qui provient des stockages souterrains. Selon Tramblay (2012), « le débit de base est la composante du débit qui retourne dans le cours d'eau depuis le stockage souterrain et les aquifères » (p.13).

HEC-HMS© propose trois modules de calcul : débit constant mensuel (*Constant, Monthly-varying Baseflow*) ; modèle à récession exponentionnelle (*Exponential Recession Model*) ; modèle à réservoir linéaire (*Linear-reservoir volume accounting model*) (USACE, 2000; Tramblay, 2012). Nous avons choisi le module mensuel constant. « Ce module suit une approche très simple permettant d'estimer l'écoulement souterrain » (Source : http://hmf.enseeiht.fr, consulté le 21 octobre 2013). Ce débit est ajouté au ruissellement direct calculé à partir des précipitations pour chaque pas de temps de la simulation (USACE, 2000). « Pour pouvoir utiliser ce modèle, on doit connaître la valeur du débit de ces écoulements souterrains lorsqu'il n'y a pas de précipitations, grâce à des mesures sur le terrain. Pourtant cet écoulement peut être négligé dans le cas de petits bassins versants et pour la plupart des bassins versant dits urbains » (source : BEISEE- http://hmf.enseeiht.fr, consulté le 21 octobre 2013).

- **Fonction de transfert**

La fonction de transfert est utilisée pour estimer la progression des écoulements jusqu'au point considéré. Le modèle *HEC-HMS*© propose six méthodes différentes pour estimer les écoulements résultants du ruissellement direct dans chaque sous-bassin : hydrogrammes unitaires de Clark, de SCS et de Snyder, hydrogrammes définis par l'utilisateur, transformation et ainsi que onde cinématique de Modclark (Tramblay, 2012). Parmi ces méthodes, nous avons choisi la méthode de l'hydrogramme unitaire de Snyder.

+ Temps de délai de Snyder

Le temps de délai t_p est calculé selon l'équation :

$$t_p = 0.75 C_t (L \times L_c)^{0.3} \qquad (7.8)$$

avec $C_t \infty \frac{1}{S_b}$ dans lequel (∞ = Inversement proportionnel)

- t_p est en heures ;

- S_b est la pente (m/m);

- C_t est un paramètre généralement compris entre 1,8 - 2,2 (Bedient et Huber, 1992) « qui tient compte du calcul des variations de pente et de stockage dans le bassin par rapport au ruissellement » (Source : https://cours.etsmtl.ca, consulté le 15 mai 2013);

- L est la longueur du cours d'eau principal de l'exutoire jusqu'à la ligne de crêtes (km);

- L_c est la distance le long du cours d'eau principal (km), séparant l'exutoire du bassin versant au point le plus proche du centre de gravité du bassin versant. (USACE, 1998, Musy, 2003).

+ Coefficient de pointe de Snyder-C_p

Selon Bedient et Huber (1992), « le facteur C_p est fonction de la capacité de rétention ou du stockage du bassin versant. C_p varie typiquement entre 0,4 et 0,8 ». En outre, avec le facteur C_p proportionnel S_b (USACE, 1998), « les valeurs de C_p les plus faibles sont généralement associées aux valeurs les plus fortes de C_t et, inversement les valeurs les plus fortes sont habituellement associées aux valeurs les plus faibles de C_t » (Source : https://cours.etsmtl.ca, consulté le 15 mai 2013).

+ Routage hydrologique

Le routage hydrologique calcule les débits dans le chenal d'écoulement. La plupart des méthodes de calcul de routage hydrologique dans *HEC-HMS*© sont basées sur les équations de continuité et la relation entre le débit et le stockage (USACE, 2000).

La plateforme *HEC-HMS*© dispose de plusieurs fonctions de routage hydrologique : Modified Puls Routing, Straddle Stagger Routing, Muskingum Routing, Muskingum-Cunge Routing**,** Lag Routing et Kiematic Wave Routing, (USACE, 2000). Dans cette recherche, nous avons utilisé le Muskingum-Cunge Routing pour effectuer la simulation.

La méthode Muskingum a été développée par McCarthy, et Cunge (1969). Il a été démontré que cette méthode respecte les équations de Saint-Venant (équations de continuité et de dynamique (7.9 et 7.10)) (Hostache, 2006), tenant compte du comportement du fluide (Cameron, 1980).

Equation de continuité : $\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$ (7.9)

Equation dynamique : $\frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_o - S_f$ (7.10)

Où Q = débit ($m^3.s^{-1}$);

q = débit latéral d'apport ($m^3.s^{-1}$);

t = temps (s);

g = accélération de la pesanteur ($m.s^{-2}$);

x= longueur du bief (m);

y = tirant d'eau (m);

S = section mouillée (m^2);

S_o = pente du lit (%);

S_f = gradient énergétique ou la pente de friction;

$\partial y/\partial x$ = gradient de pression;

$(V/g)(\partial V/\partial x)$ = accélération de convective;

$(1/g)(\partial V/\partial t)$ = accélération locale. (Barry et Bajracharya, 1995; USACE, 2000; Hostache, 2006).

Le Muskingum-Cunge est un procédé de coefficient non linéaire pour le calcul du flux de l'amont à l'aval d'un fleuve ou d'une rivière. Bien qu'il soit courant et facile à utiliser, le modèle de Muskingum-Cunge inclut des paramètres qui ne sont pas basés sur la physique et sont donc difficiles à estimer (USACE, 2000).

L'équation Muskingum est basé sur deux équations (Linsley *et al.*, 1982; Brunner *et al.*, 1991) :

- la première équation est une relation de stockage basée sur la différence entre le flux entrant et le flux sortant dans un bief :

S (t) = K [X I + (1-X)Q] (7.11)

Où $S(t)$ = volume stocké dans un cours d'eau (m^3);

X = facteur de pondération (non-dimension);

t = en heure;

I = le débit entrant ($m^3.s^{-1}$);

Q = le débit sortant ($m^3.s^{-1}$);

K = un coefficient de stockage.

- la seconde équation est basée sur une solution de la forme de l'équation de continuité et l'équation dynamique (Merkel, 2002).

$$\frac{I_1 + I_2}{2}\Delta t - \frac{Q_1 - Q_2}{2}\Delta t = S_1 - S_2 \qquad (7.12)$$

Où I_1 et I_2 sont les débits entrant aux temps 1 et 2, ($m^3.s^{-1}$) ; Q_1 et Q_2 sont les débits sortant aux temps 1 et 2, ($m^3.s^{-1}$) ; Δt est différence de temps entre les temps 1 et 2 ; et S_1 et S_2 sont les volumes stockés aux temps 1 et 2, (m^3).

Ponce (1981) a combiné les deux équations (7.11) et (7.12) :

$$Q_2 = C_1 I_1 + C_2 I_2 + C_3 Q_1 \qquad (7.13)$$

Où : $C_1 = ((\Delta t / K) + 2X)/C_0$

$C_2 = (\Delta t / K) - 2X)/C_0$

$C_3 = (2/(1-X) - \Delta t / K)/C_0$

$C_0 = \Delta t / K + 2(1-X)$

Avec C_0, C_1, C_2 et C_3 paramètres sans dimension (USACE, 2000), dans lesquels (Cunge, 1969 ; USACE, 2000; Merkel, 2002) :

$$X = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{Q}{BS_oV\Delta x}\right) \qquad (7.14) \qquad \text{et} \qquad K = \frac{\Delta x}{V} \qquad (7.15)$$

V = vitesse moyenne de l'onde ($m.s^{-1}$) ;

B = largeur de la surface de l'écoulement (m) ;

S_o = pente du lit (m/m)

Δx = longueur du tronçon de rivière (m). (USACE, 2000).

+ Le calage du modèle

Nous utilisons les trois modes suivants:

- *le coefficient de Nash :* ce coefficient « représente le rapport de la variance résiduelle à la variance des débits observés » (Nash et Sutcliffe, 1970 ; Ayadi et Bargaoui, 1998, p.746; Sorman, 2005) :

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(q_{si} - q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^{n}(q_{oi} - \bar{q}_o)^2} \qquad (7.16)$$

Où q_{oi} - débits observés et q_{si} - débits simulés du jour i ; $\overline{q_o}$ est la moyenne de q_{oi} sur les n jours servant au calcul du coefficient. ($m^3.s^{-1}$). NSE est compris entre - ∞ et 1 (NSE = 1, correspond à un modèle parfait; NSE = 0, indique un modèle moyen; NSE < 0, indique que le modèle est mauvais) (Nash et Sutcliffe, 1970 ; Ayadi et Bargaoui, 1998).

- *le pourcentage d'erreur :* HEC-HMS permet de calculer la différence entre les fonctions objectives comme l'erreur en pourcentage sur le volume (P_e) ou le pic de débit en pourcentage d'erreur entre deux pics de débits selon l'équation :

$$Z = 100 * \frac{q_s(peak) - q_o(peak)}{q_o(peak)} \qquad (7.17)$$

Z : fonction d'objective ; q_o *(peak)* : pic de débit observé ; q_s *(peak)* : pic de débit simulé. (USACE, 2000).

- *le coefficient de Pearson* : il est défini par « le rapport de la variation expliquée à la variation totale » (Vilain, 2012, p.119). Il varie de 0.0 (modèle mauvais) à 1.0 (modèle parfait) (McCuen, 1993) et il presente la formule suivante :

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})(S_i - \overline{S})}{\left[\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2\right]^{0,5}\left[\sum_{i=1}^{n}(S_i - \overline{S})^2\right]^{0,5}} \right] \qquad (7.18)$$

Où R^2 est le coefficient de Pearson, O_i et S_i sont les débits observés et calculés du jour i ; $\overline{O}$ et $\overline{S}$ sont la moyenne de O_i et S_i sur les n jours servant au calcul du coefficient.

7.1.3. Comportement du bassin versant

La crue de 2 novembre 2009 est considérée comme la crue historique de référence (45 ans de retour (DiGregorio et Huynh, 2012). Ce typhon a provoqué de très fortes pluies sur la partie montagneuse du bassin du fleuve Ha Thanh. A la station de Van Canh on enregistre 851 mm de précipitations en deux jours, avec une intensité maximale de 77 mm en une heure. A l'aval, l'onde de crue a été certainement très rapide selon l'enquête de terrain effectuée en 2012. S'il existe des éléments de description du déroulement de la crue, consignés dans le rapport de 2009 (CITRS, 2010), on ne dispose d'aucune mesure de débits, le dispositif de mesure du Centre Hydrométéorologique de la province de Binh Dinh ayant été mis hors d'état de fonctionner très rapidement ; seules les hauteurs d'eau au droit de la station ont pu être mesurées. D'où l'intérêt d'une approche par modélisation pour tenter d'estimer les débits en question.

Nous utilisons les données d'entrée suivantes : pluies, niveau d'eau, occupation du sol, géométrie des lits, paramètres pédologiques. Le modèle *HEC-HMS*© permet de proposer des valeurs de débits pour toute la durée de la crue. La démarche suivie va alors être la suivante :

- détermination des limites du bassin et des sous basins; calcul de la pluie moyenne;
- calcul des pertes permettant d'estimer le volume total des précipitations ayant participé aux écoulements : *Méthode SCS Curve number;*
- fonction transfert : *Hydrogramme unitaire de Snyder;*
- donnée de débit de base : *Méthode de constant mensuel;*
- modélisation des écoulements fluviaux : *Méthode de Muskingum-Cunge.*

+ Détermination de la limite du bassin versant du fleuve Ha Thanh

Il existe de nombres logiciels comme *ArcSWAT*©, *ArcHydro*©, *Mapwindow*© permettant la délimitation automatique et rapide des bassins versants. Pour notre étude, l'extension *Hydrologic Modeling*© d'*ArcGis*© a été utilisée.

Le MNT a été utilisé à partir du GDEM - ASTER V2 de la zone d'étude (Fig. 7.2). Ce MNT a été utilisé dans le SIG pour l'analyse spatiale hydrologique afin de déterminer les limites du bassin versant, celles des sous-bassins et les exutoires du delta (voir caractéristiques morphologiques du delta dans le chapitre 4) (Seyler *et al.*, 1999; Escarzaga, 2003, Chang, 2009). La surface du bassin versant ainsi estimée est de 620 km^2, son périmètre de 154 km ; la longueur du cours d'eau est de 58 km ; 7 sous-bassins ont été individualisés, et 2 exutoires (bras de Thanh Hung et de Truong Uc, voir la figure 2.28 dans le chapitre 2, p.86) qui ont fonctionné conjointement pendant la crue ont été localisés sur le MNT.

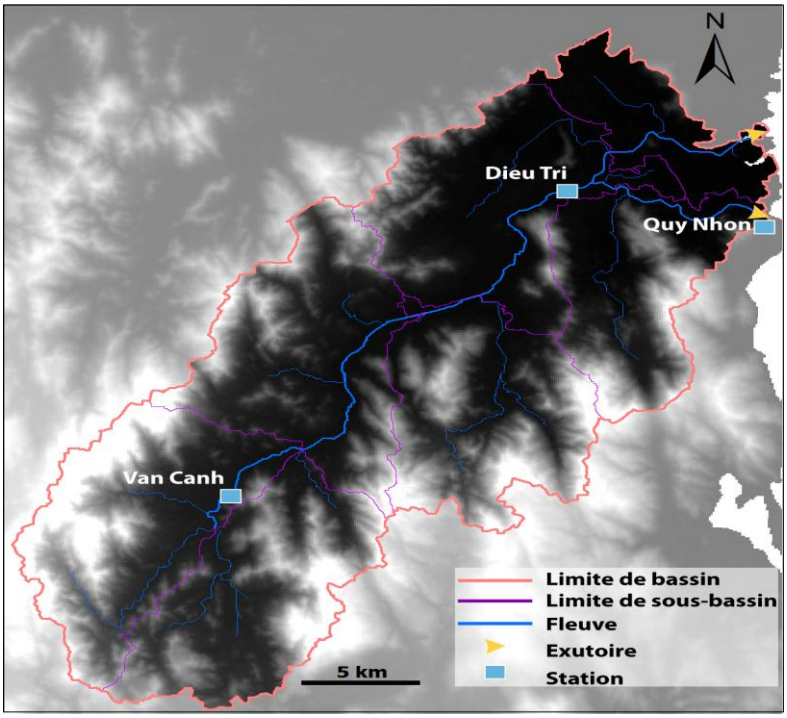


Figure 7.2. Résultat de l'extraction du bassin versant à partir du MNT (Ngo, 2012)

+ Application du logiciel *HEC-HMS*©

Les débits du fleuve Ha Thanh aux exutoires proviennent des précipitations sur les sept sous-bassins qui composent le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Fig. 7.3). Ces précipitations se combinent suivant le schéma suivant :

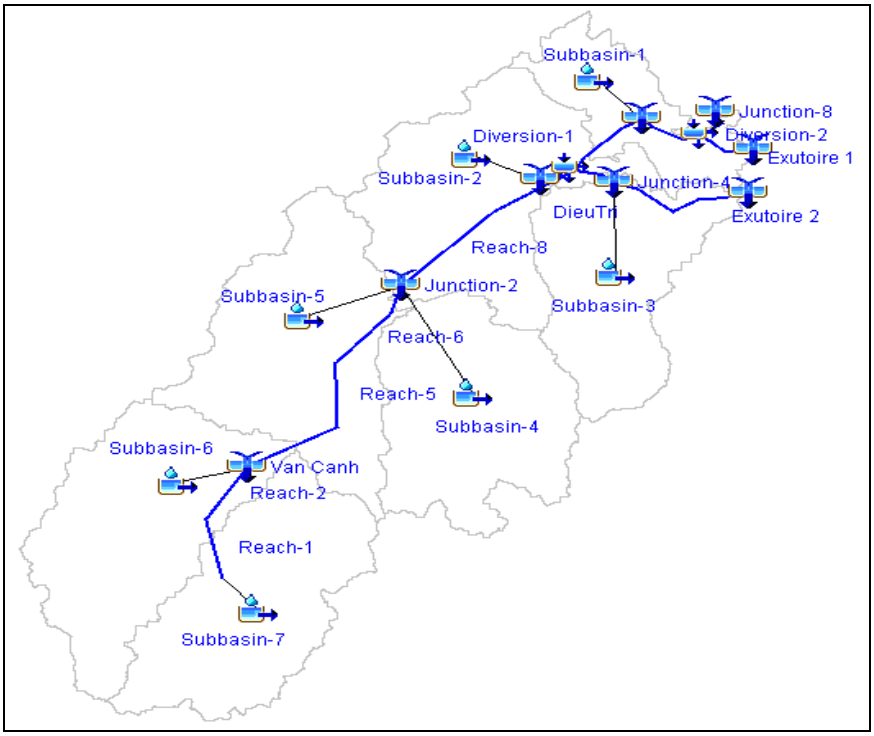


Figure 7.3. Schéma de bassin par les outils de *HEC-HMS*© (Ngo, 2013)

- « subbassins » : permet de définir une zone élémentaire;
- « reach » : représente les cours d'eau. Permet de simuler un débit;
- « junction » : additionne les débits. (Scharffenberg et Fleming, 2010).

La démarche suivante consiste à estimer une pluie moyenne pour chaque sous bassin.

+ Estimation de la précipitation moyenne dans le bassin versant :

Nous disposons de 2 stations pluviométriques situées à l'intérieur du bassin versant : Quy Nhon au nord-est, en aval du bassin versant, et Van Canh au sud, en amont (Fig.7.2).

La figure 7.4 ci-dessous représente les précipitations au pas de temps horaire sur ces deux stations pendant la durée du passage du typhon Mirinae, soit les 2 et 3 novembre 2009. Les hauteurs mesurées on été de 851 mm à la station de Van Canh (avec un maximum horaire de 77 mm de 16 à 17 h le 2 octobre), et de 361 mm à la station de Quy Nhon (pluie max = 32 mm/h du 2 novembre 2009 de 15 à 16h).

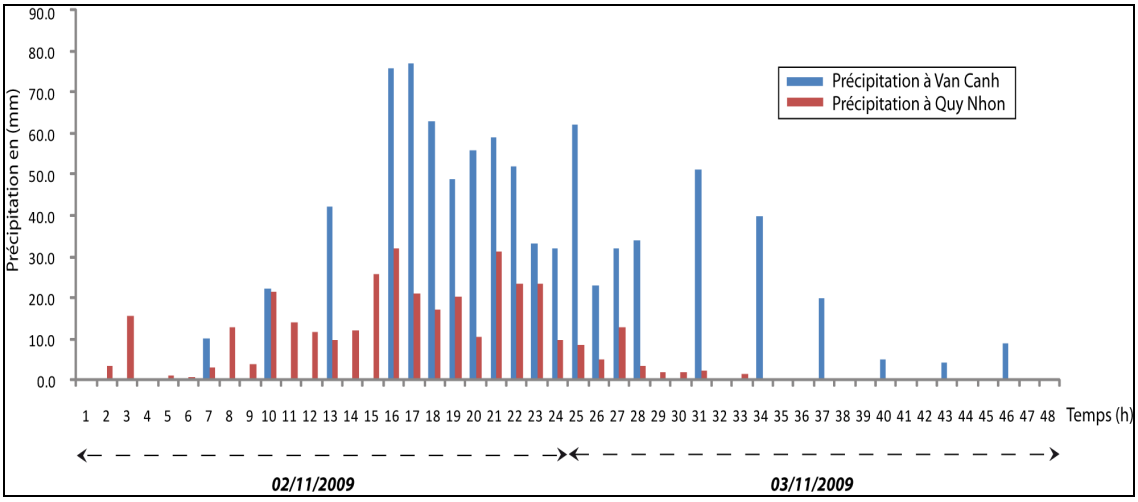


Figure 7.4. Précipitations mesurées aux stations pluviométriques de Van Canh et de Quy Nhon du 2 au 3 novembre 2009 (Source : Centre hydrométéorologique de la province de Binh Dinh)

A partir des données de ces deux stations, une précipitation moyenne à été calculée pour chacun des sous-bassins. Pour les sous-bassins 1, 6 et 7 les données de précipitation des stations pluviométriques de Van Canh et de Quy Nhon ont été retenues. La méthode d'interpolation IDW est utilisée pour estimer la précipitation moyenne dans les sous-bassins 2, 3, 4 et 5 (Fig. 7.5 et Annexe 7).

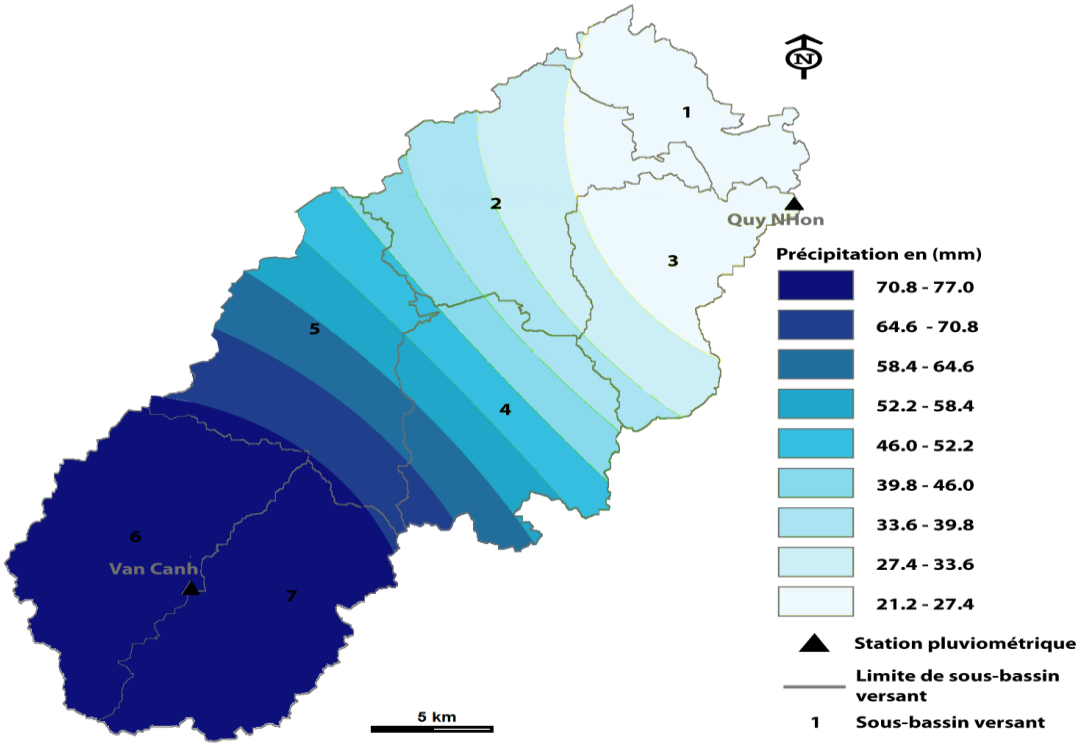


Figure 7.5. Exemple d'interpolation IDW entre les deux stations pluviométriques (Quy Nhon et Van Canh) pour la tranche horaire 16-17 h du 2 novembre 2009 (Réalisation : Ngo, 2013)

Les résultats obtenus sont alors les suivants (Fig. 7.6).

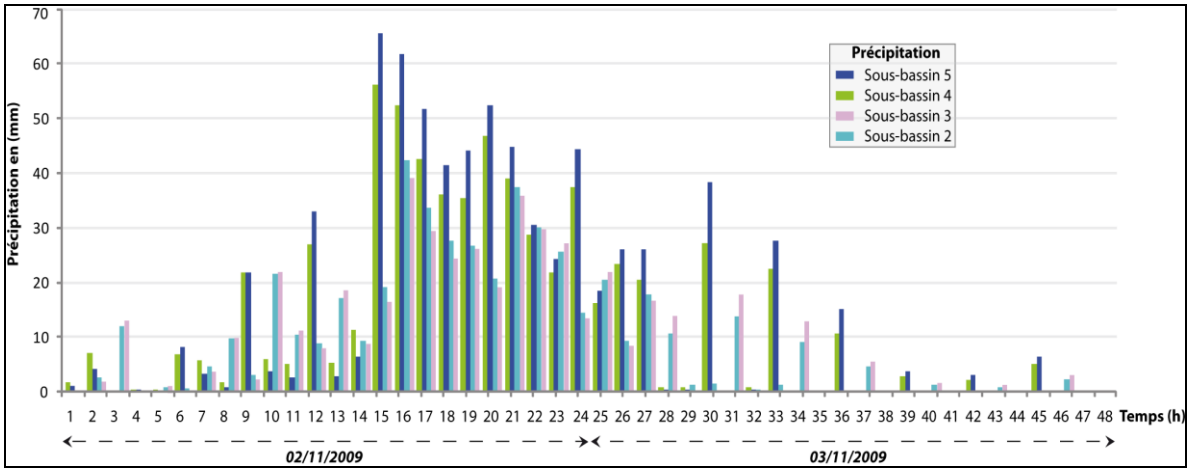


Figure 7.6. Précipitations dans les sous-bassins 2, 3, 4 et 5 par la méthode d'interpolation IDW à partir des données des stations pluviométriques de Van Canh et Quy Nhon pour la période du 2 au 3 novembre 2009 (Ngo, 2013)

Les totaux pluviométriques ainsi obtenus sont les suivants :

- 361,6 mm pour le sous bassin 1;
- 472,7 mm pour le sous bassin 2;
- 370,2 mm pour le sous bassin 3;
- 629,6 mm pour le sous bassin 4;
- 716,0 mm pour le sous bassin 5;
- 851,0 mm pour le sous bassin 6;
- 851,0 mm pour le sous bassin 7.

Et, selon l'équation (7.3) la précipitation moyenne sur le bassin versant du fleuve Ha Thanh), a été estimé à 626,4 mm pour la totalité de l'épisode pluvieux (Annexe 7).

+ Calcul des pertes permettant d'estimer le volume total des précipitations ayant participé aux écoulements. Dans un bassin versant, les surfaces peuvent être classées en 3 catégories :

- « les surfaces directement connectées et imperméables où l'écoulement est direct et se fait sans pertes » (Source : Manuel des références techniques du logiciel *HEC-HMS*©-http://hmf.enseeiht.fr);

- « les surfaces imperméables non directement connectées » (Source : http://kesakeau.ouvaton.org);

- « les surfaces perméables soumises à des pertes décrites par les différents modèles » Source : Manuel des références techniques du logiciel *HEC-HMS*©-http://hmf.enseeiht.fr (voir "a) Fonction de transfert" dans la partie 7.1.2 précédente) : pour *HEC-HMS*©, on utilise

le modèle de pertes SCS Cruve Number, c'est-à-dire que l'estimation de coefficient de ruissellement (*CN*), les pertes initiales (I_a) et le potentiel maximum de rétention du sol (*S)* dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh.

Pour l'estimation de *CN*, nous utilisons plusieurs données comme la pédologie, l'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Fig. 2.33 dans le chapitre 2, p.90 et Fig. 3.17 du chapitre 3, p.109) et ainsi que le NEH [70] (*National Engineering Handbook)* (USDA, 2007). Le tableau 7.2 présente les types du sol dans ce bassin versant en 2005. 59 % la superficie totale concerne le type C, 30% le type A et 11 % le type B.

Tableau 7.2. Répartition de la pédologie dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

Texture	**Types de sols dans NEH-4**	**Code classé en FAO**	**Code classé en Viêt-Nam**	**Superficie (km^2)**	**Pourcentage de la superficie totale (%)**
Sable profond, lœss profond et limons	A	ACp	X4	185,97	30
Lœss peu profond et limons	B	Flsg, Flsm et Fld	Mm, M et Pc	70,12	11
Argile limoneux, limons sableux peu profond, sols pauvres en matières organiques	C	Acf	Xf	363,92	59

(Source : Département de l'Agriculture et du Développement Rural de la province de Binh Dinh, FAO, et USDA 2004-2007. Traduction par l'auteur)

Par ailleurs, le tableau 7.3 représente les surfaces d'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh en 2011.

Tableau 7.3. Occupation du sol et de la superficie dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

Classes thématiques	**Superficie (km^2)**	**Pourcentage de la superficie totale (%)**
Surfaces agricoles	159,61	25,74
Surfaces en eau	17,45	2,82
Surfaces artificialisées	44,20	7,13
Forêt	398,69	64,30

(Source de donnée : QuickBird de Google Earth en 2011. Réalisation : Ngo, 2013)

Grâce aux NEH, à la carte d'occupation du sol, à l'enquête de terrain en 2011 et 2012, et à l'équation (7.7), les *CN* ont été estimés pour des sous-bassins et un *CN* moyen pour l'ensemble du bassin du fleuve Ha Thanh (Tab. 7.4 et Fig. 7.7).

[70] http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/?cid=stelprdb1043063

Tableau 7.4. Estimation du CN moyen et les paramètres du modèle de transfert pour chacun des sous bassins versants du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

Sous-bassin	A_i (km^2)	CN_i (%)	$A_i * CN_i$	*CN* moyen	Potentiel de rétention - *S*	Pertes initiales - I_a
1	27.16	81	2200	81	58.9	11.8
	0.64	82	52			
	10.19	82	836			
	3.90	79	308			
	2.41	83	200			
2	14.70	69	1014	76	80.7	16.1
	52.98	76	4027			
	31.47	79	2486			
	3.70	75	277			
3	1.86	75	139	78	70.0	14.0
	13.96	67	936			
	50.15	82	4112			
	11.24	77	866			
4	8.51	70	595	66	128.7	25.7
	85.30	66	5630			
5	53.86	69	3716	70	109.0	21.8
	51.74	71	3673			
6	41.03	66	2708	65	134.4	26.9
	62.03	65	4032			
7	0.09	65	6	69	112.4	22.5
	15.63	66	1032			
	77.46	70	5422			

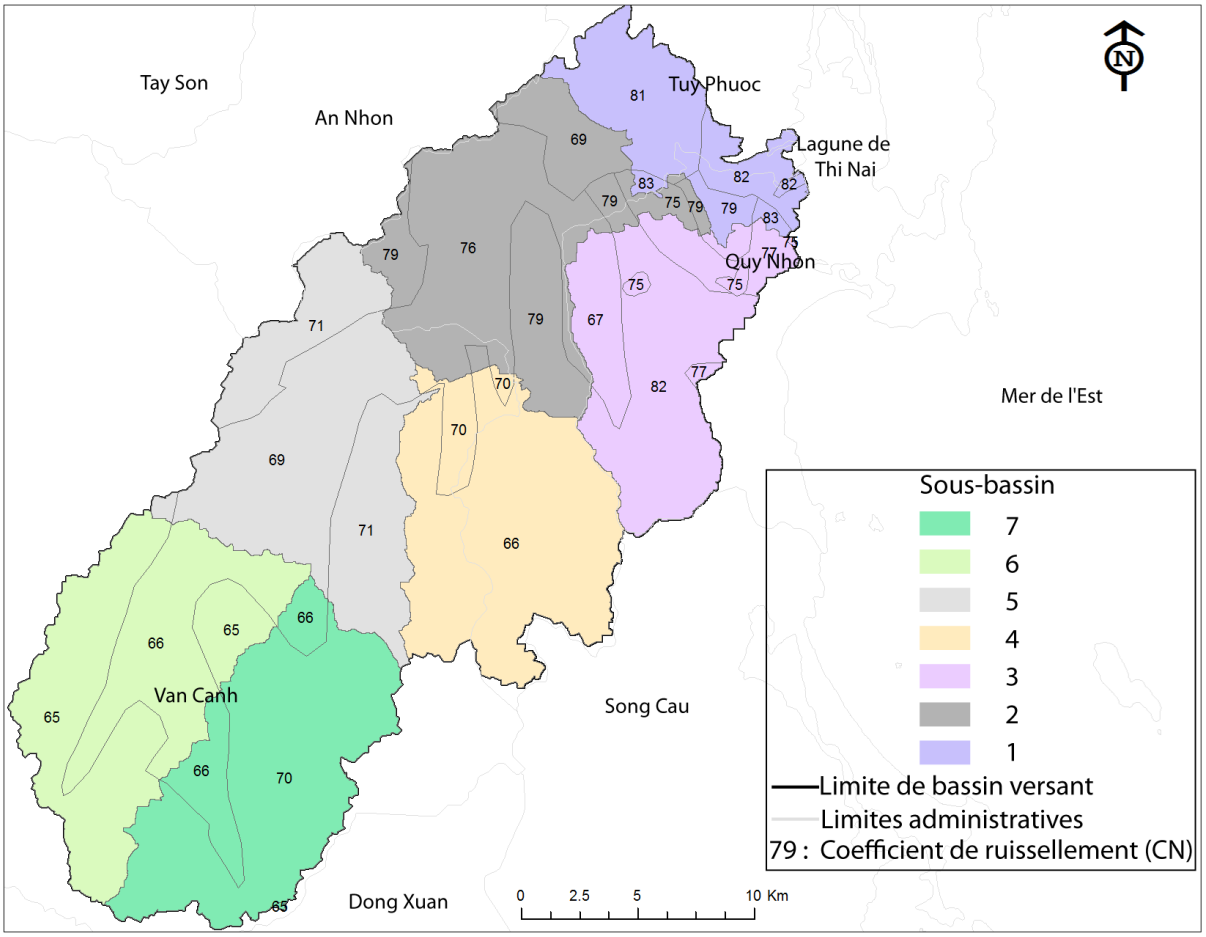


Figure 7.7. Estimation du coefficient de ruissellement (CN) dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

Le *CN* moyen maximum est de 81 pour le sous-bassin 1 qui se situe au nord-est du bassin versant du fleuve Ha Thanh. Avec ce *CN*, l'infiltration est très faible, les ruissellements très forts. En revanche, le CN moyen minimum, soit 65 dans le sous-bassin 6 se situe au sud du bassin versant du fleuve Ha Thanh. C'est une zone principalement de forêt et d'agriculture (manioc et maïs) et correspond à une capacité d'infiltration forte.

A partir des *CN* et les équations (7.5) - (7,6), nous pouvons calculer les potentiels de rétention (*S*) et les pertes initiales (I_a) (Tab. 7.4).

Ces données, permettent de déterminer pour chaque bassin versant la quantité d'eau qui participe aux écoulements de crue, sont alors utilisées dans *HEC-HMS*© pour calculer la fonction de perte (*Loss*) (Fig. 7.8).

+ Fonction de transfert

Cette partie s'intéresse au ruissellement direct dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh. La méthode de l'hydrogramme unitaire de Snyder a été choisie. On essaye de calculer le temps de délai t_p entre les hauts bassins et le delta au sein du bassin versant du fleuve Ha Thanh. Pour calculer le temps de transfert, il faut connaitre les paramètres de Snyder, à savoir : la longueur du cours d'eau principal entre la ligne de partage des eaux et l'exutoire (*L*) et (L_c) est « la distance le long du cours d'eau principal (km), séparant l'exutoire du bassin versant du centre de gravité du bassin » (Source : https://cours.etsmtl.ca, consulté le 15 mai 2013). Ces distances, comme on l'a vu, ont été calculées à partir du SIG (Fig. 7.4, et Fig. 2.28 du chapitre 2, p.86).

Selon l'équation (7.8), le temps de transfert t_p a été calculé pour chaque sous bassin versant (Tab. 7.5). Les résultats montrent que le temps de transfert est maximum pour le sous-bassin versant 6 soit de 5,8 heures. En revanche, il est de 2,9 pour le sous-bassin versant 1. Les résultats présentés ici ont leur importance dans les capacités de transfert des écoulements vers le delta par les différents sous-bassins. Dans le calcul de propagation des ondes de crue, nous devons prendre en compte les temps de transfert des écoulements vers le delta.

Tableau 7.5. Paramètres de Snyder dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

Sous-bassin	**Paramètres**				
	L_c (km)	**L (km)**	**t_p (heure)**	**C_p**	**C_t**
1	2.4	5.8	2.9	0.7	1.8
2	5.4	8	4.4	0.6	1.9
3	5.0	10	4.6	0.6	1.9
4	7.4	11	5.3	0.5	2.0
5	3.6	5	3.5	0.5	2.0
6	5.0	16	5.8	0.4	2.1
7	4.3	9	5.1	0.4	2.1

En outre, à partir de la typologie des différents types de plaine du fleuve Ha Thanh (Fig. 4.2 dans le chapitre 4, p.140) nous avons estimé les valeurs de C_t et de C_p. Les résultats sont présentés dans le tableau 7.5.

Ensuite, on peut utiliser les données en fonction du transfert dans *HEC-HMS*© (Fig. 7.8).

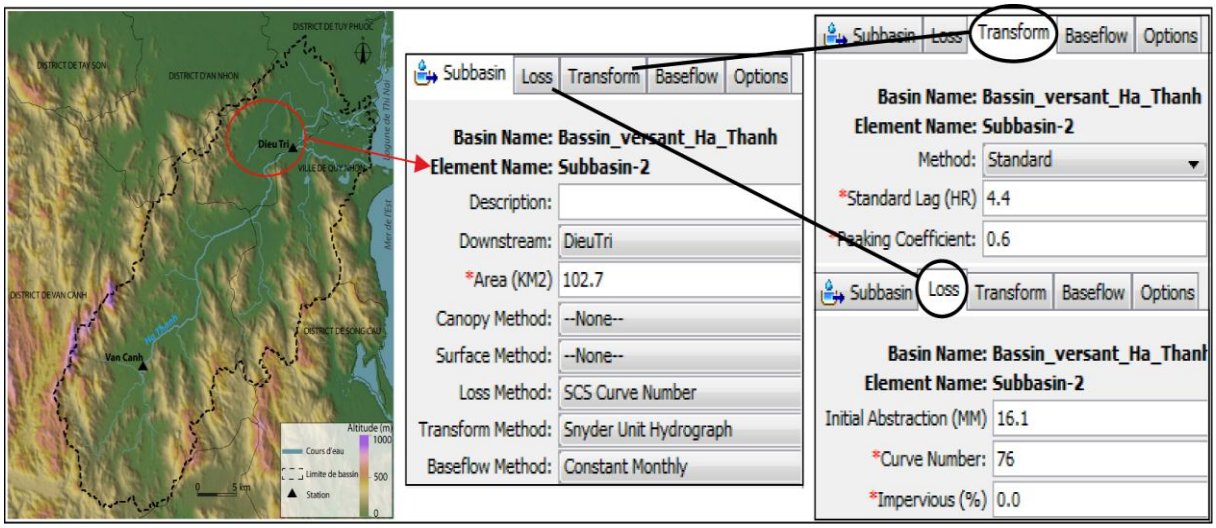


Figure 7.8. Exemple de choix des coefficients pour le sous-bassin 2 du bassin versant du fleuve Ha Thanh sous *HEC-HMS*© (Ngo, 2013)

On peut voir que :

- *Area (KM2)* = 102.7 correspond à la superficie du sous-bassin 2 en km^2;
- *Initial Abstraction (MM)* = 16.1 correspond à la perte initiale (I_a) en mm;
- *Cruve Number* = 76 correspond au coefficient de ruissellement (*CN*);
- *Standard Lag (HR)* = 4.4 correspond au temps de délai t_p en heures;
- *Peaking Coefficient* = 0.6 correspond au stockage du bassin C_p.

+ Donnée de débit de base constant

Les valeurs mensuelles moyennes du débit de base pour le bassin versant du fleuve Ha Thanh sont issues du rapport sur les caractéristiques hydrométéorologiques de la province de Binh Dinh en 2005 (Ho *et al.*, 2005).

Selon le tableau 7.6, le débit de base est maximum en novembre avec 14,9 m^3.s^{-1} (saison des hautes eaux) ; il est minimum en avril avec 2,36 m^3.s^{-1} (saison des basses eaux).

Tableau 7.6. Débit de base constant dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

Mois	Débit de base ($m^3.s^{-1}$)
Janvier	9.18
Février	5.58
Mars	4.01
Avril	2.36
Mai	2.37
Juin	3.79
Juillet	2.48
Août	4.33
Septembre	3.40
Octobre	9.55
Novembre	14.9
Décembre	9.14

(Source: Ho *et al.*, 2005)

+ Modélisation des écoulements fluviaux

Pour estimer le routage hydrologique dans ce bassin versant, nous avons donc utilisé les données de pente, les profils topographiques et le coefficient de rugosité. Les profils en travers ont été construits à partir des relevés topographiques effectués sur le terrain en 2012. La pente du lit du fleuve Ha Thanh peut être calculée à partir du MNT (Fig. 4.2 dans le chapitre 4, p.140) et des profils topographiques (Annexe 2).

Le tableau 7.7 ci-dessous présente la pente, le coefficient de rugosité, les coupes transversales et les distances du cours d'eau. Ces paramètres sont ensuite exploités dans *HEC-HMS*© (Fig. 7.9).

On choisit les coefficients de rugosité de Manning. Entre 0,02 à 0,03, à l'aval du fleuve Ha Thanh, il s'agit de digues en béton et d'un état moyen (Annexe 8). De 0,035 à 0,045, cela correspond aux points situés au milieu du bassin versant avec des cours d'eau sinueux. Et les coefficients supérieurs à 0,05 concernent les cours d'eau sinueux avec des embacles.

Les pentes fortes (6,8 %) (Fig. 4.2 du chapitre 4, p.140) concernent les cours d'eau de *Reach-1* à *Reach-3* et correspondent aux profils en travers de P-16, P-17 et Br4 (Annexe 2). Ces lieux se situent à l'amont du fleuve Ha Thanh. En revanche, les pentes faibles (<0,07 %) concernent les cours d'eau de *Reach-18* à *Reach-24* et *Reach-31, 32*. Ces lieux se situent à l'aval du fleuve Ha Thanh. Ce fleuve est un système très courts, 58 km de long. La pente d'écoulement est donc très forte sur les 10 premiers kilomètres, et diminue rapidement dans le delta. Ce cadre des écoulements très rapide peut être un facteur d'aggravation en période de crue.

Les profils topographiques sont représentés en annexe 2.

Tableau 7.7. Paramètres pour le modèle Muskingum – Cunge Routing
dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

	Cours d'eau	Distance (*Length*) en (m)	Pent (*Slope*) en (m/m)	Coefficient de rugosité de Manning (n)			Coupe transversale (*Cross section*)
				Gauche	Centre	Droite	
Amont	Reach-1	4000	0.068	0.055	0.05	0.055	P-17
	Reach-2	1300	0.068	0.055	0.05	0.055	Br4
	Reach-3	1300	0.068	0.055	0.05	0.055	P-16
	Reach-4	5600	0.016	0.05	0.045	0.055	P-15
	Reach-5	3800	0.014	0.05	0.045	0.055	P-14
	Reach-6	4000	0.0029	0.045	0.04	0.05	P-13
	Reach-7	1000	0.0011	0.045	0.04	0.05	P-12
	Reach-8	8200	0.0011	0.04	0.035	0.045	P-12
	Reach-9	4000	0.0012	0.04	0.035	0.045	P-11
	Reach-10	200	0.001	0.035	0.03	0.035	P-10
	Reach-11	200	0.001	0.035	0.03	0.035	P-9
	Reach-12	100	0.001	0.035	0.03	0.035	P-9
	Reach-13	200	0.001	0.035	0.03	0.035	P-8
	Reach-14	910	0.001	0.035	0.03	0.035	P- 8
	Reach-15	3200	0.001	0.03	0.025	0.03	P-7
	Reach-16	1000	0.001	0.035	0.025	0.035	P-6
	Reach-17	1000	0.0007	0.03	0.025	0.03	P-5
	Reach-18	1700	0.0007	0.025	0.02	0.03	P-5
	Reach-19	800	0.0007	0.025	0.02	0.025	P-4
	Reach-20	700	0.0007	0.025	0.02	0.03	P-3
	Reach-21	1000	0.0004	0.025	0.02	0.025	P-2
	Reach-22	1200	0.0004	0.025	0.02	0.025	P-1
	Reach-23	1500	0.0004	0.025	0.02	0.025	Br3
	Reach-24	1000	0.0004	0.025	0.02	0.025	Br3
	Reach-25	130	0.001	0.035	0.03	0.045	Br2-6
	Reach-26	1400	0.001	0.035	0.03	0.035	Br2-6
	Reach-27	1000	0.001	0.035	0.03	0.035	Br2-5
	Reach-28	1200	0.001	0.03	0.025	0.03	Br2-5
	Reach-29	2500	0.001	0.03	0.025	0.03	Br2-4
	Reach-30	1380	0.001	0.03	0.025	0.03	Br2-3
	Reach-31	1200	0.0007	0.025	0.02	0.03	Br2-2
Aval	Reach-32	1000	0.0004	0.025	0.02	0.025	Br2-1

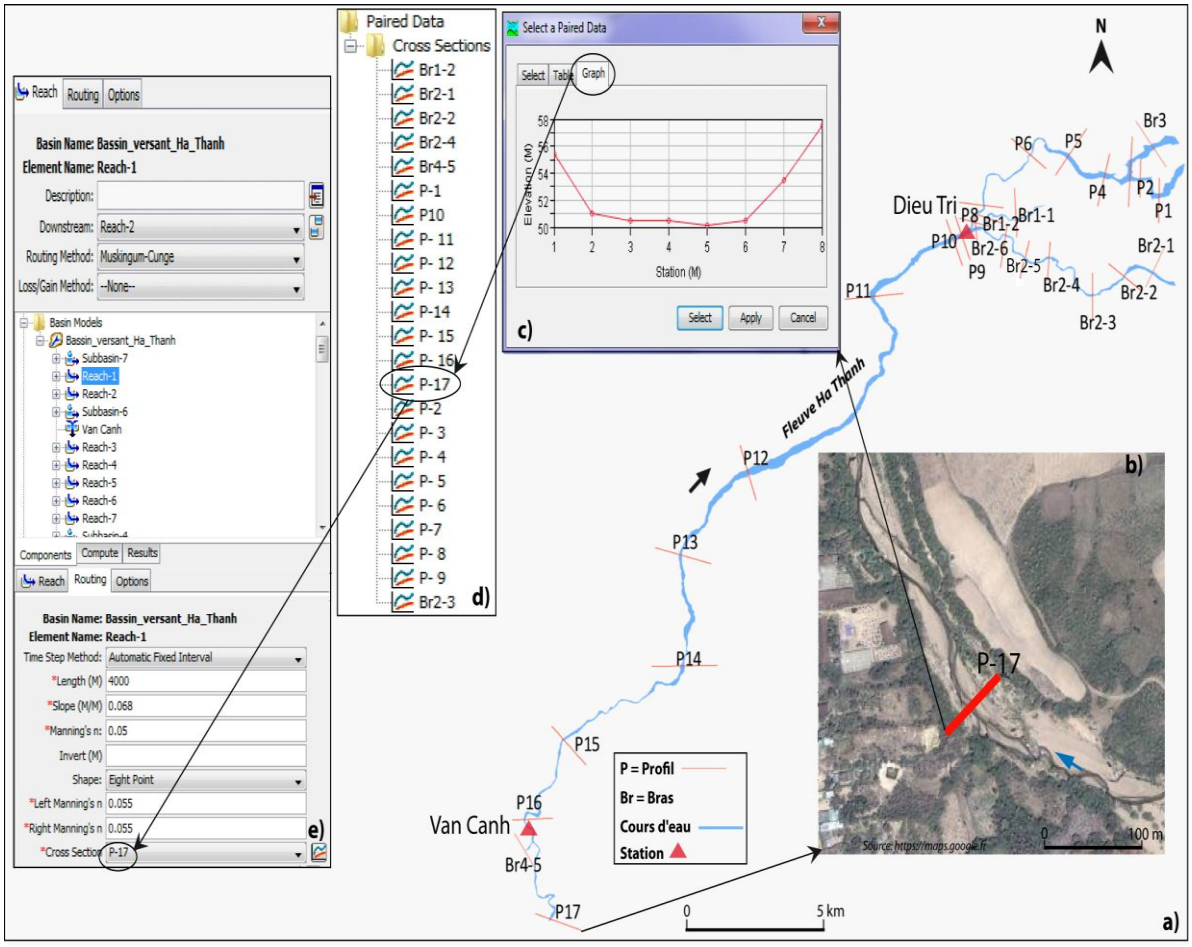


Figure 7.9. Exemple de routage hydrologique sous *HEC-HMS*© au profil 17 (P-17), à l'amont du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

a) les profils en travers ; b) l'exemple un profil sur l'image satellite de Google Map© (P-17) à l'amont ; c) et d) mise en ouvre le profil dans le HEC-HMS© ; e) l'interface du HEC-HMS pour mettre des paramètres : pente, coefficient de rugosité, profil en travers et distance du cours d'eau.

On peut voir que les paramètres utilisés dans *HEC-HMS*© sont les suivants (Fig.7.9e) :

- *Length (M)* = 4000, c'est la distance (m) des profils en travers entre P-17 à P-16 (Fig. 7.9a);

- *Slope (M/M)* = 0,068 correspond à un style fluvial en tresse typique des plaines intra-montagnardes, avec une forte pente (6,82 %) (voir figure 4.2 du chapitre 4, p.140);

- *Manning's n* = 0,05 correspond au coefficient de rugosité au milieu du lit mineur.

- *Left Manning's n* = 0,055 et *Right Manning's n* = 0,055 correspondent aux coefficients de rugosité en rive gauche de la rivière ; ces coefficients sont plus forts, car la rugosité est affectée par la végétation présente aux marges du lit mineur et dans le lit majeur (Fig. 7.10).

- *Cross Section* = P-17 correspond au profil 17 (Fig. 7.9a, b et c).

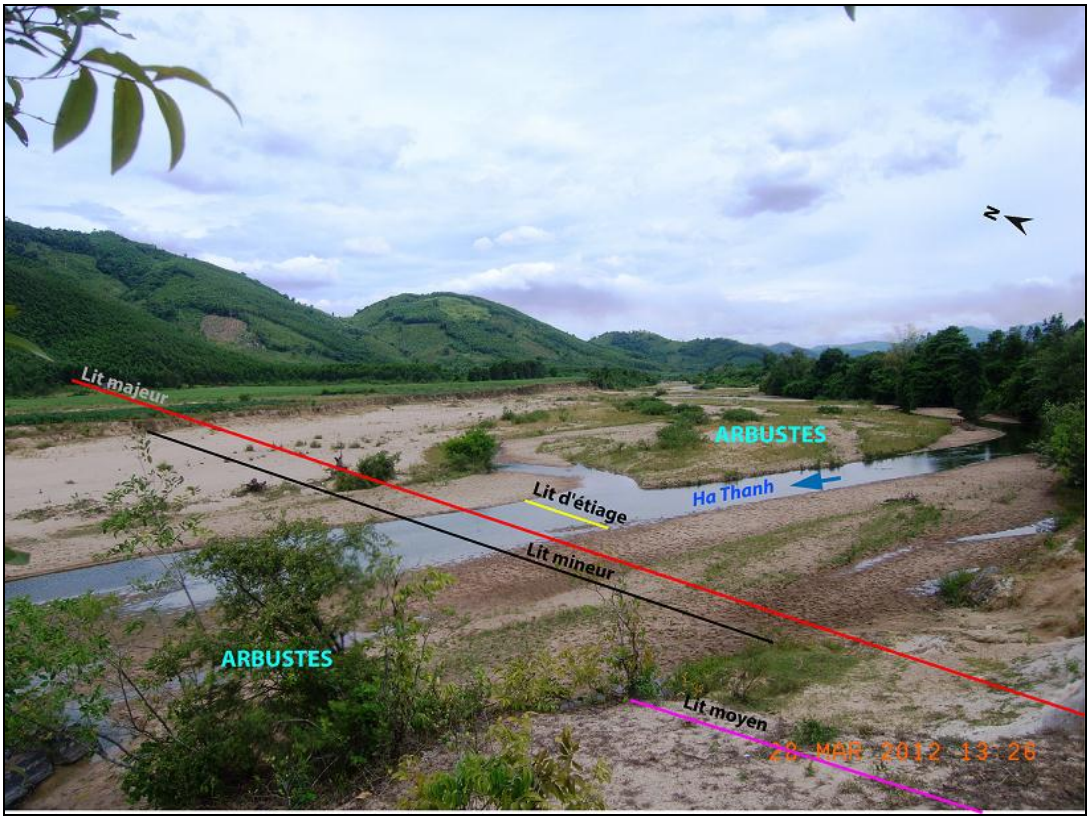


Figure 7.10. Exemple d'occupation de la strate arbustive dans le lit du fleuve Ha Thanh, à la saison de basses eaux (Photographie : Ngo, juillet 2012)

7.2. Résultats et limites des simulations

7.2.1. Résultats de la simulation sur la crue en 2-3 novembre 2009

Les deux figures 7.11 et 7.12 représentent les variations de pluies-débits et ainsi que des niveaux de crue aux stations de Van Canh et de Dieu Tri. Ces figures servent à définir les conditions limites du modèle *HEC-HMS*©. (Annexe 9).

- en amont (station de Van Canh)n l'hydrogramme est plus irrégulier. Peut-être que cela dépend de la densité de pluie est tombée. Selon le modèle, le pic de crue se produit vers 22h le 2 novembre 2009 ; le débit maximal est alors de 2603 $m^3.s^{-1}$ et le niveau d'eau observé à la station est de 8,05 m (Figure 7.11 et Annexe 10).

- en aval à la station de Dieu Tri, les pluies ont commencé le matin du 2 novembre, mais l'intensité était faible (Fig. 7.12). Les pluies s'intensifient à partir du 2 novembre 2009 15h, avec une intensité horaire maximum de 32 mm vers 16h ; le pic de crue, qui est estimé à 4483 $m^3.s^{-1}$ ne se produit que le lendemain matin à 2h avec une hauteur d'eau mesurée de 7,3 m (Annexe 10), grandement influencé par l'apport des débits d'amont.

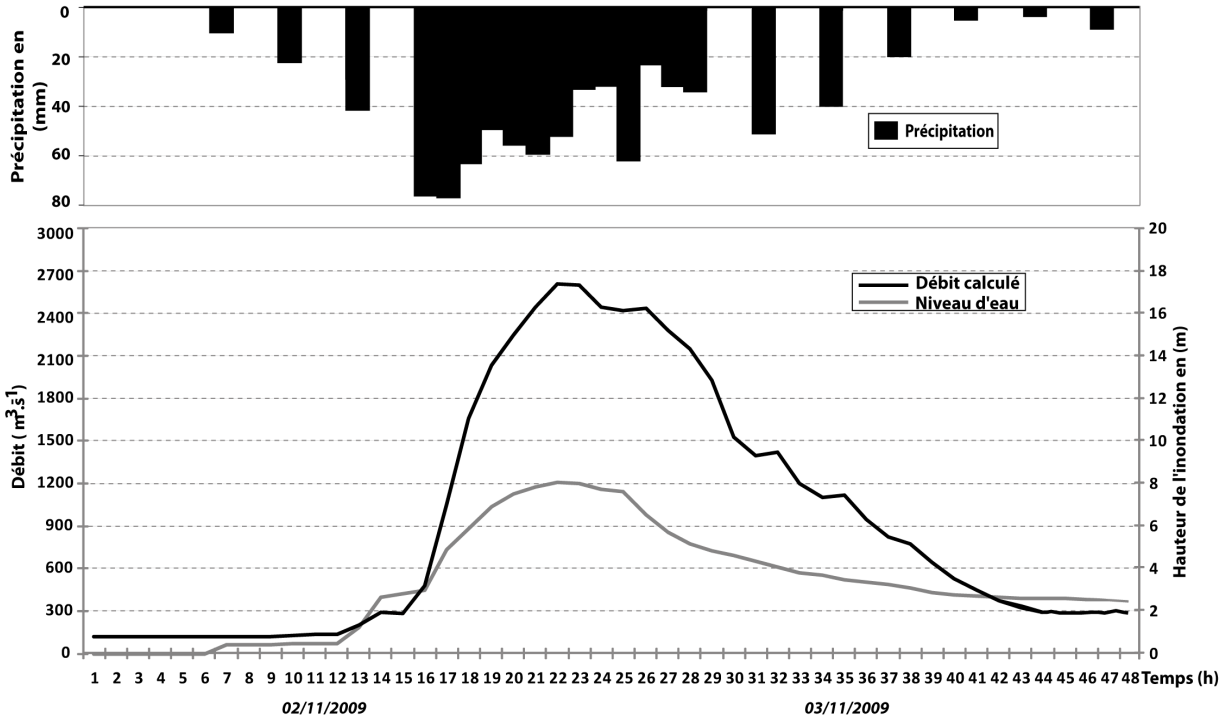


Figure 7.11. Débits calculés, niveaux d'eau et pluie mesurés à la station de Van Canh du 2 au 3 novembre 2009

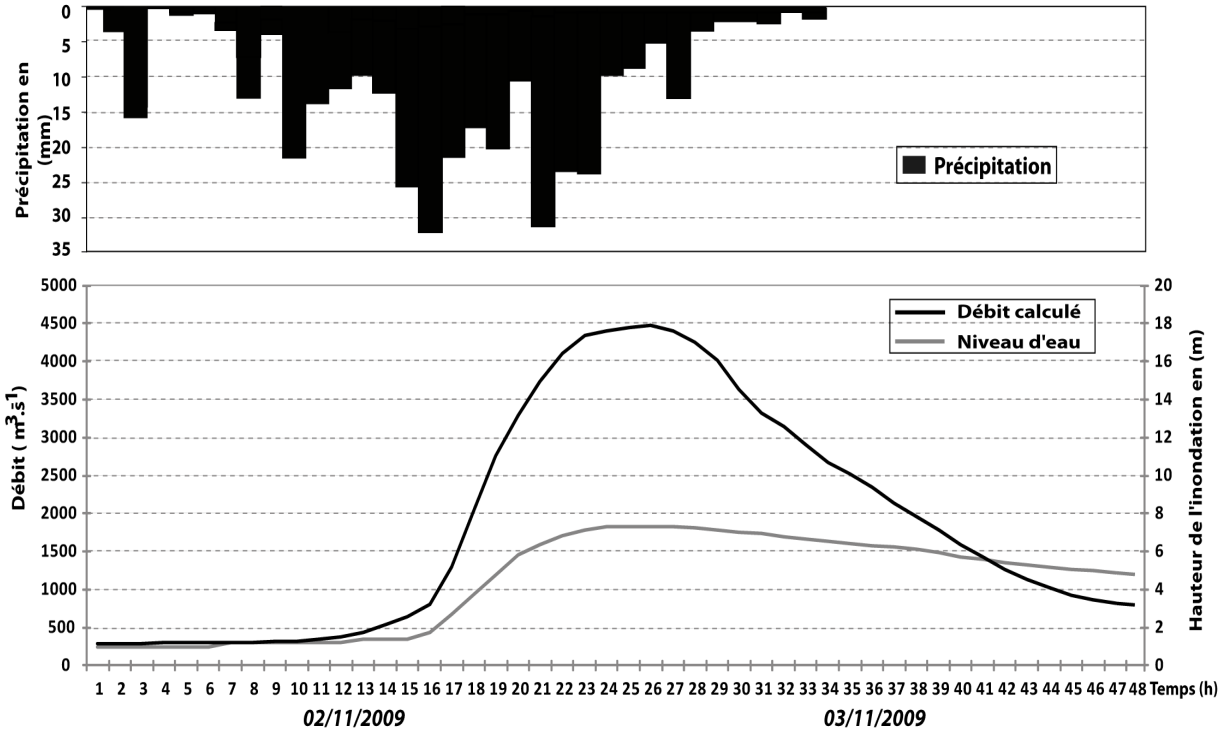


Figure 7.12. Débits calculés niveaux d'eau mesurés à la station hydrologique de Dieu Tri et pluies mesurées à la station de Quy Nhon, les 2 et 3 novembre 2009

La comparaison des débits estimés d'après le modèle et des hauteurs d'eau mesurées permet de voir que le modèle est pertinent en ce qui concerne la phase de montée des eaux, ainsi que le maximum de hauteur. Il n'en est pas de même en ce qui concerne la décrue : en amont comme en aval, le débit diminue plus vite que le niveau d'eau après le pic de la crue.

Cela s'explique peut être en partie parce que le modèle ne prend pas en compte les conditions d'évacuation de l'eau vers l'aval. Celle-ci est ralentie par l'accumulation d'eau qui résulte de l'élévation du niveau marin soulevé par le vent dans la lagune Thi Nai, la pente d'écoulement du fleuve est alors réduite, et l'eau séjourne plus longtemps, maintenant de hauts niveaux qui s'accumulent en amont. Cet effet est surtout sensible dans le delta.

A partir de ces résultats, nous pouvons estimer la vitesse moyenne de propagation du pic entre les deux stations hydrologiques de Van Canh (en amont) et de Dieu Tri (en aval) pour la crue du 2 et 3 novembre 2009 (Tab. 7.8).

Tableau 7.8. Vitesse moyenne de propagation du pic de crue entre les 2 stations hydrologiques dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

Van Canh	H_{max} = 8.05 m, Q_{pic} = 2603 $m^3.s^{-1}$	2/11/2009 10h	
Dieu Tri	H_{max} = 7.33 m, Q_{pic} = 4483 $m^3.s^{-1}$	03/11/2009 2h	
Van Canh à Dieu Tri	Distance = 26 500 m	Durée de propagation du pic de crue = 4 h	Vitesse moyenne = 1.8 $m.s^{-1}$

Cette vitesse de propagation explique la montée rapide de la crue en aval, et la gravité des inondations tels qu'on a pu les identifier dans le chapitre 6 (Fig. 7.13).

Figure 7.13. Exemple des vitesses d'écoulement à l'aval du fleuve Ha Thanh pendant d'inondation en 2009
a) une zone inondée au quartier de Nhon Phu ; b) une zone inondée au quartier de Dong Da
(Source de donnée: http://www.baobinhdinh.com.vn. Réalisation : Ngo, 2013)

- **Essai de calage et de validation sur l'événement de novembre 2009**

Les niveaux d'eau pendant l'événement de novembre 2009 ont été mesurés aux stations hydrologiques de Van Canh et Dieu Tri. Il peut être intéressant de comparer les débits calculés avec ces niveaux d'eau observés aux deux stations (Van Canh et Dieu Tri). Les figures 7.14, 7.15 et l'annexe 10 représentent les corrélations entre les hauteurs mesurées et les débits estimés. Les coefficients de corrélation sont de 0,90 (Van Canh) et de 0,76 (Dieu Tri).

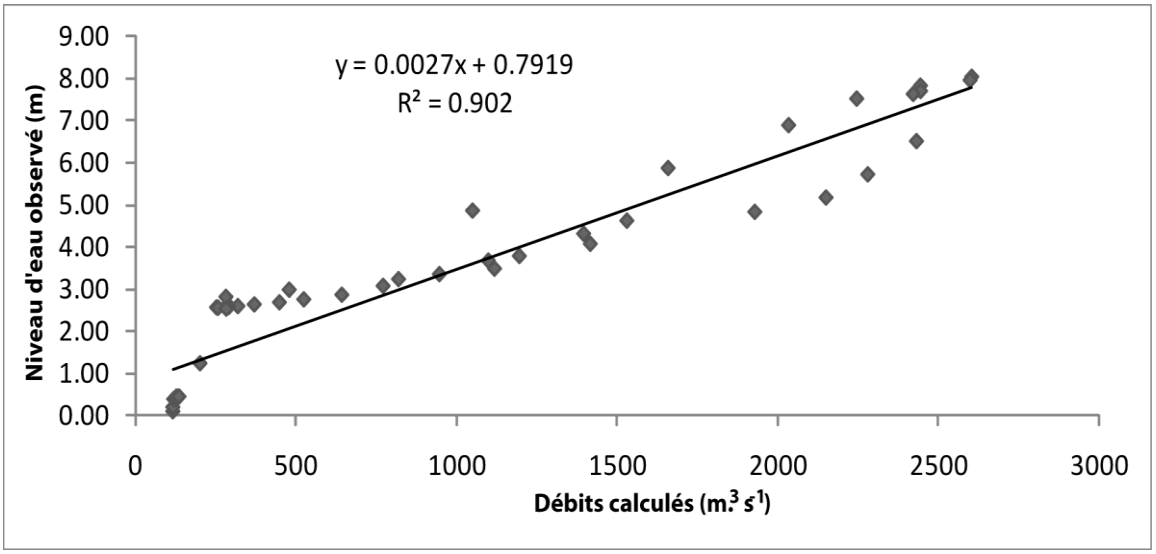


Figure 7.14. Relation entre les débits simulés par *HEC-HMS*© et les niveaux d'eau observés à la station hydrologique de Van Canh, les 2 et 3 novembre 2009 (Ngo, 2013)

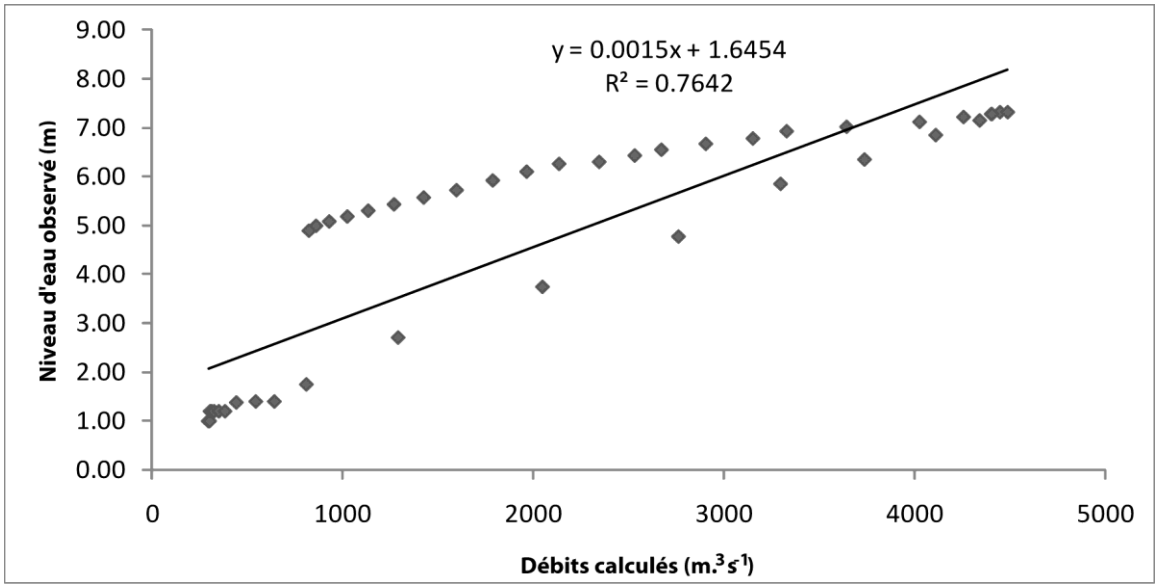


Figure 7.15. Relation entre les débits simulés par *HEC-HMS*© et les niveaux d'eau observés à la station hydrologique de Dieu Tri le 2 novembre 2009 à 1h et le 3 novembre 2009 à 23h (Ngo, 2013)

Nous pouvons comparer ces résultats avec les données issues de l'enquête dans le delta du fleuve Ha Thanh. Les pics de débits calculés sont relativement corrects. Les pics ont été obtenus auprès des personnes qui ont connu l'événement du 2 novembre 2009. Selon les données d'enquête et le rapport du Comité de lutte contre des Inondations-Tempêtes et des Recherches-Sauvetages des victimes de la province de Binh Dinh que nous avons présentés dans le chapitre 6 précédent, l'évènement pluviométrique du 2 au 3 novembre 2009, a connu deux pics de crue : un premier dans la nuit du 2 au 3 novembre 2009 à 23h et un deuxième apparu à 2h.

Les données dont nous disposons ne permettent pas de valider le modèle utilisé ici, en l'appliquant sur des crues dont les débits auraient été connus.

Faute de pouvoir valider notre modèle sur des données du fleuve Ha Thanh, nous avons tenté de le faire en appliquant le même modèle aux bassins-versants voisins, dont les débits sont connus (Annexe 11).

Le bassin versant du fleuve Kon a une longueur de 178 km (Fig.2.18 et Tab.2.5 dans le chapitre 2, p.77&79) et ce fleuve dispose de deux stations hydrologiques. La première station, celle de Binh Tuong (amont du fleuve) est à l'aval d'un bassin d'une superficie de 1 677 km^2 ; la longueur de la source à la station Binh Tuong est de 120 km. La station de Thanh Hoa (section aval du fleuve) correspond à une superficie de 2 239 km^2 ; la longueur de la source à cette station est de 138 km (*Centre des Prévisions Météorologie – Hydrologie de la province de Binh Dinh)*. Comme le fleuve Ha Thanh, le fleuve Kon est un hydrosystème majeur alimentant la lagune de Thi Nai. Nous utilisons la même méthode de modélisation hydrologique (*HEC-HMS*©) (Fig. 7.16).

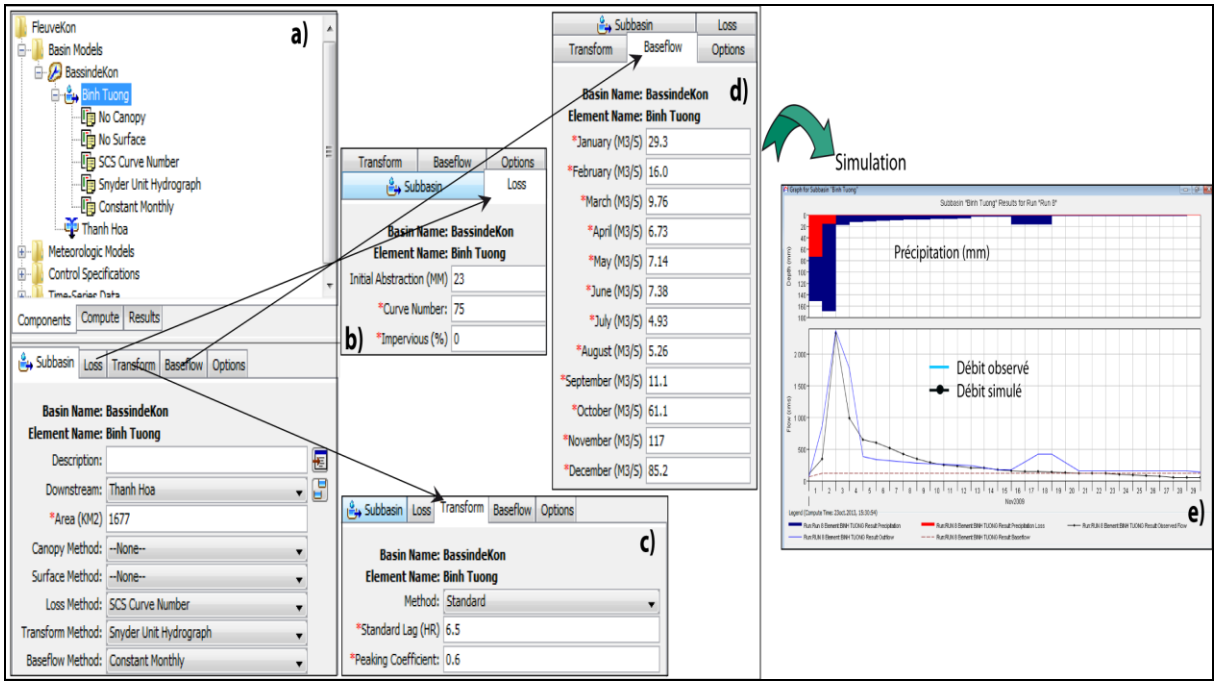


Figure 7.16. Paramètres utilisés dans *HEC-HMS*© pour le sous-bassin Binh Tuong du bassin versant du fleuve Kon (Ngo, 2013)

a) l'interface représente les méthodes (*SCS Cruve Number, Snyder Une Hydrograph, Constant Monthly*) et une superficie du sous-bassin (1677 km^2);

b) l'interface pour l'estimation des pertes initiales (coefficient de ruissellement (*CN* = 75) et pertes initiales (I_a = 23);

c) l'interface pour l'estimation de fonction de transfert (t_p-temps de délai (6,5 h), c_p -capacité de rétention (0,6));

d) l'interface représente des données de débit de base;

e) l'interface représente une simulation : précipitation, débit observé et ainsi que débit simulé.

Il est ensuite possible de comparer les résultats de cette simulation avec les débits observés à la station hydrologique de Binh Tuong pour la période du 01 au 30 novembre 2009).

- Pour le calage, nous obtenons le graphique suivant (Fig. 7.17) :

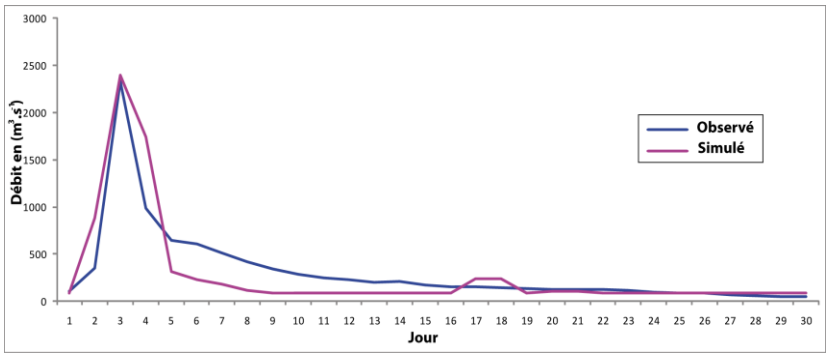


Figure 7.18. Calage sous *HEC-HMS*© de l'évènement du 1er novembre 2009 au 30 novembre 2009, à la station de Binh Tuong sur le fleuve Kon (Ngo, 2013)

Selon l'équation (7.17), la valeur du pic de débit, soit 2,70 %, indique une faible différence entre les débits simulés et observés. Le coefficient de Nash a été calculé selon l'équation (7.16) et est égal à 0,85, c'est-à-dire que les débits simulés et les débits observés sont relativement correctement représentés.

Tableau 7.9. Calage du modèle HEC-HMS© pour les débits simulés à la station de Binh Tuong sur le fleuve Kon (Ngo, 2013)

		Calage	**Validation**
Coefficient de Nash		0,85	0,84
Pourcentage d'erreur	Volume	-11,60	-16,0
	Pic de crue	2,70	-5,82
Coefficient de Pearson		0,80	0,80

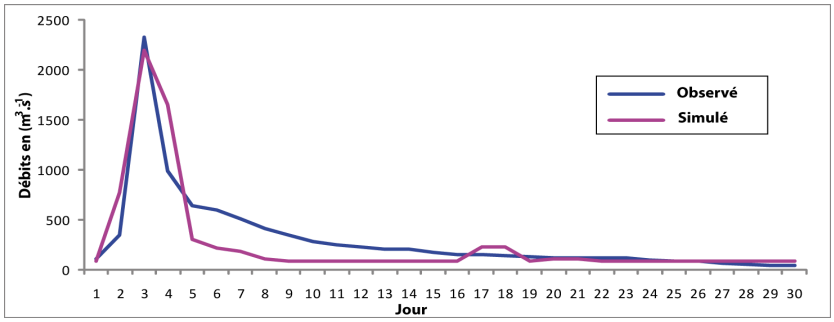
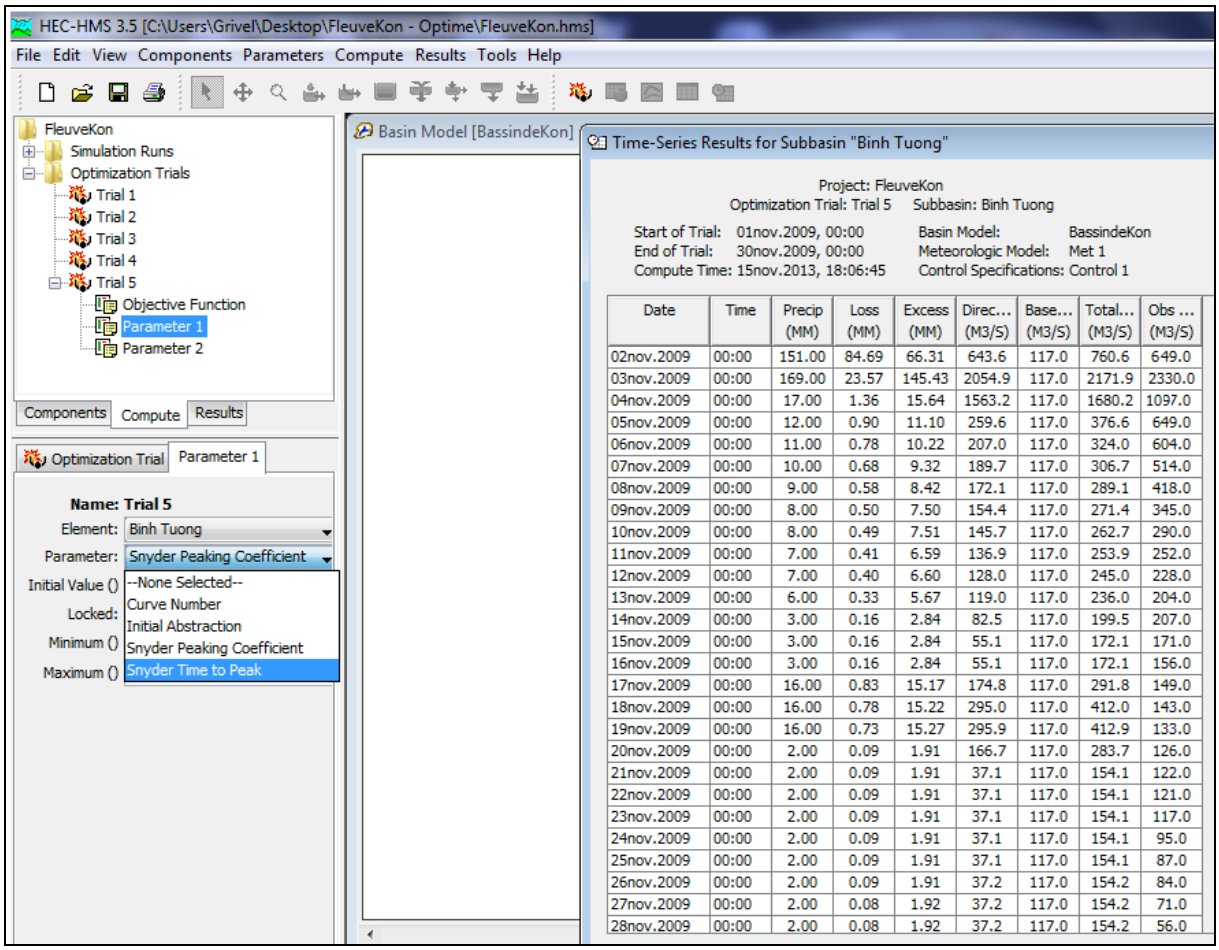


Figure 7.18. Validation sous *HEC-HMS*© de l'évènement du 1er novembre 2009 au 30 novembre 2009, à la station de Binh Tuong du fleuve Kon (Ngo, 2013)

- Pour la validation dans *HEC-HMS*©, la recherche systématique des meilleures valeurs de paramètres commence par la collecte des données (des précipitations et des séries chronologiques de débit). Le modèle *HEC-HMS*© dispose des outils pour cette validation (Fig. 7.19). On a choisi d'effectuer la validation sur l'évènement pluviométrique du 1er au 30 novembre 2009. Le volume de -16 % montre une perte de volume au niveau de la simulation avant le calage. Grâce à l'équation (7.18), nous avons calculé le coefficient de Pearson soit 0,80 et correspond à une bonne valeur de calage (Tab. 7.9).



Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direc... (M3/S)	Base... (M3/S)	Total... (M3/S)	Obs ... (M3/S)
02nov.2009	00:00	151.00	84.69	66.31	643.6	117.0	760.6	649.0
03nov.2009	00:00	169.00	23.57	145.43	2054.9	117.0	2171.9	2330.0
04nov.2009	00:00	17.00	1.36	15.64	1563.2	117.0	1680.2	1097.0
05nov.2009	00:00	12.00	0.90	11.10	259.6	117.0	376.6	649.0
06nov.2009	00:00	11.00	0.78	10.22	207.0	117.0	324.0	604.0
07nov.2009	00:00	10.00	0.68	9.32	189.7	117.0	306.7	514.0
08nov.2009	00:00	9.00	0.58	8.42	172.1	117.0	289.1	418.0
09nov.2009	00:00	8.00	0.50	7.50	154.4	117.0	271.4	345.0
10nov.2009	00:00	8.00	0.49	7.51	145.7	117.0	262.7	290.0
11nov.2009	00:00	7.00	0.41	6.59	136.9	117.0	253.9	252.0
12nov.2009	00:00	7.00	0.40	6.60	128.0	117.0	245.0	228.0
13nov.2009	00:00	6.00	0.33	5.67	119.0	117.0	236.0	204.0
14nov.2009	00:00	3.00	0.16	2.84	82.5	117.0	199.5	207.0
15nov.2009	00:00	3.00	0.16	2.84	55.1	117.0	172.1	171.0
16nov.2009	00:00	3.00	0.16	2.84	55.1	117.0	172.1	156.0
17nov.2009	00:00	16.00	0.83	15.17	174.8	117.0	291.8	149.0
18nov.2009	00:00	16.00	0.78	15.22	295.0	117.0	412.0	143.0
19nov.2009	00:00	16.00	0.73	15.27	295.9	117.0	412.9	133.0
20nov.2009	00:00	2.00	0.09	1.91	166.7	117.0	283.7	126.0
21nov.2009	00:00	2.00	0.09	1.91	37.1	117.0	154.1	122.0
22nov.2009	00:00	2.00	0.09	1.91	37.1	117.0	154.1	121.0
23nov.2009	00:00	2.00	0.09	1.91	37.1	117.0	154.1	117.0
24nov.2009	00:00	2.00	0.09	1.91	37.1	117.0	154.1	95.0
25nov.2009	00:00	2.00	0.09	1.91	37.1	117.0	154.1	87.0
26nov.2009	00:00	2.00	0.09	1.91	37.2	117.0	154.2	84.0
27nov.2009	00:00	2.00	0.08	1.92	37.2	117.0	154.2	71.0
28nov.2009	00:00	2.00	0.08	1.92	37.2	117.0	154.2	56.0

Figure 7.19. Les paramètres utilisés dans *HEC-HMS*© pour la validation du sous-bassin Binh Tuong du bassin versant du fleuve Kon (Ngo, 2013)

Les replis de la Cordillère Annamitique jouent bien un rôle de château d'eau en barrant et collectant les eaux des phénomènes dépressionnaires venus de l'océan. Le bassin versant du fleuve Ha Thanh se charge d'évacuer le "trop plein" précipité via l'exutoire principal constitué du fleuve. Nous interprétons ici les traits du comportement hydrodynamique du bassin. Il reste à y intégrer la répartition des débits dans l'année et le temps de transfert des flux liquides entre les hauts bassins et le delta.

7.2.2. Estimation du régime hydrologique et des valeurs de modules mensuels moyens (CMD)

La modélisation hydrologique pendant la crue de novembre 2009 a été tentée à l'aide du modèle *HEC-HMS©*. Les données de précipitation par jour depuis 1982 ont été utilisées pour préciser certaines caractéristiques du régime hydrologique du fleuve Ha Thanh (Fig. 2.31).

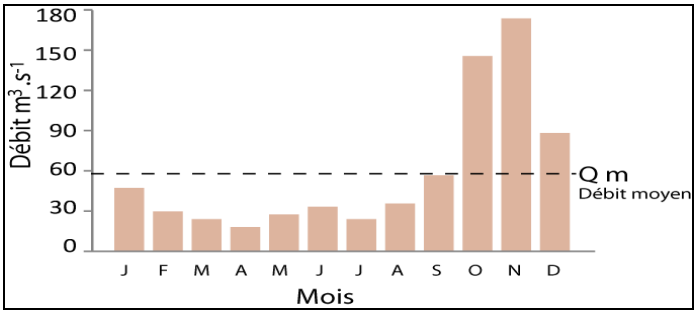


Figure 2.31. Estimation des débits moyens par mois depuis 1982 (Ngo, 2013)

On peut observer que le débit moyen est de 59 $m^3.s^{-1}$ (normale des données établies sur la période 1982-2012) (Fig. 2.30). Le débit moyen maximum est 176 $m^3.s^{-1}$ en novembre. En revanche, 17 $m^3.s^{-1}$ est le débit le plus faible en avril.

- estimation des valeurs de modules mensuels moyens (CMD) : grâce aux débits moyens par mois depuis 1982, nous pouvons déterminer les valeurs des modules mensuels moyens (Fig. 2.30 dans le chapitre 2). Les hautes eaux sont concentrées durant 3 mois (octobre, novembre et décembre), la saison des basses eaux s'étend de février à août, et les deux mois de transition (janvier et septembre) sont en position moyenne entre les hautes eaux et les basses eaux.

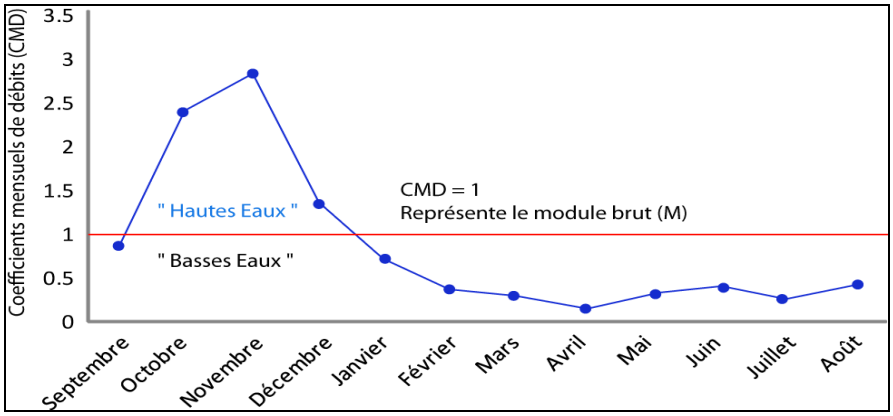


Figure 2.30. Coefficient mensuel de débits pour le fleuve Ha Thanh depuis 1982 (Ngo, 2013)

7.2.3. Limites de la modélisation hydrologique sous *HEC-HMS©*

Cette modélisation hydrologique est de l'ordre de l'essai car elle comporte des biais et des limites.

- L'événement de novembre 2009 n'a pas fait l'objet de mesure direct des débits. Nous ne pouvons pas faire de calage et valider les débits calculés par des débits observés. En outre, la topographie du bassin versant du fleuve Ha Thanh est diversifiée alors qu'il n'y a que deux stations pluviométriques (Quy Nhon et Van Canh).

- La méthode d'interpolation IDW pour estimer les précipitations (sous-bassins 2, 4 et 5) est assez rudimentaire. Cette méthode semble pourtant bien adaptée dans la plaine. Mais, si la topographie est très contrastée, l'IDW produira des erreurs (Zaninetti, 2005).

- Les résultats sont encore exprimés en une seule dimension et ce modèle ne peut pas calculer la hauteur d'inondation des stations.

- « Si la crue étudiée déborde du lit de la rivière, elle va inonder les plaines environnantes. Dans certains cas, ces plaines vont ainsi constituer de véritables bassins de stockage. Le modèle utilisé doit donc prendre en compte l'éventuel passage de l'écoulement du lit mineur au lit majeur (qui inclue les plaines). Souvent dans ces cas, on calcule les propriétés hydrauliques du lit mineur et des plaines alentours séparément, [..]. Cela ne peut pas être accompli par le modèle Muskingum, car les paramètres respectifs qu'ils utilisent sont constants et ne peuvent pas prendre en compte un changement des propriétés hydrauliques de l'écoulement. On doit dans ce cas utiliser un modèle d'écoulement bidimensionnel » (Source : http://hmf.enseeiht.fr, consulté le 23 octobre 2013).

- Le modèle s'applique aux fleuves courts et moins sinueux.

- Ce modèle peut estimer une vitesse dans le lit mineur, mais ne peut pas la définir dans le lit majeur. La vitesse du lit majeur pourrait être obtenue à l'aide de *HEC-RAS©* (*The Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*).

- On reste prisonnier des hypothèses du modèle, exprimées dans le NEH (*National Engineering Handbook)*. « Basé sur des considérations empiriques à partir de bassin versant typique des Etats-Unis, [ces hypothèses] ne sont pas du tout adaptés au type du bassin versant » (Source : http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/999, consulté le 15 août 2013).

- La courbe des débits simulés était forcement plus pointue que les hauteurs d'eau observées sur le terrain. Inversement, le modèle surestime la vitesse d'évacuation de la crue. Le débit diminue plus vite que le niveau d'eau. Car, ce modèle ne peut pas être correcte dans le delta où le cours d'eau du fleuve Ha Thanh se combine avec la lagune de Thi Nai.

- La pointe de crue est bien modélisée, mais pas la phase de décrue, dont la rapidité est grossièrement surestimée par le modèle. On peut en conclure que le modèle est admissible en l'état pour la montée des eaux, mais nécessite l'introduction de nouveaux paramètres pour simuler correctement la décrue.

7.2.4. Les améliorations de la modélisation hydrologique

Nous proposons un certain nombre de possibilités d'améliorer le modèle et son application à l'étude du bassin versant du fleuve Ha Thanh.

+ Augmenter le nombre de pluviographes. On sait que le bassin versant du fleuve Ha Thanh a une superficie de 620 km². Cependant, il n'est couvert que par deux stations pluviométriques : Van Canh (en amont) et Quy Nhon (en aval). Or, les précipitations (données entrées) sont très importantes pour un modèle hydrologique. Il faut donc améliorer le réseau. Il faudrait au moins 6 pluviographes (1 station pour 100 km² environ).

Pour améliorer les connaissances des débits, il faudrait construire des courbes de tarage au niveau des stations hydrologiques; cela permettrait de transformer les hauteurs d'eau en débits (Fig. 7.20). Pour le faire, il faut mesurer des profils de vitesse et obtenir les paramètres de la section mouillée (profondeur et largeur du chenal).

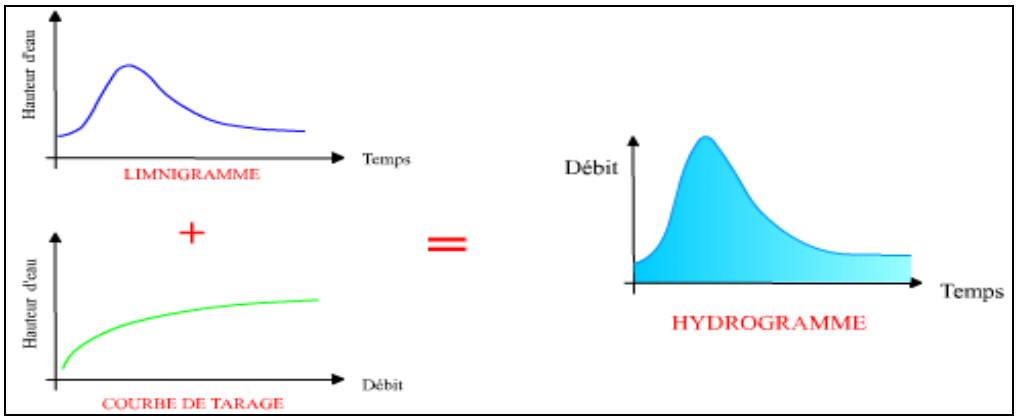


Figure 7.20. Passage d'un limnigramme à un hydrogramme par l'intermédiaire de la courbe de tarage (Source : http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre7/chapitre7.html)

+ Possibilités d'application du modèle dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

Le *HEC-HMS*© est facile à utiliser, c'est un logiciel libre et il peut se connecter aux SIG (GEO-HMS [71]). Selon Skoulikaris (2008), « les avantages de cette modélisation sont la prise en compte de l'infiltration et des détournements de débit » (p.25). Les résultats du modèle

[71] The Geospatial Hydrologic Modeling Extension. L'extension est disponible sur le site http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/

sont notamment vérifiés grâce aux outils de calage et de validation. Le modèle peut recréer le régime hydrologique avec des débits moyens, et les modules mensuels moyens pour ce bassin versant.

* * * *

Le chapitre 7 a présenté la modélisation hydrologique qui a été essayée pour le bassin versant du fleuve Ha Thanh. Cet essai de modélisation peut être exploité sur d'autres bassins versants comme ceux des trois cours de la province de Binh Dinh d'eau : Kon, Lai Giang et La Tinh. Les résultats de la modélisation hydrologique peuvent être utilisés pour représenter la spatialisation de la vulnérabilité sociale de la plaine inondable et pour la carte d'aléa inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh. C'est ce que nous proposons dans le dernier chapitre de la thèse.

Le chapitre 7 plus théorique et expérimental, et peut-être moins concluant car moins achevé que les autres, ouvre en fait de larges perspectives de recherche dans le bassin étudié. La plaine alluviale et son delta forme l'exutoire du bassin versant, il conviendrait de développer une simulation hydrologique, à l'échelle de cette plaine, à partir d'un modèle adapté aux particularités du bassin que nous avons pu, à présent, caractériser.

Chapitre 8 - Caractérisation de la vulnérabilité sociale dans le delta et interprétation des résultats

Ce chapitre complète l'un des objectifs de la thèse largement abordé dans le chapitre 6, celui de l'analyse de la vulnérabilité dans la plaine alluviale. Nous pourrions mettre cet élément au pluriel tellement la vulnérabilité revêt des aspects diversifiés. La dimension sociale constitue le premier niveau d'intérêt dans une étude de cyndiniques en confrontant les aléas aux territoires exposés. La cartographie des zones exposées dans le delta du fleuve Ha Thanh est développée dans ce chapitre. Comme l'a démontré le passage du cyclone Haiyan aux Philippines, en novembre 2013, l'inadaptation ou la vulnérabilité des constructions humaines a été un facteur d'aggravation. Nous proposons d'explorer la vulnérabilité du bâti et des occupants dans une zone-test de la plaine exposée au risque d'inondation. L'interprétation des différents résultats de l'évaluation environnementale permet d'émettre un certain nombre de propositions de gestion et d'amélioration de la chaîne d'étude du risque d'inondation dans la province de Binh Dinh.

8.1. Spatialisation de la vulnérabilité sociale de la plaine inondable

8.1.1. Détermination des zones du risque d'inondation

Pour rappel, dans la province de Binh Dinh, il n'existe pas encore de cartographie permettant d'appréhender le risque d'inondation en tenant compte des éléments fondamentaux (aléa, enjeux et risque). Nous proposons de l'élaborer suivant les moyens mis en oeuvre dans la thèse. Les zones de risque ont donc été réalisées en tenant compte de la localisation des enjeux et de la carte d'aléa (Dauphiné, 2001; Veyret et Meschinet De Richemond, 2004; Léone *et al.*, 2010; Cariolet *et al.*, 2012) (Fig. 8.1). L'établissement de la carte du risque d'inondation dans le delta se fonde sur une combinaison de données géomorphologiques et topographiques (Ballais *et al.*, 2011), sur la cartographie des zones habitées et leur recensement (Recensement 2009), sur des vérifications de terrain, la carte des réseaux routiers et des digues, ainsi qu'une image satellitale (10 m de résolution, *Google Earth*©, 2011).

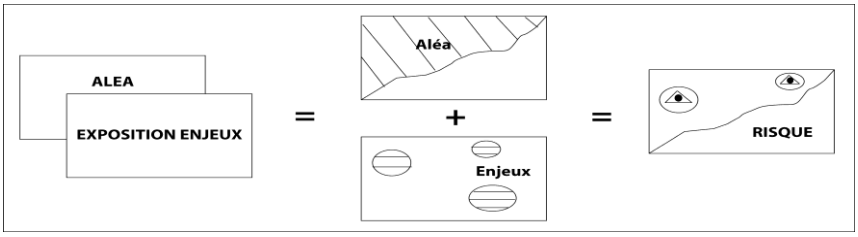


Figure 8.1. Spatialisation élémentaire des risques (Réalisation : Zaninetti et Ngo, 2013)

- **1ère étape : Carte de l'aléa inondation :**

Le delta du fleuve Ha Thanh est essentiellement affecté par l'aléa naturel : les inondations par débordement du cours d'eau du fleuve Ha Thanh, à cause de la pluviométrie abondante et des submersions marines en raison d'événement cyclonique.

Cette carte montrera les zones submergées durant la période d'inondation historique, causée par un débit moyen de 1500 $m^3.s^{-1}$, apparue durant trois jours du 2 au 4 novembre 2009. Elle est considérée comme la crue de référence pour l'extension des inondations, la hauteur d'eau et la vélocité du fleuve Ha Thanh et de la lagune de Thi Nai (Fig. 8.2).

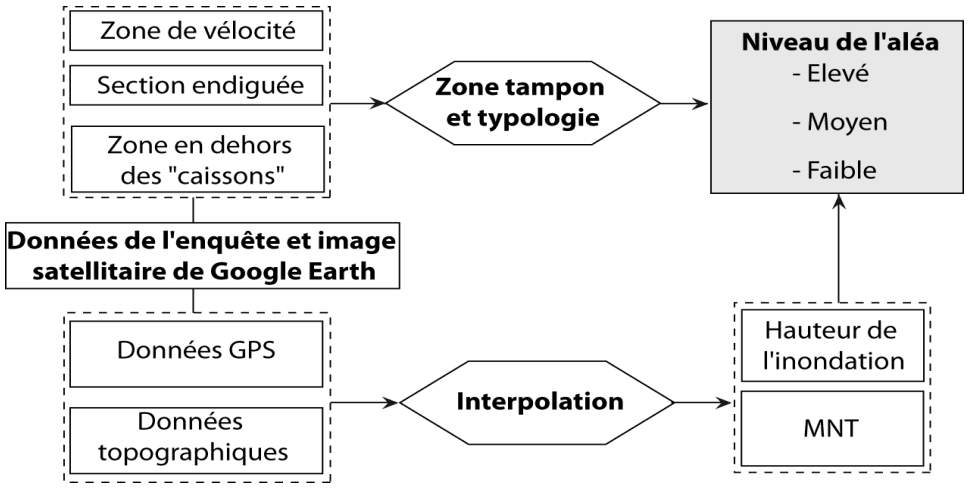


Figure 8.2. Caractéristiques de l'aléa d'inondation (Ngo, 2013)

+ Détermination de **la hauteur d'inondation** calculée à partir du MNT :

La carte topographique à l'échelle de 1 :10 000 a été utilisée pour obtenir les courbes de niveaux (équidistance de 5 m) et des points altimétriques du delta (plaine + chenal) pour créer le MNT (Fig. 3.30 du chapitre 3, p.121). Nous y ajoutons les hauteurs d'eau mesurées sur le terrain après l'inondation historique de novembre 2009 (Fig. 8.3). Il s'agit des 98 points de mesures des hauteurs d'eau dans les habitations, mesures effectuées durant les deux missions estivales en 2011-2012, et des 7 points de mesures du CCCO (*Climate Change Coordination Office*) de la province de Binh Dinh en 2011 (voir annexe 13). Ces hauteurs d'eau ont été utilisées pour obtenir les profondeurs à chaque point (*x, y*) suivant l'équation 8.1 :

$$P_{(x,y)} = H_{eau(x,y)} - H_{élévation(x,y)} \quad (8.1)$$ (Source : CCTSMHE, 2002; d'après Luong, 2012)

Où $P_{(x,y)}$: profondeur (m), $H_{eau\ (x,y)}$ est une altitude d'inondation mesurée par le GPS après l'inondation en novembre 2009, et $H_{élévation\ (x,y)}$ est une élévation à partir de MNT (Luong, 2012).

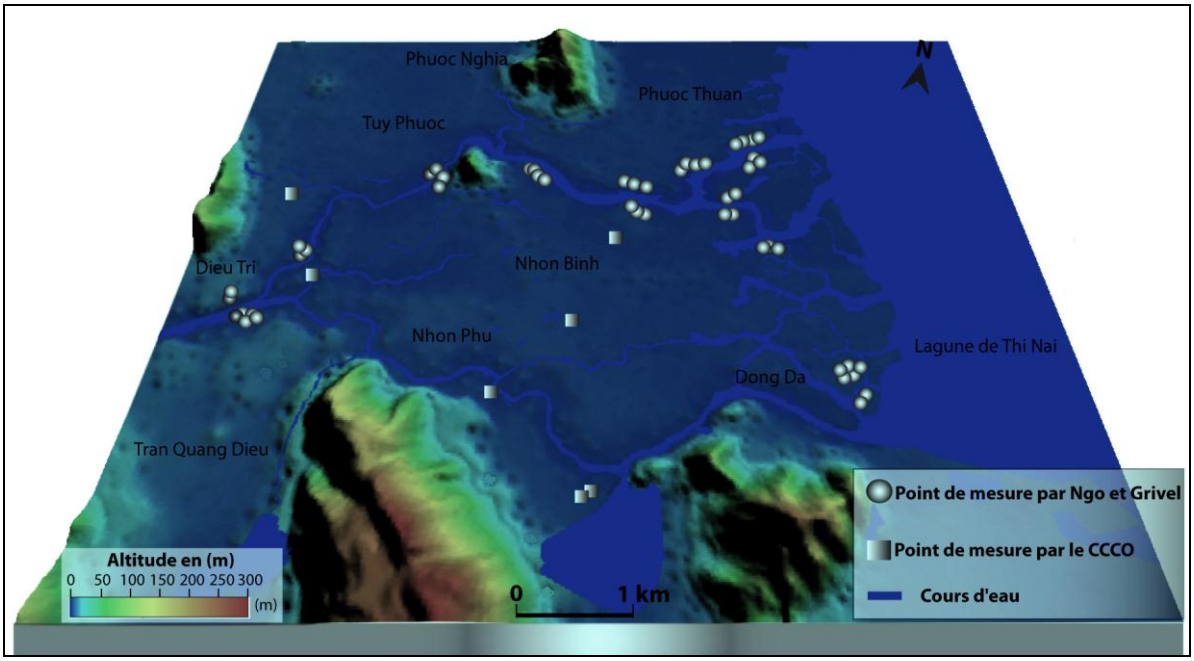


Figure 8.3. Sites d'enquêtes et de mesures de la hauteur de l'inondation historique (novembre 2009) dans le delta du fleuve Ha Thanh (Source : MNT ASTER GDEM; Ngo, 2013)

Tous les points (mesures des hauteurs d'eau et points altimétriques du MNT) sont couplés et utilisés pour obtenir la hauteur de l'inondation dans la plaine du fleuve Ha Thanh. La méthode d'interpolation IDW a été choisi pour créer une carte des niveaux de submersion par l'inondation (Drouin, 2008; Luong, 2012).

L'outil *Spatial Analyst*© d'*ArcGis*© a été utilisé pour calculer les hauteurs de l'inondation suivant les classes : 0-0,5 m ; 0,5-1 m ; 1-1,5 m ; et 1,5-2 m (Fig. 8.4).

On peut voir que la hauteur de l'inondation dépasse 1,5 mètres sur 18 % de la superficie du delta, principalement au Nord-est et au Nord-ouest du delta (Fig. 8.4). En revanche, la hauteur d'inondation n'excède pas 0,5 m sur 48 % de la surface totale du delta (Fig. 8.5).

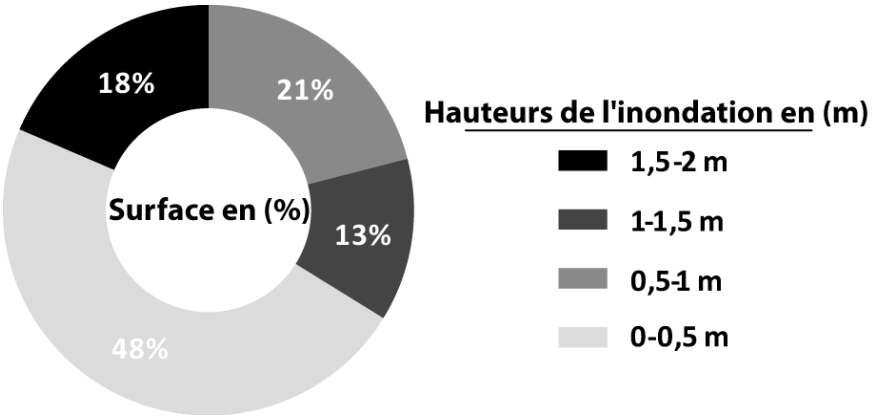


Figure 8.5. Surface de chaque classe des hauteurs de l'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

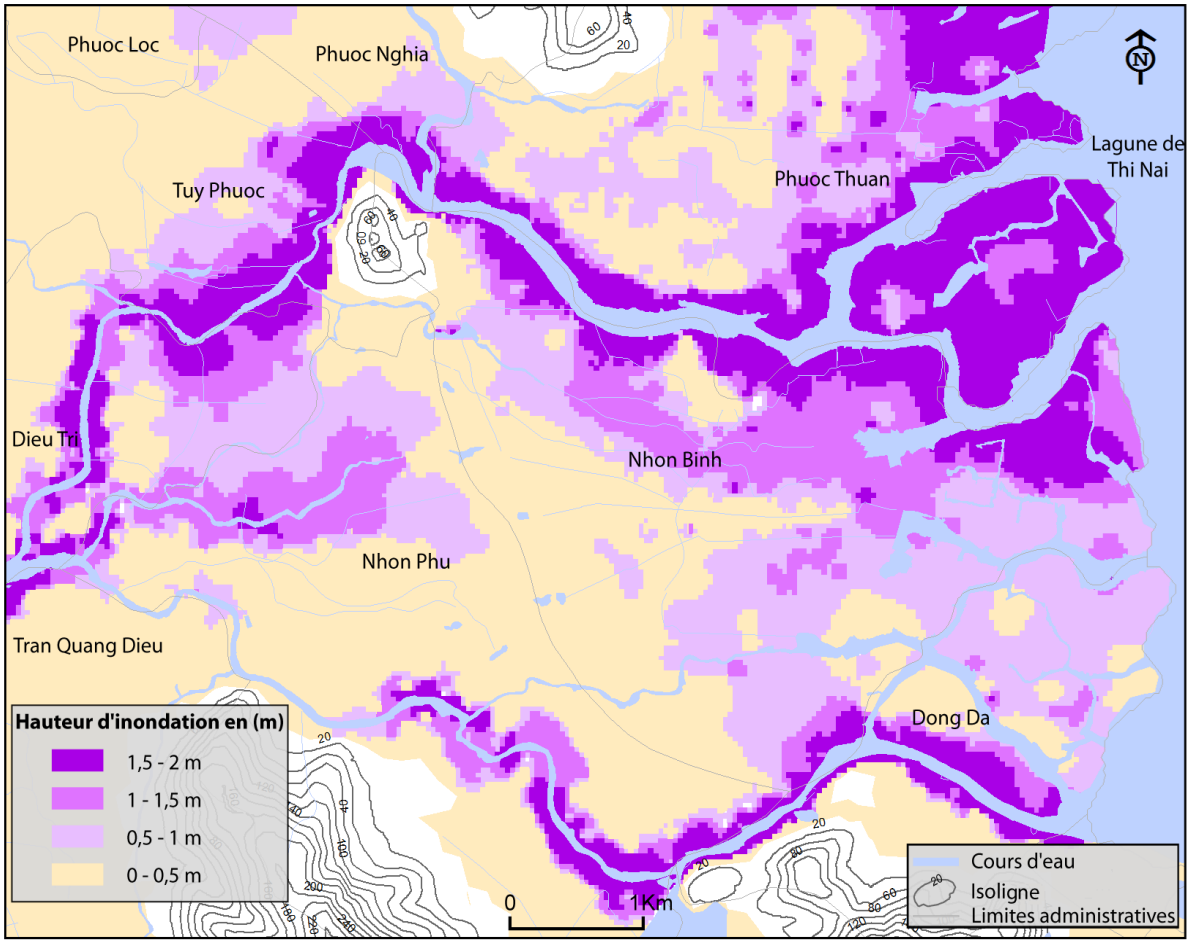


Figure 8.4. Hauteur de l'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh en 2009 (Ngo, 2013)

+ Détermination de **la zone de vélocité** :

La plaine deltaïque se situe au niveau de la mer, avec une altitude moyenne de 2 mètres. La faible topographie générale de cette plaine laisse supposer, à la lumière de l'identification des différents lits fluviaux (voir chapitre 4), que les niveaux de submersion sont relativement homogènes. Les points hauts de la plaine concernent les digues et les aménagements remblayés comme les routes, la voie ferrée et la proximité des habitations récentes. Il n'existe de très rares tertres naturels. Pour notre analyse des enjeux, nous considérons dans un premier temps les zones inondées influencées directement par l'écoulement du cours d'eau. Un programme de cartographie de la plaine d'inondation de la Rivière des Parfums avait par exemple pu mettre en lumière les zones de vélocité selon des données hydrologiques suffisantes pour en estimer les vitesses d'écoulement (Cosandey *et al.*, 2005). Cependant, l'absence de données sur les vitesses d'écoulement nous incite à recourir à une méthode arbitraire de distinction entre des zones soumises et non soumises à une forte vélocité.

Dans le lit majeur, les écoulements se font en grande partie sous la forme de faibles courants, tout du moins bien inférieurs à ceux enregistrés dans le chenal principal d'écoulement. La plaine d'inondation pourrait être ainsi divisée en zones directement soumises aux courants et en zones relativement protégées des phénomènes de vélocité dangereuse : les digues, les routes, les quelques monticules naturels et la voie-ferrée. L'identification de ces secteurs constitue un élément très important dans la construction cartographique des enjeux exposés. Pour ce faire, nous choisissons de créer une zone tampon de 100 mètres de distance par rapport au lit mineur et de 400 m de distance à la lagune de Thi Nai. Le delta subit les influences marines et peut être soumis à l'aléa inondation par surcôte marine. Nous n'insisterons pas sur cet aspect car nous ne disposions pas des moyens pour quantifier précisément la part de responsabilité de l'élément marin dans la submersion du delta. Des modèles hydrauliques dédiés à ces phénomènes existent comme le modèle MASCARET (Piacentini *et al.,* 2009) et pourraient être appliqués pour compléter notre étude.

Nous proposons donc une distance de 100 m pour délimiter les zones de courant se situant à proximité du fleuve Ha Thanh.

Ce choix se justifie également puisque, dans le cadre de la mission de terrain en 2012, nous avons enquêté sur les conséquences du typhon Mirinae de novembre 2009 et avons relevé que les personnes habitant dans un rayon d'environ 100 mètres du fleuve, en secteur non endigué, ont témoigné avoir été plus durement touchées. On sait à présent que la vitesse moyenne de propagation longitudinale de la crue dans le chenal principal est très rapide soit 1,8 $m.s^{-1}$ de l'amont vers l'aval (voir le chapitre 7, p.283). Cela nous donne une approximation de la force du courant évoqué par les témoins qui ont vécu la crue du 2 au 3 novembre 2009 à proximité immédiate du fleuve.

Nous avons choisi la zone tampon de 400 m en retrait du littoral sur la base de l'étude de Mercier et Chadenas (2012) sur *" La tempête Xynthia et la cartographie des « zones noires » sur le littoral français : analyse critique à partir de l'exemple de La Faute-sur-Mer (Vendée) "*, pour laquelle la distance de 400 mètres correspond à la zone dangereuse la plus exposée au risque de submersion par un fort courant.

Le SIG permet de réaliser des zones tampons à partir du lit mineur (100 m) et de la lagune de Thi Nai (400 m) (Fig. 8.6). La géométrie de ces secteurs exposés aux courants est modifiée par les endiguements. Tant qu'elle ne rompt pas, la digue freine les écoulements, même si elle est contournée.

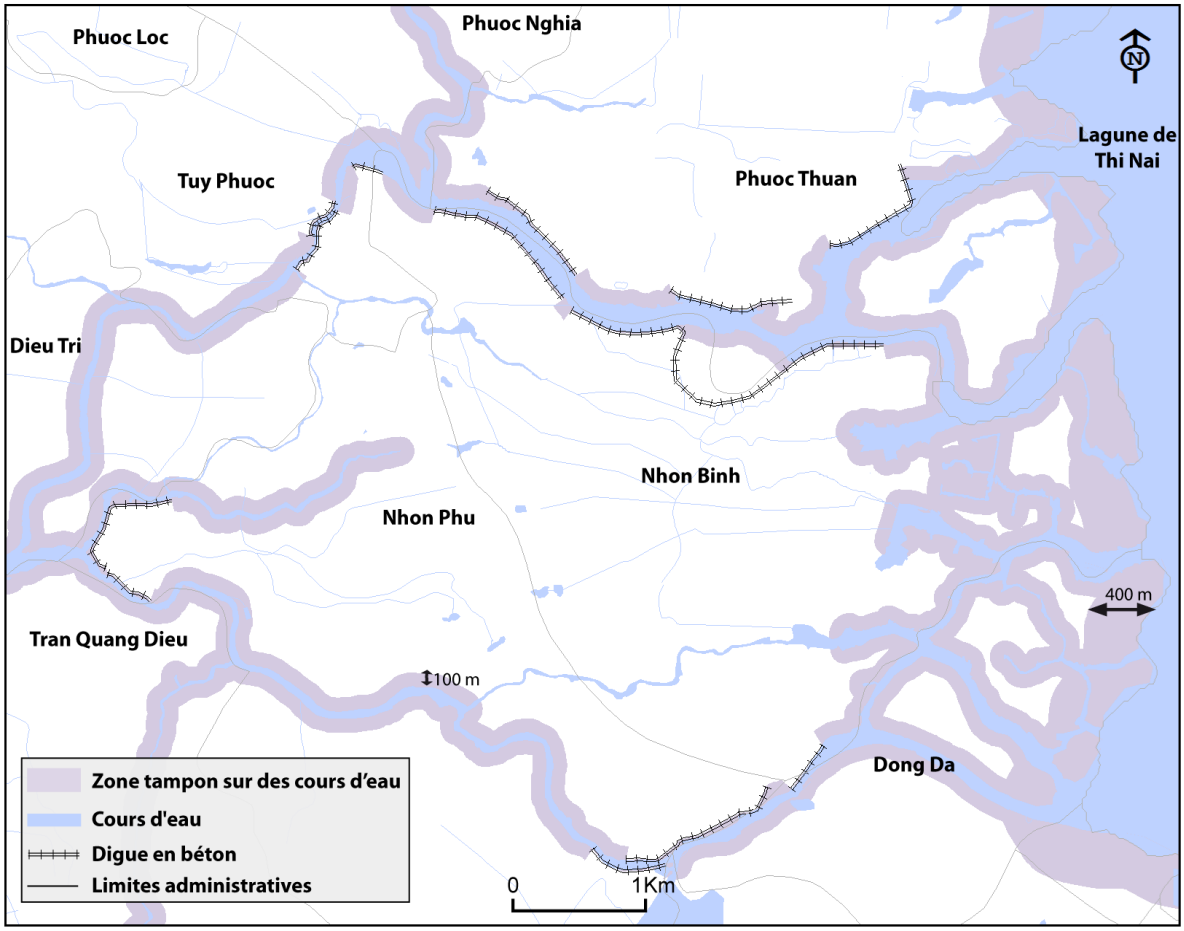


Figure 8.6. Zone tampon à proximité des chenaux d'écoulement dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

+ Détermination de la **zone en dehors des "casiers"** :

Les autorités ont construit des digues de protection contre les inondations. Ainsi, ils sont divisés en casiers par les digues dans le lit majeur (Cosandey *et al.*, 2005; Walamu *et al.*, 2013).

Nous proposons le terme "casier" qui est la même signification qu'une zone endiguée. Les "casiers" sont délimités par les digues existantes, les reliefs et les terre-pleins constitués par les chaussées des routes et voie-ferrée pour le delta du fleuve Ha Thanh. En général, les niveaux et les vitesses de l'eau sont réduits pour chaque "casier" (Source : http://www.minea.fr, consulté le 3 octobre 2013), sauf en cas de brèche dans les digues.

Actuellement, ces terre-pleins sont constitués par les chaussées des routes et la voie-ferrée sous la forme de remblais en terre ou en béton. Le modèle à casier est couramment utilisé dans la modélisation des écoulements dans une plaine d'inondation. Nous nous contentons pour notre travail de spatialiser ces casiers. Une modélisation ultérieure pourrait ainsi faire l'objet d'un programme à part entière, ce que nous ne pouvions pas engager dans ce cadre doctoral. Les données à présent disponibles et les cartes thématiques créées pourraient être utilisées pour cette modélisation.

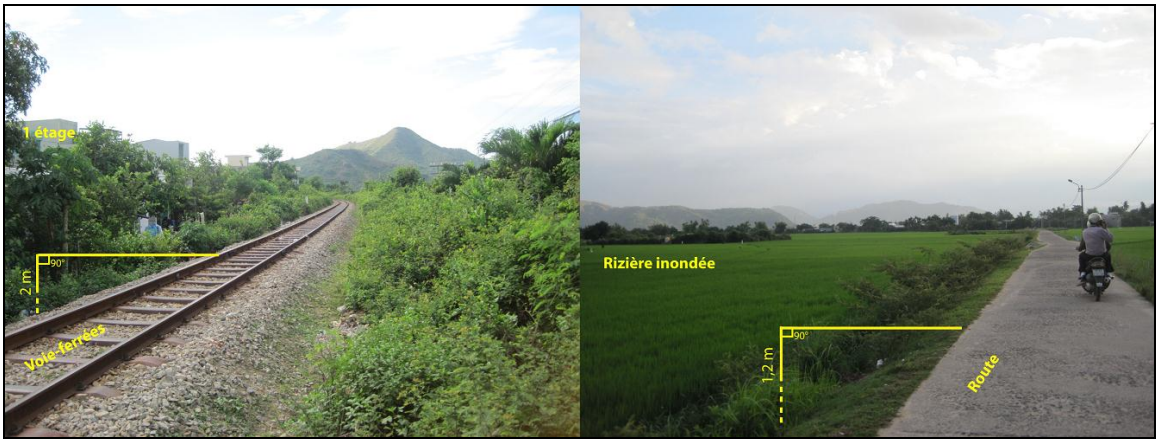


Figure 8.7. Exemple de remblais et des hauteurs de route et voie ferrée dans le delta du fleuve Ha Thanh (Photographie : Ngo et Grivel, 2012)

Les routes sont positionnées à des hauteurs d'au moins 1,2 m, selon le document technique unifié du Viêt-Nam – TCVN 4050 [72] en 2005 (*Highway - Specifications for design*) et TCVN 9162 [73] en 2012 (*Hydraulic structures - Construction roads - Technical requirements for design*). Notre travail d'investigation dans le delta du fleuve Ha Thanh montre que les routes principales sont effectivement situées sur des remblais d'au moins 1,2 m de haut. Les voies-ferrées sont généralement plus hautes que les routes (Fig. 8.7). Ainsi, elles forment des digues en zones inondables.

Les zones d'habitations localisées dans les "casiers" ainsi délimités par les voies de communication et les digues sont moins exposées aux aléas, sauf en cas de brèche ou de débordement (Fig. 8.8 & 8.10). Dans ce cas, la zone bâtie située immédiatement derrière les digues sera fortement influencée par la vitesse de l'inondation. « La dangerosité dépend surtout de la hauteur de la digue » (Mercier et Chadenas, 2012) (Fig. 8.9). De manière générale, la montée de l'inondation sera le plus souvent plus lente à l'intérieur des « casiers » que dans d'autres zones sans digues.

En cas de rupture de la digue, le degré de risque sera plus grand (Pitie et Puech, 2010). « Jusqu'à une distance de 400 m de la brèche, le débit devient très important en quelques minutes et les courants sont violents à proximité de la brèche » (Pitie et Puech, 2010). Pour notre étude, nous n'avons pas identifié les zones touchées par la rupture d'une digue, impossible à prédéfinir en l'absence d'étude géotechnique, mais seulement de déterminer les zones de débordement non endiguées.

[72] http://utc2.edu.vn/data/downloads/2007/tcvn4054-2005%20duong%20o%20to-yeu%20cau%20thiet%20ke.pdf

[73] http://www.vncold.vn/Modules/CMS/Upload/10/TieuChuanHoDap/130131/TCVN916220121.pdf

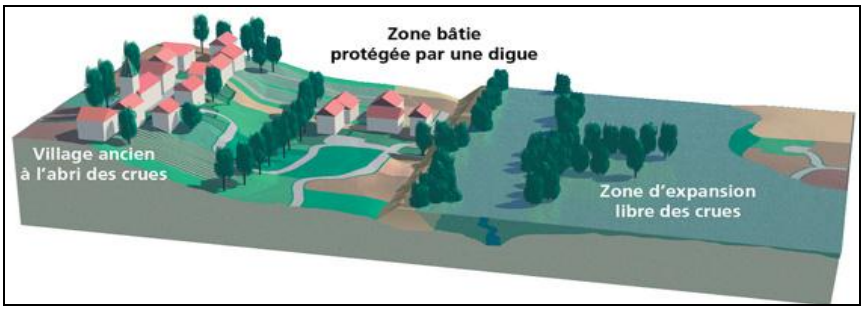


Figure 8.8. Zone bâtie protégée par une digue (Source : Prim.net)

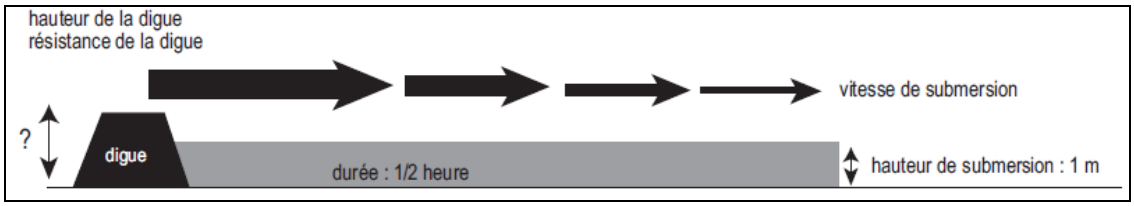


Figure 8.9. Cinétique de submersion (Source : Mercier et Chadenas, 2012, p.51)

La capacité du système de digue contre l'inondation dépend des matériaux de construction (terre, pierre ou béton), de la profondeur de la digue (fondation) et ainsi que de la largeur de la digue. Nous estimons une largeur de digue entre 3 et 5 m, des fondations d'environ 5 à 10 m et une hauteur en moyenne de 1,5 m à plus de 3 m. Les digues sont toutes en béton dans le delta du fleuve Ha Thanh.

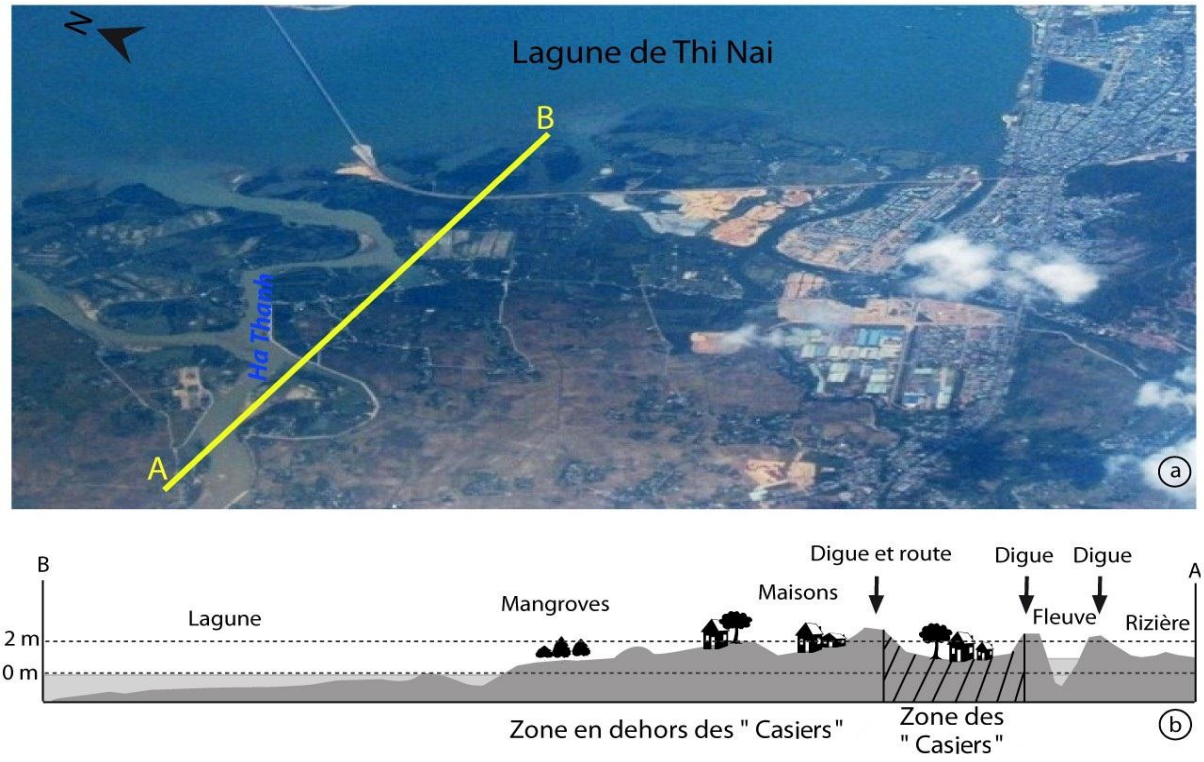


Figure 8.10. Exemple des zones dans et hors des "casiers " dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

a) Vue aérienne oblique, b) Coupe

Pour la détermination des "casiers", nous utilisons les bases de données du SIG (chapitre 3) et nos observations relevées sur le terrain en 2011 et 2012. Grâce au SIG, les zones hors des "casiers" sont bien représentées dans la figure 8.11.

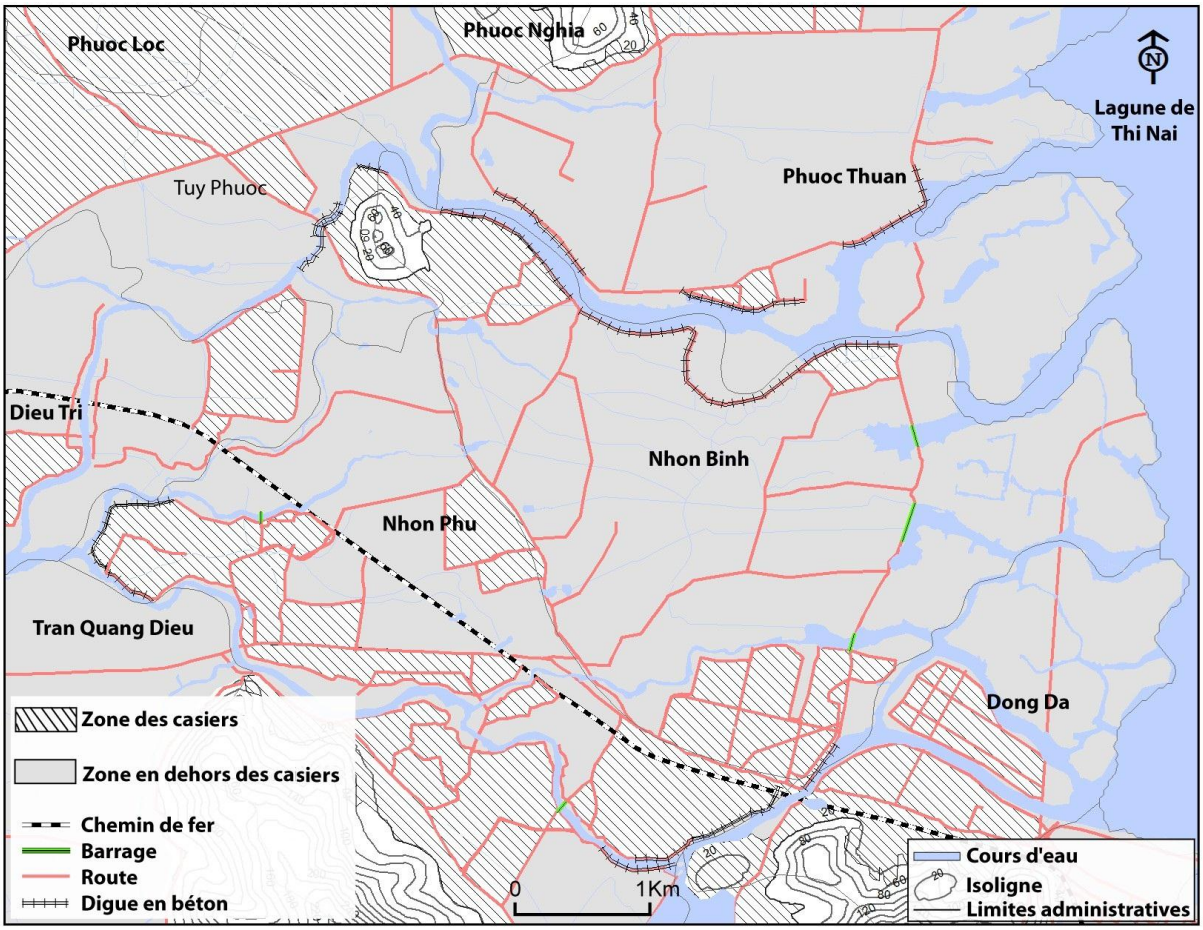


Figure 8.11. Indentification des zones hors des "casiers", dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

On peut voir que, dans le delta du fleuve Ha Thanh, la zone alluviale en dehors des "casiers" représente 60% de la superficie totale du delta. Cette zone se trouve au milieu et au nord-est du delta.

Enfin, les zones d'aléa d'inondation ont été réalisées à partir du MNT, les hauteurs d'eau, les zones en dehors des "casiers" et les sections endiguées (Fig. 8.12).

Selon la figure 8.12, nous avons montré que l'aléa est élevé pour la zone située en dehors des "casiers", de faible altitude où la hauteur d'inondation entre 1,5 à 2 m, car cette zone peut être affectée par une inondation forte et une longue durée de submersion. Un niveau d'aléa élevé dans la zone des "casiers" concerne les secteurs où les digues ont été submergées en 2009 selon les données de l'enquête en 2012.

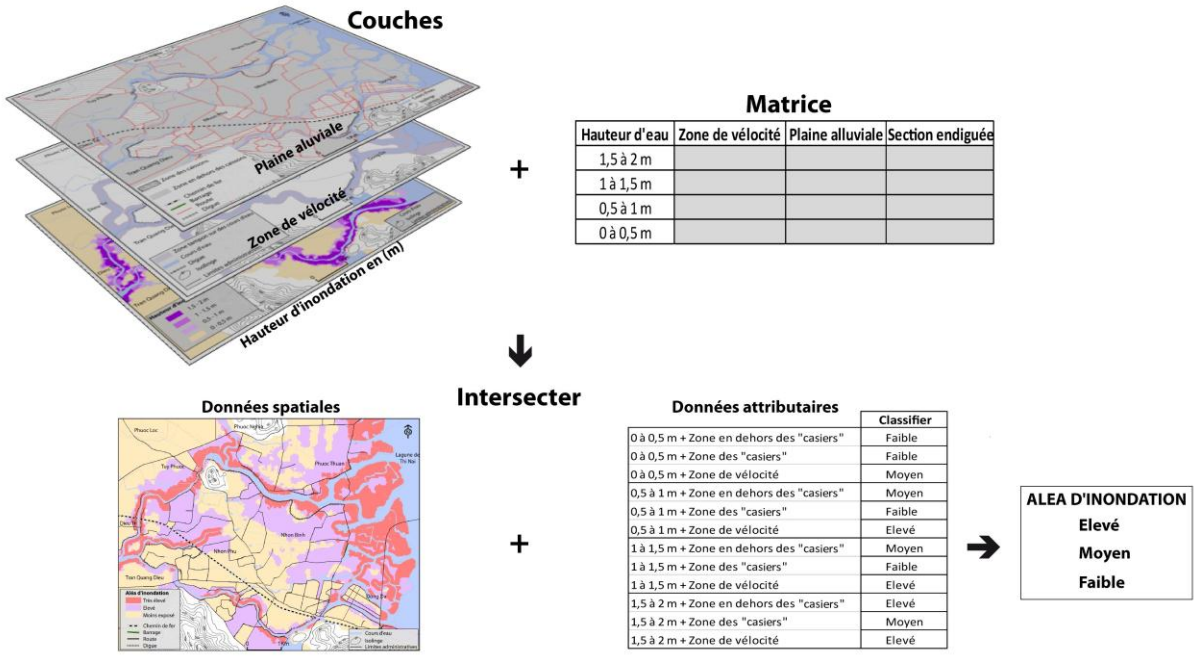


Figure 8.12. Intersection des cartes thématiques pour réaliser une carte de l'aléa inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

Grâce au SIG, la carte de l'aléa inondation est ainsi générée (Fig. 8.13).

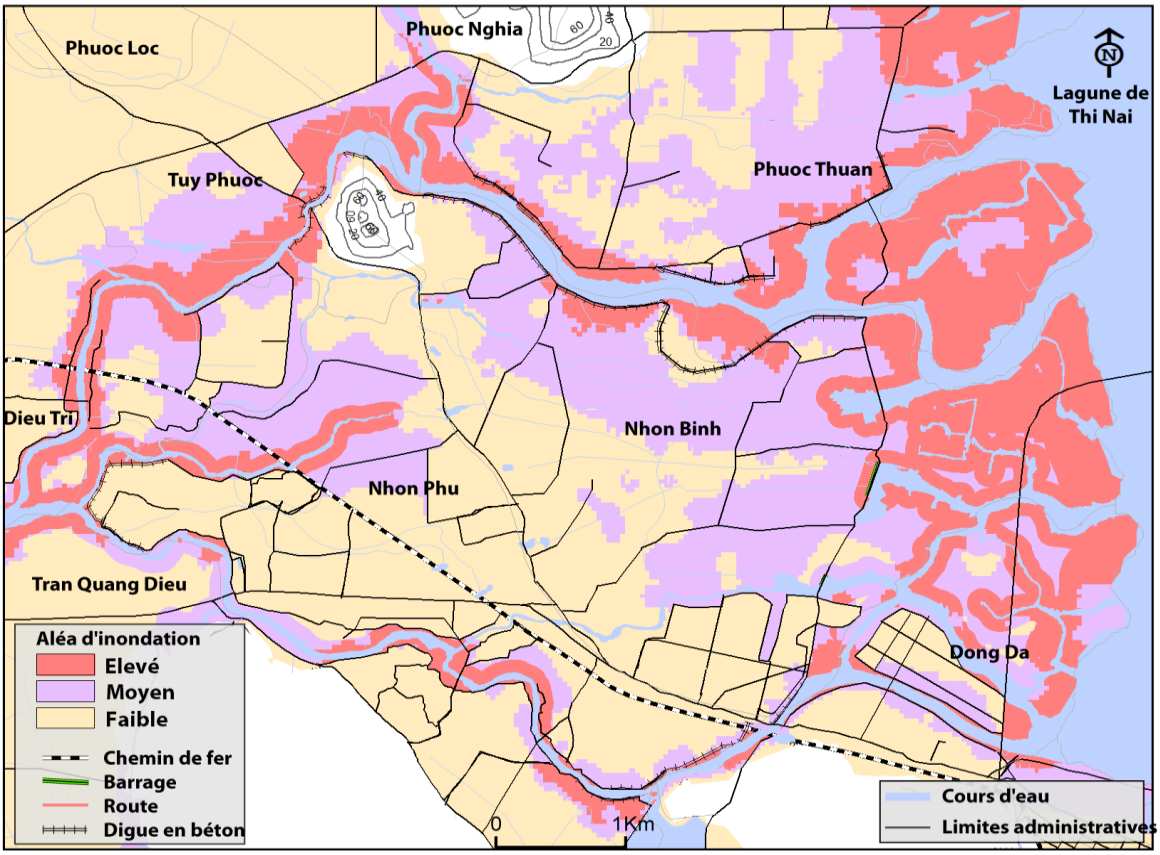


Figure 8.13. Carte de l'aléa inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

La figure 8.13 représente les trois niveaux de l'aléa inondation :

- faible : probabilité d'apparition de l'inondation de faible à moyenne ampleur sauf en cas de rupture de digue. Ces lieux correspondent à des profondeurs d'inondation d'environ 0 à 0,5 m;

- moyen : ces lieux sont exposés à une inondation de 1 à 1,5 m d'eau dans la zone alluviale en dehors des casiers endigués, et de 1,5 à 2 m pour la zone de ces casiers en cas de submersion de digue. Dans ces secteurs, la montée des eaux ne s'accompagne pas de forts courants;

- élevé : ce niveau représente l'aléa maximum d'inondation à proximité des chenaux d'écoulement en raison de la vélocité du courant, avec une hauteur d'inondation minimum de 1 m ou des inondations d'une hauteur d'eau de 1,5 à 2 m en l'absence de toute protection structurelle.

Sur cette base, nous pouvons estimer le pourcentage de la superficie de chaque niveau sur la superficie totale de quartier et village (Fig. 8.14).

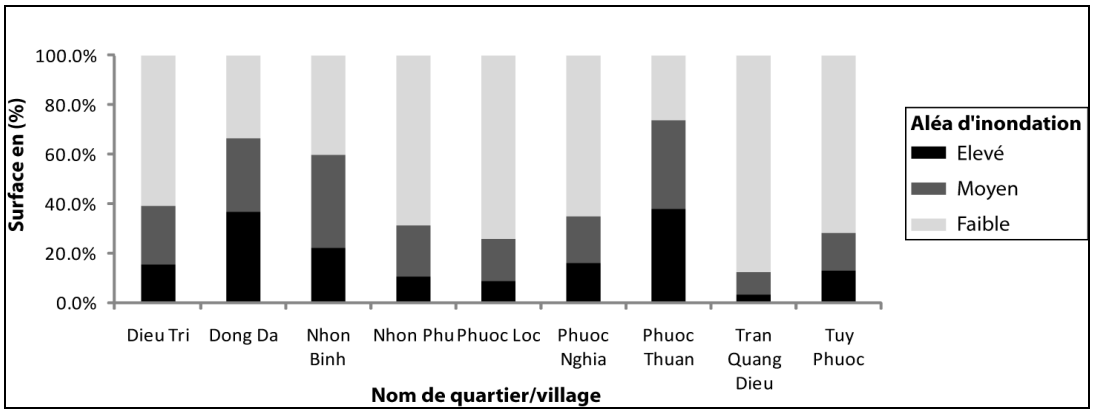


Figure 8.14. Pourcentage de surface des niveaux de l'aléa d'inondation pour chaque quartier/village dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

La principale zone d'aléa se situe au nord-est du delta où on peut voir que les deux quartiers de Dong Da et Nhon Binh et le village de Phuoc Thuan représentent plus de 50 % de la surface totale de chaque quartier. Ce sont ces lieux qui ont été principalement touchés et submergés par l'inondation historique en 2009.

- **2ème étape : Enjeux exposés dans la plaine inondable**

L'enjeu se constitue des personnes, des bâtiments et des autres biens exposés dans une zone d'aléa inondation. En réalité, il y a différentes classes d'enjeu : les espaces actuellement habités (différence entre centres villes, zones d'habitats) ; les espaces liés au commerce ; les espaces liés aux activités artisanales, industrielles, et commerciales ; les structures linéaires (digues, infrastructures, …) ; les enjeux spécifiques et ainsi les zones rurales (PPRNi, 2012).

Les enjeux situés dans la plaine inondable du fleuve Ha Thanh peuvent être représentés par des zones bâties, des routes, des digues, des personnes susceptibles d'être affectées par les inondations (Veyret et Meschinet De Richemond, 2004).

« L'estimation de population en zone inondable peut être considérée comme représentative de toute la zone inondable du secteur concerné, ce qui n'est pas le cas lorsque l'estimation est faite sur la base d'emprise inondable plus restreintes que le lit majeur, comme l'emprise de la crue centennale ou d'une crue historique n'ayant pas inondé tout le lit majeur » (MEEDDAT, 2008, p.2). De plus, les marges d'erreur dépendent de la zone d'étude (de 5 à 10%) (Wateau, 2002). Il faut donc déterminer une zone inondable, puis vérifier la cohérence des données du SIG par une vérification de terrain.

Il existe des méthodes pour estimer le nombre d'habitants en zones inondables (Wateau, 2002; MEEDDAT, 2008; CGDD-SOeS, 2009 ; SOeS et Magnier, 2012). Nous présentons le schéma ci-dessous pour estimer la densité de population en zones inondables.

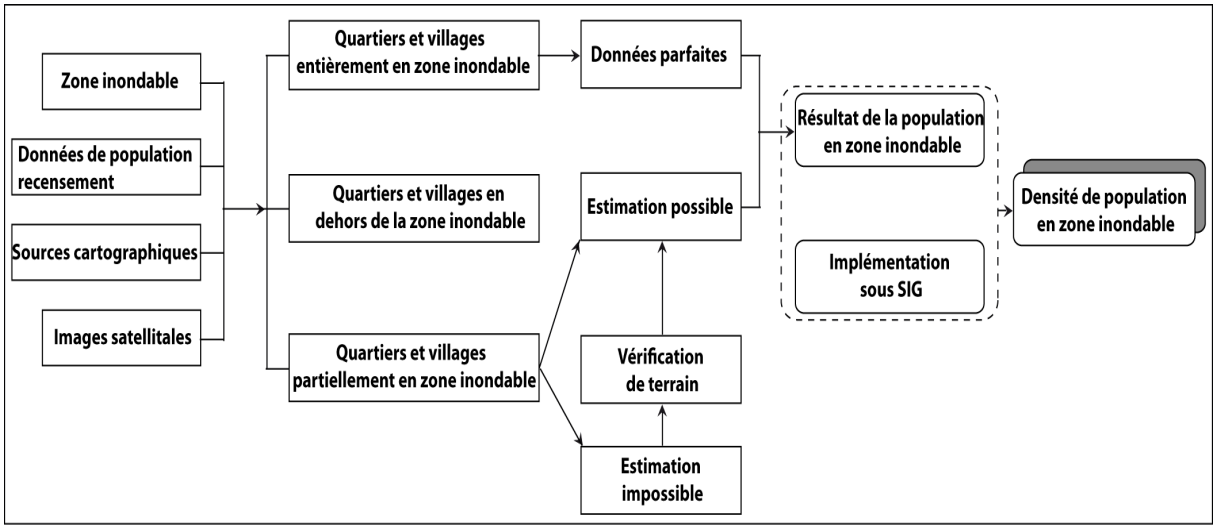


Figure 8.15. Schéma pour estimer une densité de population dans des zones inondables du delta (d'après Wateau, 2002. Réalisation : Ngo, 2013)

- préparation des données de surface et de population : nous avons représenté les quartiers et villages qui concernent le delta du fleuve Ha Thanh (voir la partie 2.3.3 du chapitre 2, p.86). Les données sur la population ont été fournies par le bureau de la Statistique de la province de Binh Dinh en 2010.

- détermination des zones inondables dans le delta du fleuve Ha Thanh : combinaison de données géomorphologiques, topographiques (Ballais *et al.*, 2011) et celles de la crue historique (Fig. 8.16) :

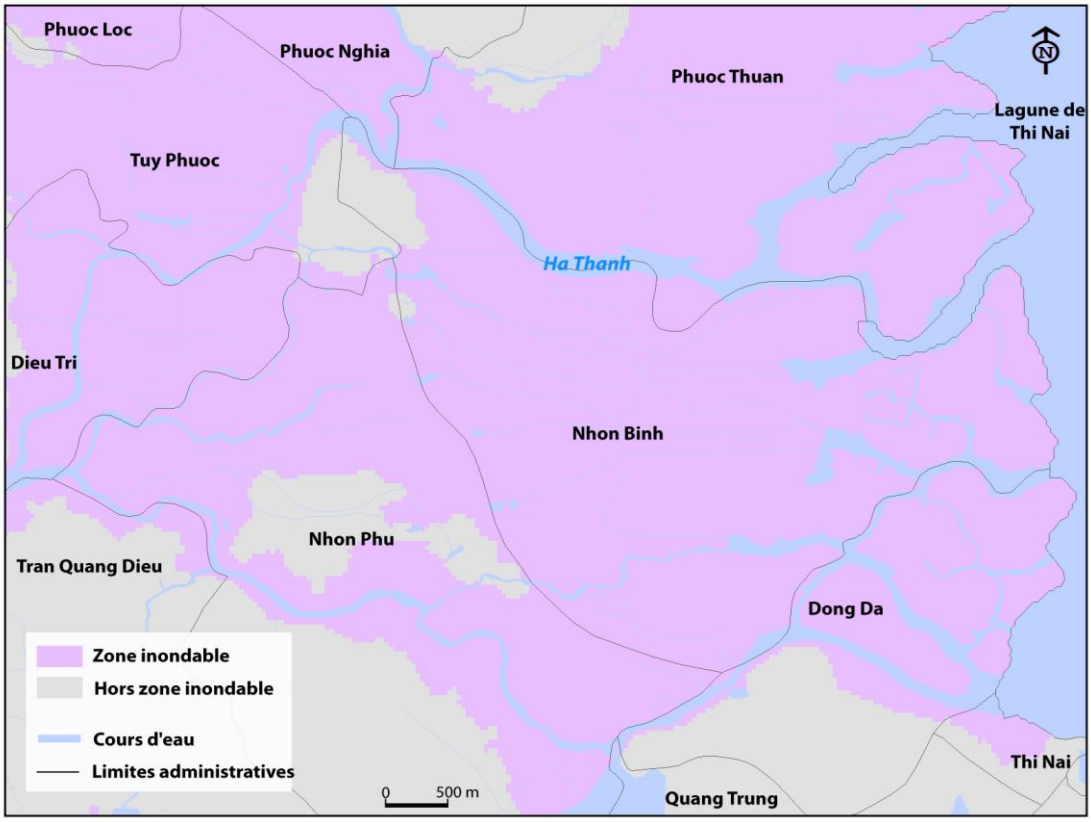


Figure 8.16. Emprise spatiale des zones inondables dans le delta (Ngo, 2013)

On constate que 92% de la surface du quartier de Nhon Binh est en zone inondable. Deux quartiers (Dong Da, Nhon Phu) et trois villages (Phuoc Thuan, Dieu Tri, Phuoc Loc) sont situés à plus de 50% en zone inondable, d'autres quartier et village sont en partie en zone inondable (15-45%).

Deux situations se présentent pour l'estimation de la population en zone inondable :

- l'estimation est possible : une zone peut être repérée sur la carte du cadastre où cette zone concerne relativement plus de 90% du quartier ;

- l'estimation est impossible : si une zone est partiellement inondable, il est très difficile de déterminer l'effectif de population située effectivement dans les limites de la zone inondable. Nous utilisons d'autres sources de données comme une image satellitale *Google Earth*©, une carte du cadastre, la carte d'occupation du sol, ou en contactant les organismes de gestion (Comités de quartier qui connaissent bien le terrain) et des vérifications sur le terrain (Wateau, 2002; SOeS et Magnier, 2012).

La population totale en zone inondable des quartiers et des villages a été estimée (Tab. 8.1). Enfin, le SIG a été utilisé pour calculer les surfaces en km^2 dans chaque quartier et village. Grâce à la surface et à la population, nous pouvons estimer la densité de population en zone inondable. La densité de population est importante dans l'ensemble du delta (Fig. 8.17).

C’est notamment le cas du quartier de Dong Da situé en aval au sud-est en direction de la ville de Quy Nhon, où la densité de population est de 3000 hab./km^2 en zone inondable. C’est dire l’importance des enjeux.

Tableau 8.1. Estimation de la densité de population en zone inondable dans le delta du fleuve Ha Thanh

Lieu	Superficie		Population		Densité de population en zone inondable (hab./km^2)
	Total (en km^2)	Estimation en zone inondable (%)	Total (personne)	Estimation en zone inondable (%)	
Dieu Tri	5.63	57	11671	20	690
Dong Da	6.31	66	30074	42	3000
Nhon Binh	14.7	92	19709	95	1400
Nhon Phu	13.2	59	18806	60	1450
Phuoc Loc	12	40	14073	15	440
Phuoc Thuan	21.97	70	15700	50	510
Phuoc Nghia	6.72	45	4544	25	370
Tuy Phuoc	6.6	58	11894	50	1500
Tran Quang Dieu	10.93	15	14583	10	890

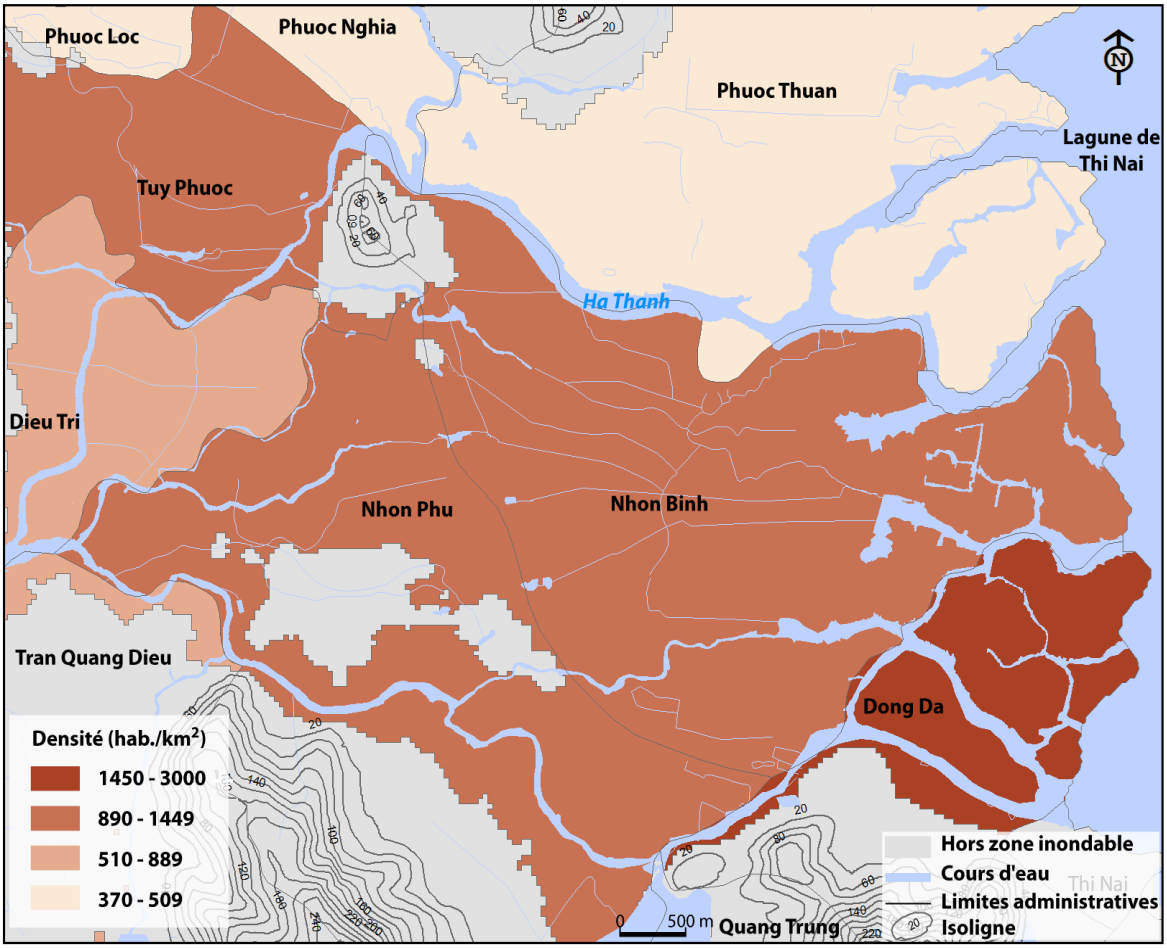


Figure 8.17. Densité de population en zone inondable dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

On peut observer que la densité de population exposée est forte dans les quartiers de Dong Da, Nhon Binh, Nhon Phu et Tuy Phuoc.

Enfin, on réalise la typologie des zones bâties en zone inondable, à partir de l'image satellitaire de SPOT 4 de 2009, et les validations sur le terrain en 2012. Les zones bâties où existent des enjeux (habitants, commerces, industries) sont concernées par ces zones. On peut donc déterminer la cartographie des enjeux dans le delta (Fig. 8.18). Les zones agricoles et forestières situées dans la plaine alluviale ne sont pas des zones à enjeu.

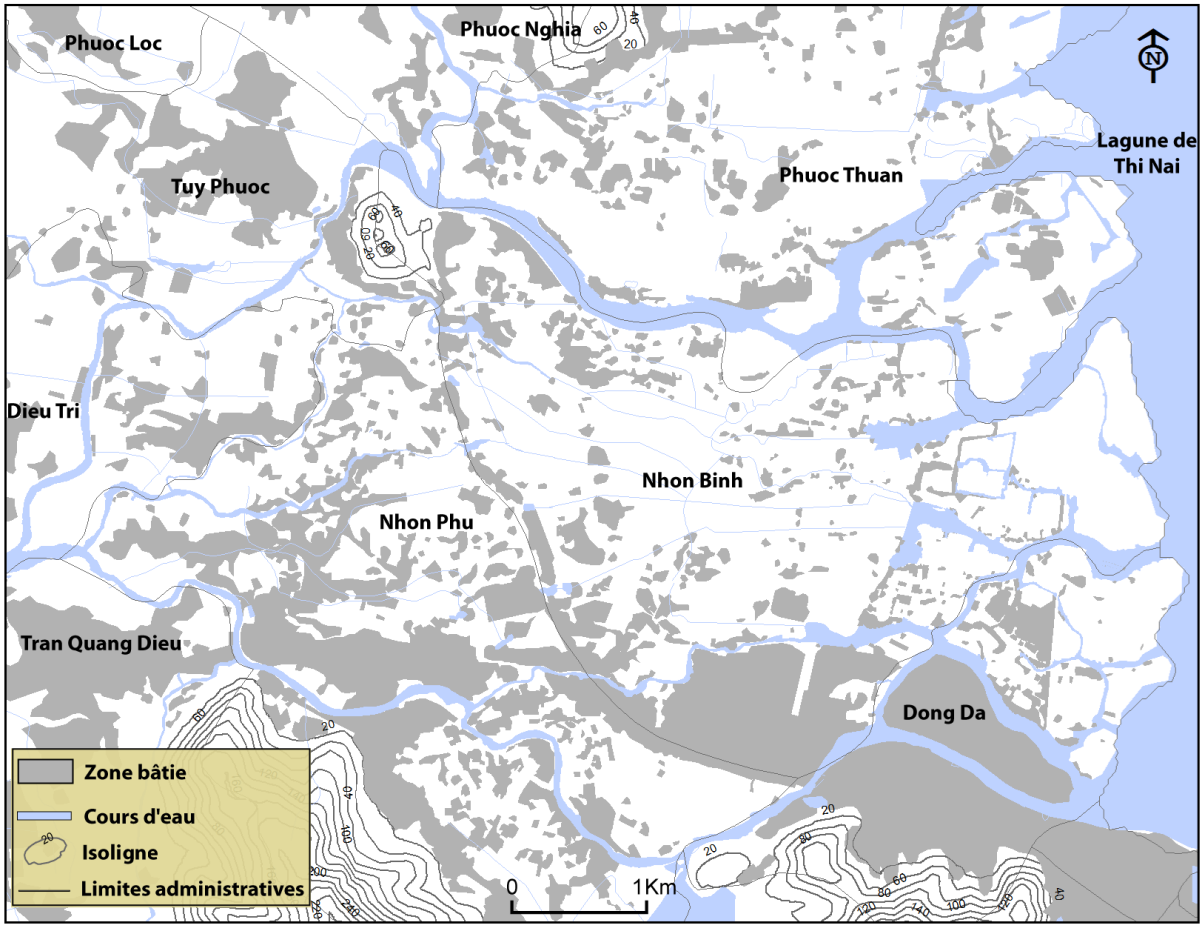


Figure 8.18. Typologie de zone bâtie dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2012)

Toutes les zones bâties qui intersectent les zones d'aléa (élevé, moyen, faible) peuvent être considérées comme des zones à risque de même niveau relatif (élevé, moyen, faible).

Enfin, pour la réalisation de la carte du risque d'inondation, une formule permet d'estimer le risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh :

Risque d'inondation = **Aléa** (*MNT, hauteur d'eau, zone de vélocité, zone en dehors des "casiers", section endiguée*) x **Enjeu** *(zones bâties*)

Le risque d'inondation s'estime par le croisement des cartes thématiques relatives aux enjeux exposés à l'inondation et à l'aléa d'inondation. Grâce au SIG, la carte du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh a été réalisée (Fig. 8.19). La typologie des classes de risque permet d'obtenir une cartographie actuelle du risque d'inondation dans le delta en distinguant les niveaux suivants :

- risque faible : zone des enjeux exposés aux inondations, protégée par des sections endiguées ou se situant à haute altitude ;

- risque moyen : enjeux en zone inondable, situés dans le lit majeur (zone en dehors des "casiers") et à plus de 100 m du fleuve Ha Thanh ou de 400 m de la lagune de Thi Nai ou en cas de débordement de digue ;

- risque élevé : enjeux exposés aux inondations (aléa), à moins de 100 m du fleuve Ha Thanh ou 400 m du littoral (à proximité des chenaux d'écoulement en raison de la vélocité).

Ainsi, plus de 60 000 personnes habitent en zone inondable dans le delta et on estime que 60 % de cette population rurale vit en zones de risque moyen à élevé.

On estime que 29 % de la superficie du delta est d'ores et déjà exposé à un risque d'inondation moyen ou élevé (Fig. 8.20). De surcroît, nous savons aussi que le delta du fleuve Ha Thanh sera exposé à des risques croissants dans l'avenir du fait du changement climatique et de la montée du niveau de la mer (MRNE, 2009; Luong, 2009 ; Tran, 2012).

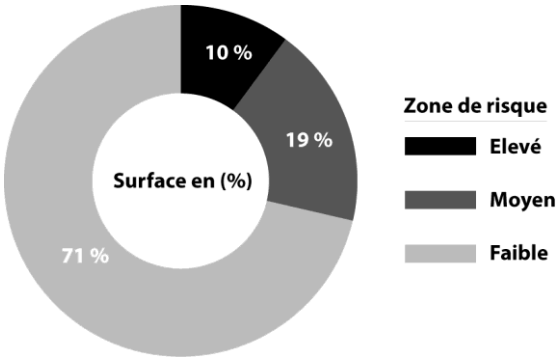


Figure 8.20. Superficie en pourcentage des zones de risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

L'estimation de la superficie des zones à risque peut être déclinée pour chaque quartier et village dans le delta du fleuve Ha Thanh (Fig. 8.21).

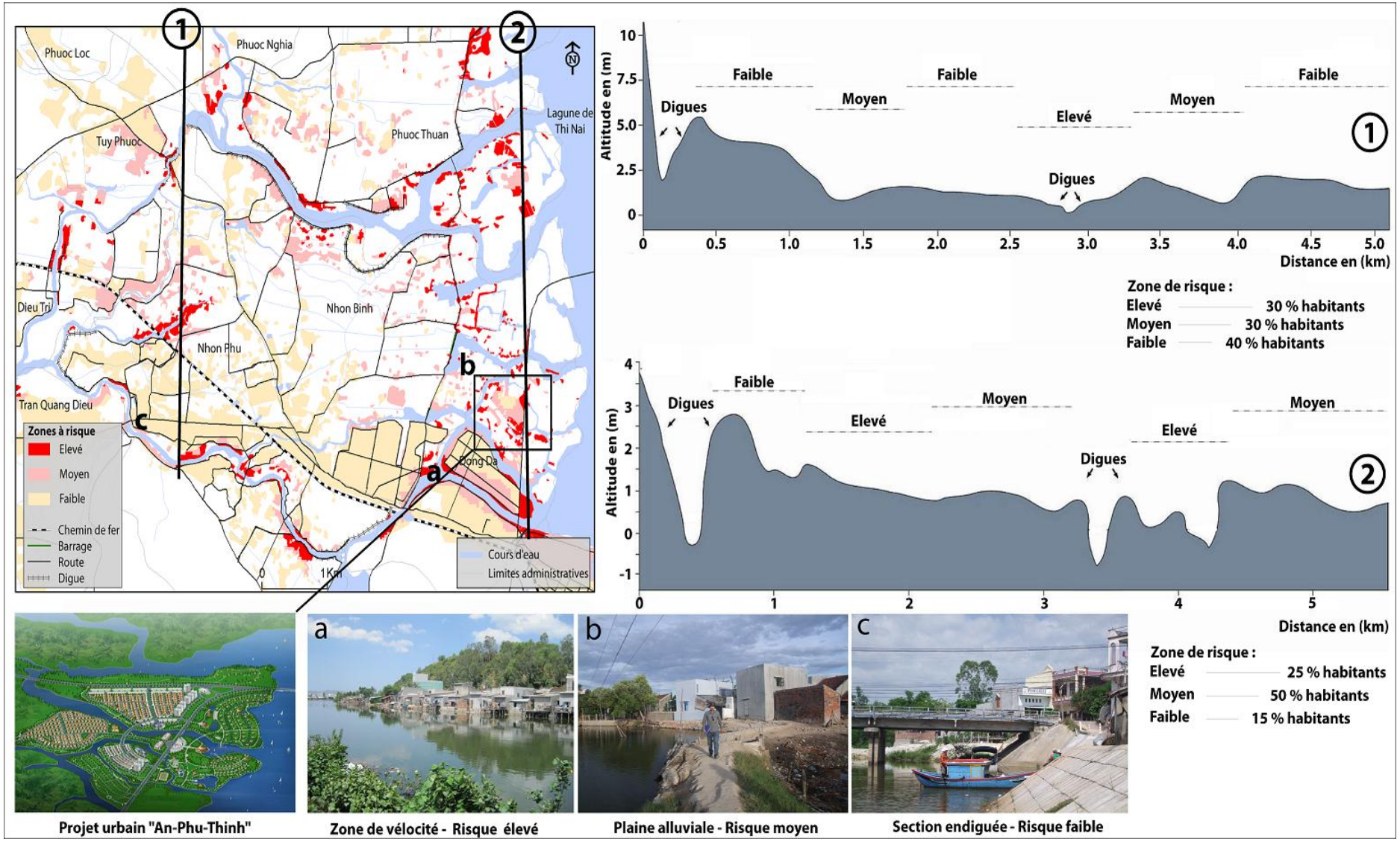


Figure 8.19. Carte des zones à risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

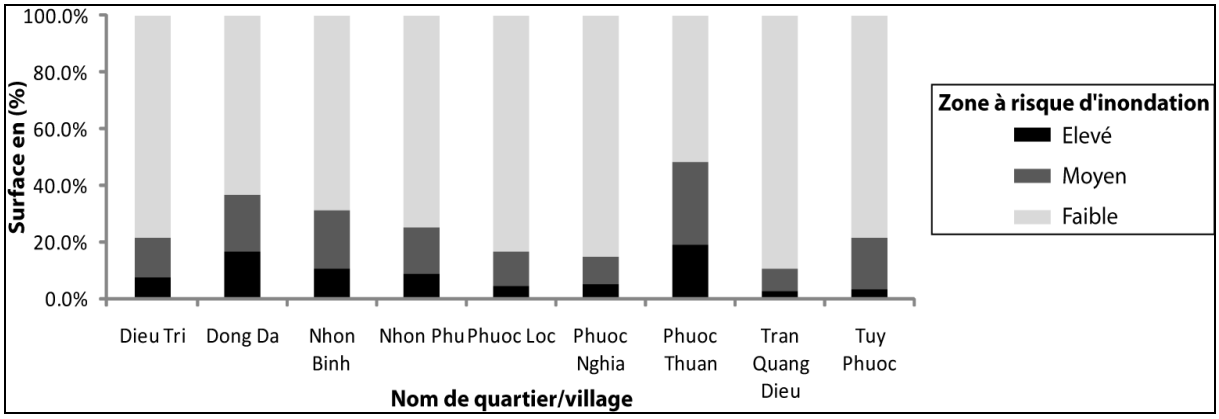


Figure 8.21. Pourcentage de surface des niveaux du risque d'inondation pour chaque quartier/village dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

La figure 8.21 représente les quartiers (Dong Da, Nhon Binh, Nhon Phu) et les villages (Phuoc Thuan, Phuoc Nghia, Dieu Tri) du delta. 16,6 % de la surface du quartier Dong Da se trouve dans la zone de risque élevé. Ce quartier est le plus densément peuplé dans ce delta et c'est précisément le quartier qui abrite le projet urbain « An Phu Thinh ». Il s'agit actuellement d'une zone de risque moyen à élevé (Fig. 8.19).

8.1.2. Apports de la modélisation 3D des enjeux urbains situés en zone inondable

L'application de la 3ème Dimension sur les objets contenus dans une zone inondable urbanisée apporte des éléments de compréhension supplémentaire de leur vulnérabilité vis à vis de la submersion et de l'inondation (hauteurs d'eau dans les bâtiments). C'est un moyen d'appuyer la spatialisation de la vulnérabilité sociale dans la zone inondable.

La méthode de travail repose sur l'exploitation de MNT, de couches vectorielles et de fond Raster (5 m résolution). Ces données de différents types permettent de simuler une crue historique en tenant compte de la dimension verticale (Fig. 8.22).

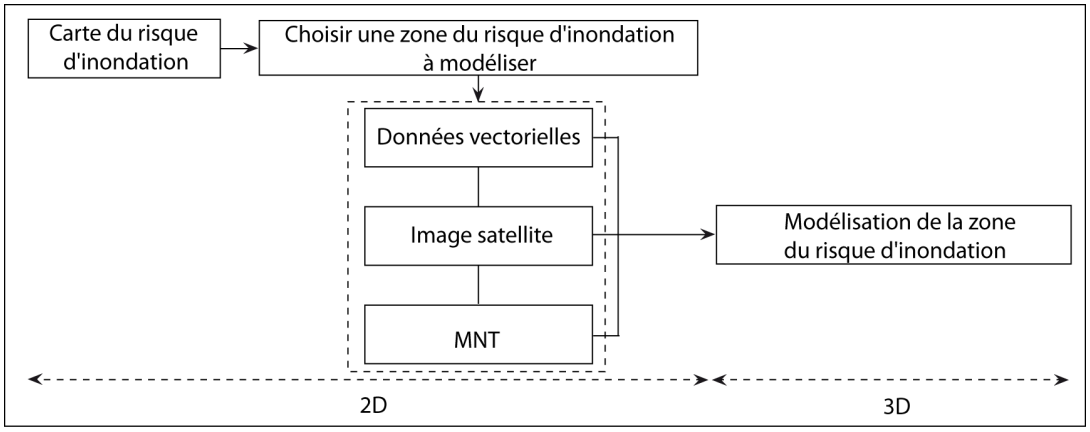


Figure 8.22. Schématisation de la modélisation de la zone inondable (Ngo, 2013)

+ **1ère étape** : choisir une zone inondable de référence (ou zone-test) :

Grâce à notre carte du risque d'inondation dans le delta, nous pouvons sélectionner une zone pour tester la méthode 3D. Cette zone est située au nord-ouest du delta, d'une superficie d'environ 0,27 km^2, occupée par 307 bâtiments, habitée par 1084 personnes (Recensement 2012) et située en zone de risque élevé (Fig. 8.23). En effet, lors de la crue historique de novembre 2009, plusieurs maisons ont été inondées à un niveau supérieur à 2 m.

D'un point de vue purement technique, en sachant que la méthode est adaptable sous n'importe quelle édition logicielle, nous utilisons les modules *ArcScene*© (*ArcGis*©) et *Sketchup*© (*Google*©).

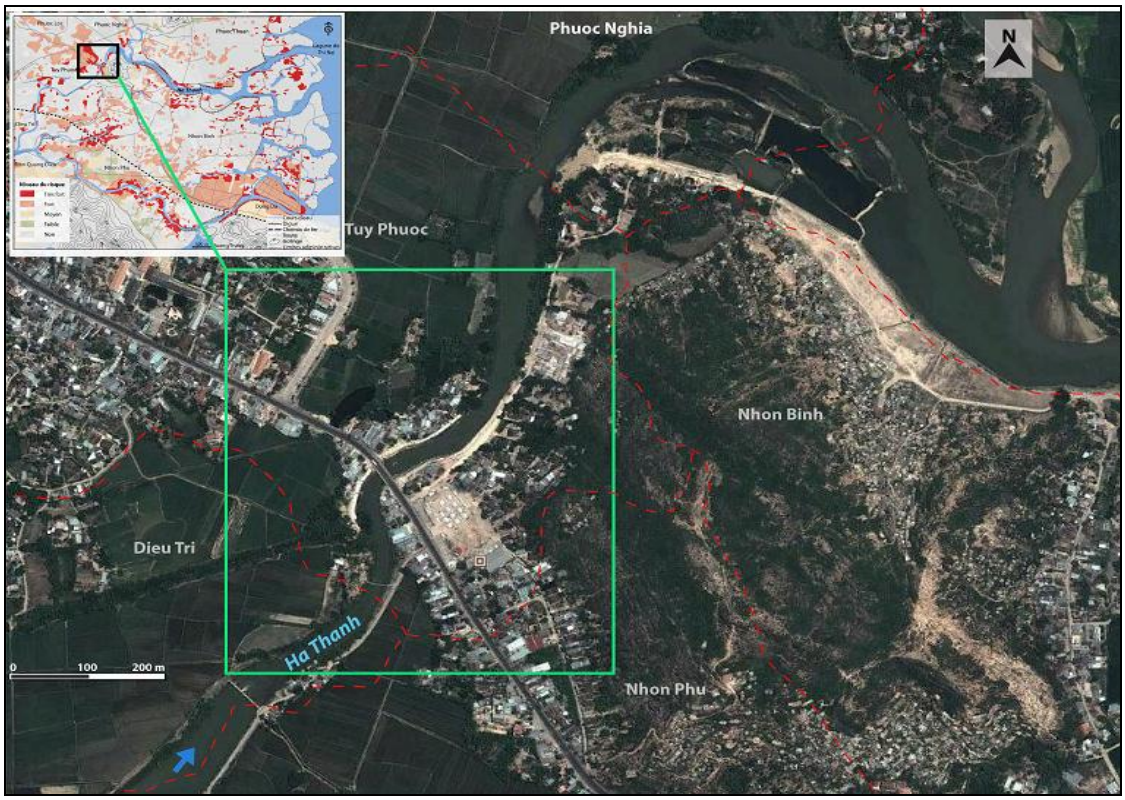


Figure 8.23. Caractéristiques de la zone sélectionnée

(Source : Image Google Earth, 2011. Réalisation. Ngo, 2013)

+ **2ème étape** : préparer les données disponibles en 2D. Avant de recourir à la représentation 3D des objets nous devons disposés de leur géométrie initiale en 2D (Rau et Cheng, 2013). Pour ce faire nous préparons les jeux de données suivants (Fig. 8.24) :

- un raster 2011 de type satellital provenant d'un fond *Google Earth*© de 5 m de résolution. Cette image a été géoréférencée et recalée suivant plusieurs dalles sous le SIG ;

- des données vectorielles issues de la digitalisation des bâtiments et des objets divers identifiés sur le fond raster 2011. Les tables attributaires des polygones « Bâtiments » ont été remplies pour les champs « Nombre de niveaux » et « Nombre de personnes » à partir des observations de terrain (Annexe 14). Identifier précisément sur le terrain le nombre d'étages par bâtiment permet d'extruder les polygones en entrée dans la 3D des objets ;

- un modèle numérique de terrain (5 m de résolution). Ce MNT permet de représenter la topographie. Le drapage du fond Raster est également possible mais compte tenu du faible gradient altitudinal de la plaine cette phase n'apporterait pas d'information probante. Le MNT s'avère des plus utiles pour lancer les tâches géomatiques dans la relation hauteur de la crue et hauteur des bâtiments.

Figure 8.24. Vecteurs, Raster et MNT de la zone-test (Ngo, 2013)

+ 3ème étape **: intégration de la 3D dans le SIG**

Sous le SIG, à l'aide d'un module d'édition 3D comme *ArcScene*©, les bâtiments ont été extrudés des couches 2D. L'extrusion des objets est complétée par la création des toitures formant au final un modèle de bâtiment démultipliable sous *Sketchup*© (voir les étapes du processus dans l'annexe 15). « Le modèle *Sketchup*© est ensuite décomposé en composants pour être intégré dans *ArcScene*© » (Koehl *et al.*, 2008, p.14). Les objets « Bâtiments » ainsi créés sont intégrables dans une carte innovante dite 3D (Fig. 8.25).

Figure 8.25. Exemple d'une modélisation 3D du bâti de la zone inondable (Ngo, 2013)

La zone-test comporte ainsi quatre types de bâtiments :

- rez-de-chaussée avec toit (79 maisons soit 26 %) ;
- rez-de-chaussée sans toit (151 maisons soit 50%) ;
- 1 étage (72 maisons 23%) ;
- 2 étages (5 maisons soit 1%).

Pour enrichir le modèle, il faut disposer d'informations sur la solidité du bâtiment et le type de matériau. Ces critères sont pertinents pour évaluer le niveau de vulnérabilité du bâti face aux vents forts, aux crues et aux surcôtes marines qui accompagnent les typhons. On peut utiliser la méthode de Pouget et Mayaguezz (2009) (voir la partie 3.2.4 dans le chapitre 3, p.130) et les données collectées sur le terrain en 2011 et en 2012 (Fig. 8.26).

Cette zone-test comporte trois types de bâtiments (habitation légère, habitation solide et halle de sport). Les caractéristiques de ces bâtiments sont détaillées dans la figure 8.26. Représentant 25,7 % des bâtiments, les habitations légères « abritent » 293 personnes. 73,9 % des bâtiments sont des habitations solides et regroupent 791 habitants. La halle des sports ne compte aucun résident (Tab. 8.2). Le recensement des personnes est un élément de connaissance essentiel pour optimiser la gestion du risque d'inondation et faciliter les opérations de sauvetage, d'évacuation et d'assistance aux populations.

Usage bâtiment	Vue photographie aérienne	Caractéristique de la photographie aérienne	Vue terrain	Caractérisation du bâtiment
Bâti commercial		Géométrie en plan simple (rectangle, toiture diverses, grande dimension)		Hauteur : rez-de chaussée Type de matériaux : solide (en béton renforcée) Type : Bâti collectif, façade en bon état.
Habitation solide		Géométrie en plan simple (rectangle ou carrée), toiture plane rouillée et plus souvent de couleur uniforme grise, blanc ou rouge, dimension moyenne		Hauteur : rez-de -chaussée à 2 étages Type de matériaux : solide (en béton renforcée) Type : bâti individuel ou continue, façade en bon état, maçonnerie de brique.
Habitation légère		Géométrie en plan simple (rectangle ou carrée, toiture rouillée, petite dimension)		Hauteur : rez-de-chaussée Légère (matériaux relativement fragiles) Type: bâti individuel ou continue, remplissage de bois ou briques ou en béton renforcée.

Figure 8.26. Identification des bâtiments de la zone d'étude
(Photographie et réalisation : Ngo et Phan, 2013)

Tableau 8.2. Caractérisation du bâti dans la zone-test (Ngo, 2013)

Usage bâtiment	Nombre de maisons	Part des maisons (en %)	Nombre de personnes	Part de la population de la zone-test (en %)
Habitation légère	79	25,7	293	27
Habitation solide	227	73,9	791	73
Halle de sport	1	0,33	-	-
Total	**307**	**100**	**1084**	**100**

8.2. Applicabilités de la modélisation 3D en zone inondable

La carte 3D du risque d'inondation permet de visualiser facilement quelles maisons se situent en zone exposée aux risques et permet de répondre à d'autres objectifs comme aider les autorités en identifiant des inégalités spatiales et les habitats à forts risques, comme dresser une zone des degrés de vulnérabilité du bâti dans une zone inondée.

La carte des risques a été établie dans l'étape précédente (spatialisation de l'inondation dans le delta) et complétée par les laisses de crue mesurées dans les habitations (Fig. 8.27).

On peut utiliser le SIG pour intégrer les niveaux d'eau atteints pendant la crue historique. Puis, l'implémentation de toutes ces données conduit à une simulation 3D de l'inondation dans la zone-test (Fig. 8.28).

Figure 8.27. Exemple de mesure des hauteurs atteintes lors de la crue historique de novembre 2009 (Photographie : Grivel, 2012. Réalisation : Ngo, 2013)

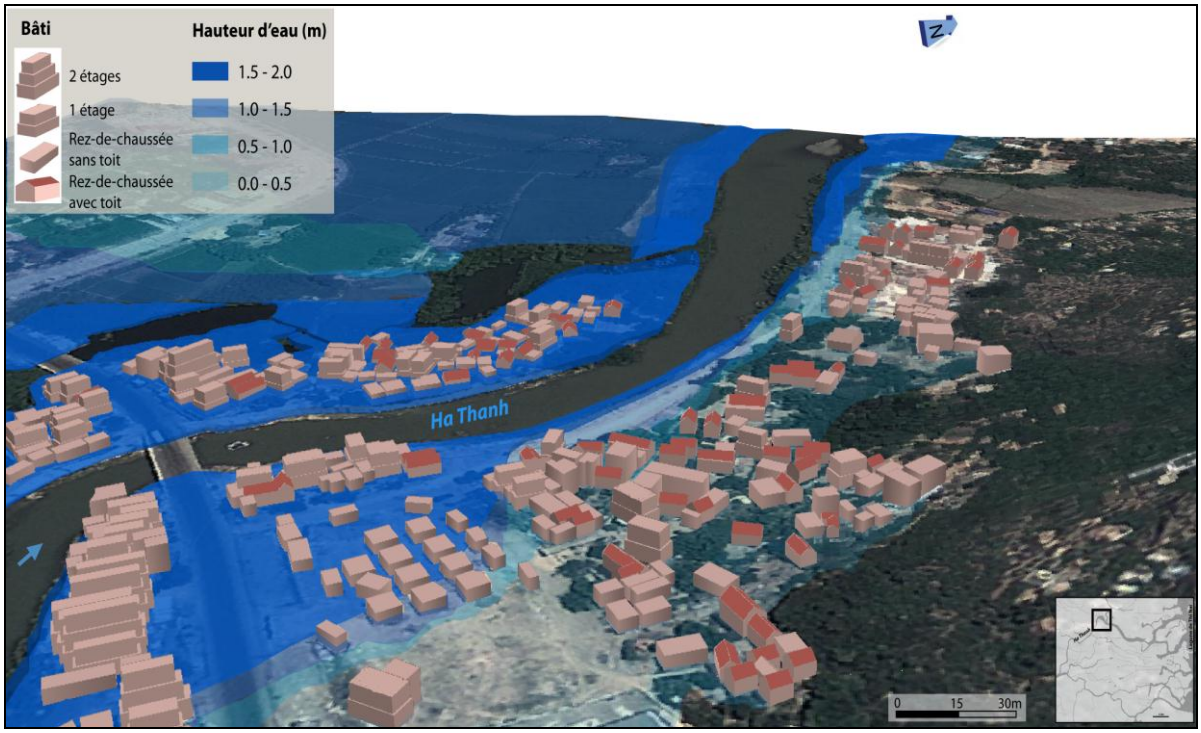


Figure 8.28. Cartographie 3D de l'évaluation du risque inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

Les maisons inondées de plus de 1 mètre d'eau se situent principalement à proximité du fleuve Ha Thanh où elles sont certainement affectées par les écoulements rapides (Fig. 8.28). La colline qui situe au nord-est de la zone (de 300 à 500 mètres de la rive droite du fleuve Ha Thanh) peut servir de zone-refuge pendant une crue. Ceci est très important pour des personnes habitant dans les maisons situées en zone inondable avec ou sans toit (rez-de-chaussée), notamment des habitations légères (remplissage de bois ou briques).

8.2.1. Critères de dangerosité du bâti

La carte 3D SIG peut appuyer les autorités pour établir un plan d'évacuation des personnes pendant la crue et la décrue. Cela est très important pour des familles vivant dans des maisons « vulnérables» (c'est-à-dire que les maisons de plein pied sans étage ou construites avec des matériaux relativement fragiles et des maisons « trop vulnérables » ayant les mêmes caractéristiques et situées de surcroît en zone de forte vélocité (Fig. 8.26 & 8.29).

Figure 8.29. Exemple de maisons « vulnérables » et « trop vulnérables » dans la zone-test (Photographie : Phan, 2012)

Grâce au SIG et au terrain de 2012, on estime que certaines personnes peuvent se réfugier sur leur terrasse mais d'autres doivent être évacuées en priorité. Pour 49 % des maisons les habitants peuvent se réfugier sur la terrasse pendant la crue et la décrue. Pour 25 % des maisons les habitants peuvent se réfugier dans les étages des maisons solides et peuvent s'accommoder de vivre pendant la crue. 23 % des maisons sont dites « vulnérables » et 2 % de maisons « très vulnérables » (Tab. 8.3) (Annexe 16).

Tableau 8.3. Estimation des maisons « vulnérables » et du nombre de personnes résidant en zone à risque d'inondation (Ngo, 2013)

	Nombre de maisons	**Part (en %)**	**Nombre de personnes**	**Part (en %)**
Maisons « trop vulnérables »	7	2	27	2
Maisons « vulnérables »	72	23	248	23
Maisons avec toit en terrasse	151	49	512	47
Maisons solides avec étage	77	25	297	27
Total	**307**	**100**	**1084**	**100**

Par conséquent, si une grande inondation se produit dans cette zone, les autorités auront un plan pour l'évacuation de 25 % de personnes les plus vulnérables au risque d'inondation.

8.2.2. Exposition du bâti et de la population à l'aléa inondation

Pour cette zone-test, nous estimons que 293 maisons inondées en 2009 exposent environ 1037 personnes au risque d'inondation. Ces maisons se situent à proximité immédiate du fleuve Ha Thanh (Fig. 8.28). Dans le même secteur, seulement 9 maisons ont été épargnées, soit près de 47 personnes. Près de la moitié des maisons ont connu des niveaux d'eau de 1,5 à 2 mètres (519 personnes) (Tab. 8.4) (Annexe 16).

Tableau 8.4. Caractérisation des enjeux exposés en zone-test (Ngp, 2013)

Hauteur d'eau	**Nombre de maisons inondées**	**Part des maisons inondées (en %)**	**Nombre de personnes**	**Part de la population de la zone-test (en %)**
1,5-2 m	146	49,8	519	50,0
1-1,5 m	21	7,2	69	6,7
0,5-1 m	21	7,2	72	6,9
< 0,5 m	105	35,8	377	36,4
Total	**293**	**100**	**1037**	**100**

Au Viêt-Nam en général et dans le delta du fleuve Ha Thanh en particulier, on considère deux types de bâtiment (toiture et terrasse). L'analyse des caractéristiques du bâti (avec ou sans toit) permet de dresser une typologie du bâtiment et de la population exposée à l'aléa inondation grâce à la carte 3D d'inondation. Grâce au terrain en 2012, on a vu que le type de bâtiment avec toiture est plus vulnérable. Cependant, il existe des bâtiments de plus de 1 étage avec toiture qui ne sont pas aussi vulnérables dans cette zone. Mais, au Viêt-Nam, et la plaine deltaïque du fleuve Ha Thanh en particulier, il y a beaucoup de bâtiments vulnérables (sans étage, avec toiture, construits dans des matériaux relativement fragiles) en zone inondable.

Nous réalisons une typologie de la vulnérabilité du bâti dans la zone inondée comprise entre 1,5 et 2 m (Fig. 8.30 & 8.31) :

- le type 1 correspond à un habitat collectif de plus de 2 étages (habitation solide). La surface du rez-de-chaussée serait inondée et les occupants obligés de monter aux étages supérieurs;

- le type 2 correspond à une maison à 1 étage (habitation solide), le rez-de-chaussée serait submergé. L'habitant peut se réfugier à l'étage;

- le type 3 présente un habitat de rez-de-chaussée avec toit en terrasse, mais sans étage (habitation solide). La totalité de la maison serait submergée. L'habitant peut encore se réfugier sur la terrasse pendant l'événement inondation;

- le type 4 correspond à un habitat sans étage avec toiture (habitation légère). La totalité de la maison serait submergée, ce type d'habitat est très exposé pendant l'événement d'inondation.

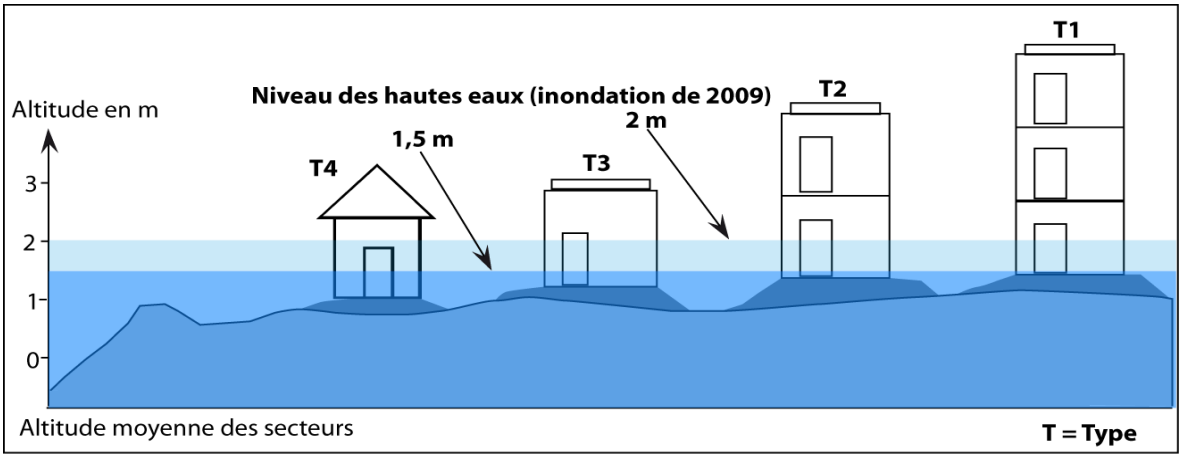


Figure 8.30. Typologie de la vulnérabilité du bâti dans la zone inondée du delta du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

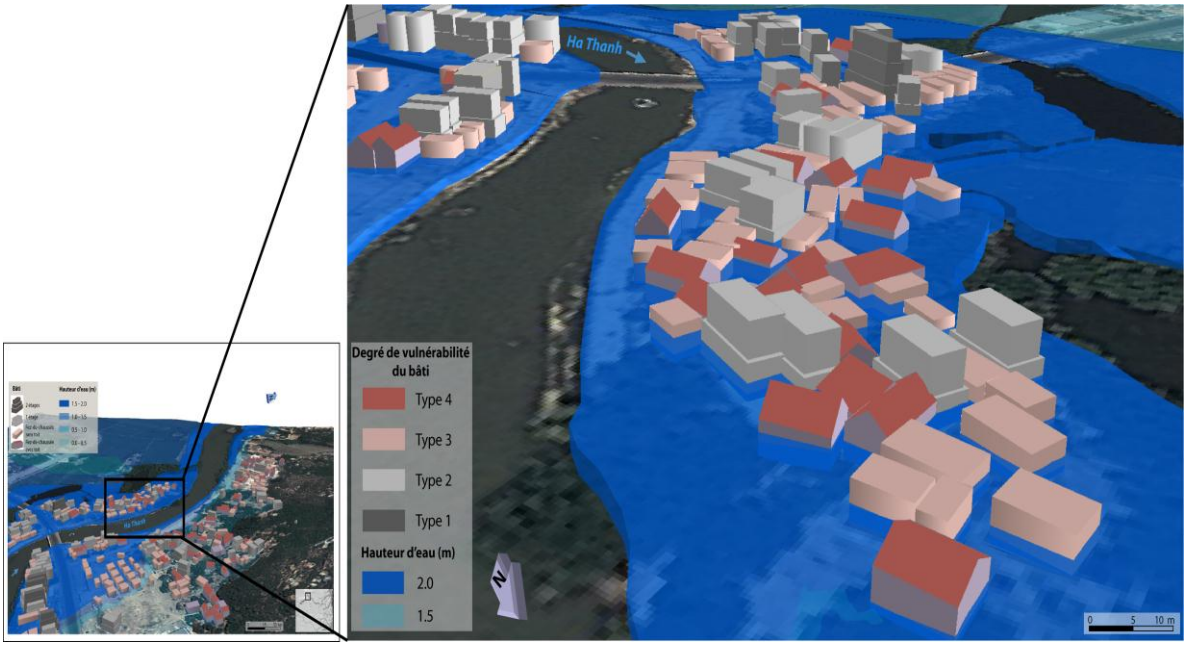


Figure 8.31. Représentation 3D de la typologie de la vulnérabilité dans la zone-test inondable (Ngo, 2013)

Tableau 8.5. Répartition du nombre de bâtiments et d'habitants par type de vulnérabilité (Ngo, 2013)

Degré de vulnérabilité du bâti	Nombre de maisons	Part en %	Nombre d'habitants	Part en (%)
Type 4	27	16,2	93	16,3
Type 3	92	55,1	307	53,8
Type 2	43	25,7	165	28,9
Type 1	5	3,0	6	1,1
Total	**167**	**100**	**571**	**100**

On observe que le type 3 est le plus représenté dans la zone-test, avec plus de la moitié des effectifs (Tab. 8.5).

Grâce aux bases du SIG en 3D, nous pouvons explorer l'étude et l'analyse spatiale de la crue de novembre 2009 pour montrer les éléments de vulnérabilités dans la plaine deltaïque.

8.3. Interprétation des résultats

8.3.1. Intérêt de l'évaluation environnementale et de la recherche intégrée

Tous les aspects de l'environnement non-vivant (géologique, hydrologique, climatique, etc.), biologique (écosystème) et anthropique (économique, social et, politique) sont concernés par l'évaluation environnementale. Ces facteurs ont été intégrés et évalués dans le contexte de la pression anthropique sur l'environnement deltaïque. Grâce à l'évaluation environnementale et aux méthodes géomatiques, les facteurs sont organisés dans des bases de données intégrées au sein d'un SIG en vue de leur mobilisation.

+ L'évaluation environnementale et la géomatique nous ont permis de créer une base de données hydrogéomorphologiques du bassin et du delta, ce qui n'existait pas avant cette thèse. Cela permet de mieux identifier la configuration morphologique et la vulnérabilité du cadre des écoulements fluviaux. Il est important de comprendre comment le territoire peut être exposé aux risques hydrologiques en se servant d'un évènement hydrométéorologique récent (novembre 2009).

+ L'évaluation environnementale permet d'analyser les effets d'un mode de gestion sur l'environnement (aménagements, urbanismes, projet) et de prévenir ses conséquences dommageables en terme de risque d'inondation. Cette évaluation permet aussi de détecter les modifications anthropogéniques et d'estimer les mutations à venir du territoire deltaïque.

Pour notre étude, nous avons identifié et analysé les enjeux environnementaux associés au développement régional (schéma directeur de développement régional, nouveau projet urbain) et au développement économique (zones industrielles, port, infrastructures de transport terrestre).

Les principaux enjeux environnementaux identifiés dans le bassin versant sont les suivants :

- à l'amont : la déforestation, l'extraction de sable dans le lit du fleuve Ha Thanh ;

- au milieu : l'extraction de sable dans le lit du fleuve, l'exploitation minière des versants des collines et le développement des zones industrielles dans le lit majeur ;

- à l'aval : l'extraction de sable dans le lit du fleuve, les nouveaux projets urbains, industriels et le développement des infrastructures dans le delta sans tenir compte des caractéristiques physiques du milieu deltaïque. Cela peut avoir de graves effets sur la biodiversité, la végétation et la faune se situant dans les différents lits du fleuve : changement d'occupation des sols, modification des habitats aquatiques, disparition des zones humides.

L'urbanisation accroît la vulnérabilité au risque d'inondation (Zaninetti et Colten, 2012). Selon notre enquête, l'inondation de novembre 2009 inaugure un nouveau type de risque émergent dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh sous l'effet de l'urbanisation du delta. Jusqu'à la fin du XX^{ème} siècle, les inondations s'écoulaient naturellement des hautes terres à la mer, du haut bassin à la plaine deltaïque. La crue submergeait les rizières et les mangroves avant de déverser son excès d'eau dans la lagune de Thi Nai (Fig. 8.32a). Entre 2000-2009, la ville de Quy Nhon a commencé à s'étendre suivant un axe perpendiculaire au delta. Celui-ci a commencé à se couvrir de constructions industrielles (fabrication et commerce de l'alimentation animale pour le bétail, volaille et fruits de mer) (Comités populaires de la province de Binh Dinh, 2012), d'infrastructures (route de Quy Nhon-Nhon Hoi, voir la figure 5.15 du chapitre 5, p.201) et d'autres constructions diverses au milieu du delta. L'artificialisation des surfaces fait obstacle à l'écoulement de la crue (Fig. 8.32b). Durant l'évènement de novembre 2009, le retrait des eaux de crue n'a été complet qu'au bout de 12 jours (Annexe 17).

De tels évènements hydrologiques compliquent les déplacements et les moyens de survivre dans la plaine d'inondation. La durée de la crue s'allonge et la décrue est plus lente. Les perspectives sont encore compliquées par le nouveau projet urbain dont la construction a commencé depuis 2010. Des bâtiments seront construits à l'aval du delta à l'horizon 2020. Ce fait urbain compliquera la gestion de crise lorsqu'il faudra concevoir un plan d'évacuation des populations directement vulnérables vis à vis de l'inondation (Fig. 8.32c). L'ampleur des dommages pourrait être plus importante qu'en 2009.

+ Notre enquête de terrain a permis de contribuer à l'appréciation des conséquences dommageables (économique et humaine) et des enjeux actuels face au risque d'inondation. Il est ressorti que les plans d'évacuation et de secours ont manqué de scénarios appropriés à l'ampleur et à l'étendue des inondations. Aucun dispositif de secours n'a été activé pendant la nuit au plus fort de la montée des eaux (2 et 3 novembre 2009).

De plus, il n'existait pas encore de cartographies d'aléa et de risque d'inondation pour le delta, ni de système de prévision des inondations. Les capacités de secours et de sauvetage en temps opportun sont encore insuffisantes. Si la prévision de l'arrivée du Typhon Mirinae a été satisfaisante, l'ampleur de l'inondation dans la province n'a pas été anticipée. Le système de gestion des risques naturels est donc encore embryonnaire.

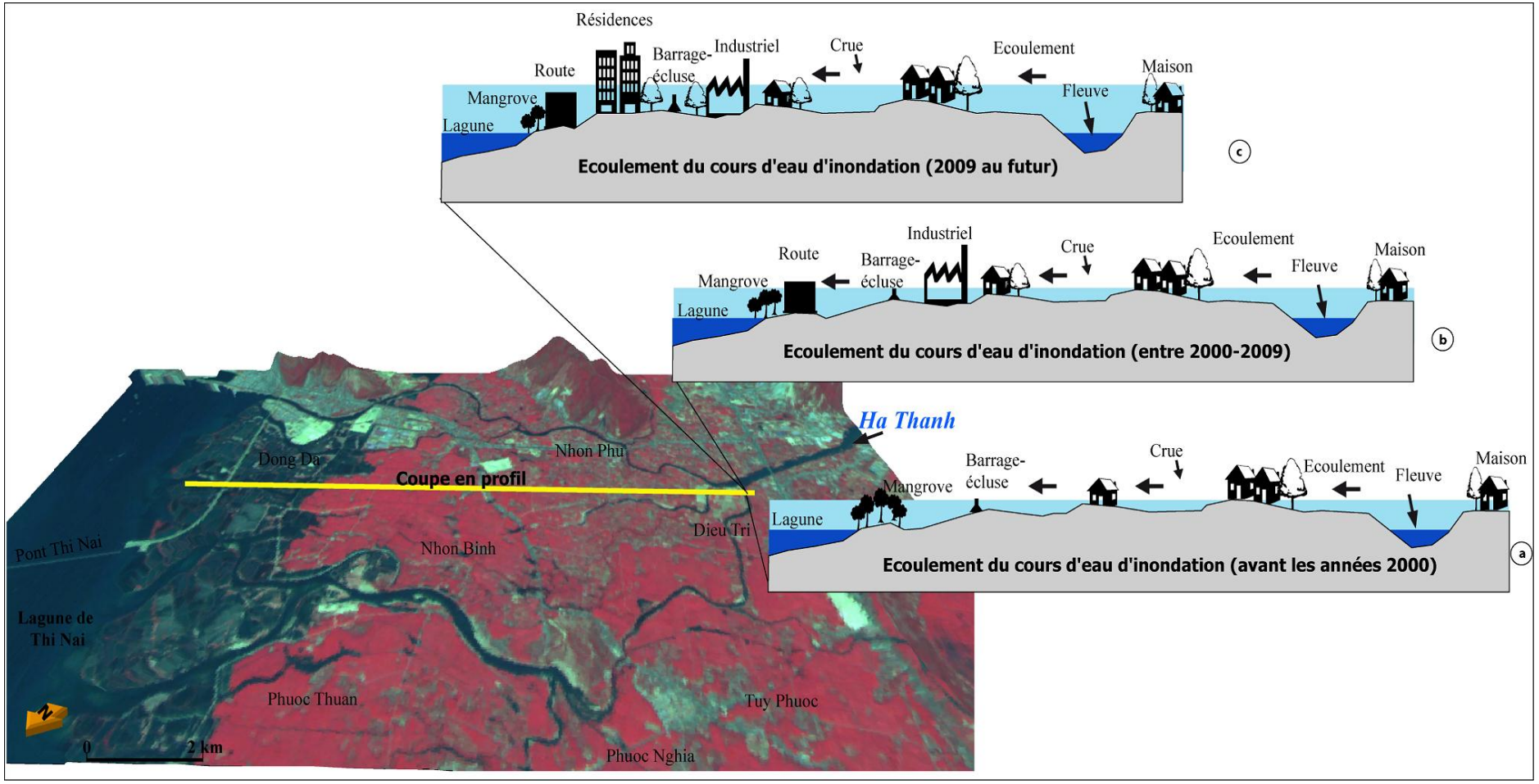


Figure 8.32. Evolution des conditions d'écoulement dans le delta du fleuve Ha Thanh

(Sources : SPOT 4, 2009 ; Aster GDEM 30 m. Réalisation : Ngo, 2013)

A l'horizon 2020, les autorités devront accompagner le projet urbain localisé dans le delta en programmant des mesures de protection structurelle et non structurelle, car il s'agit actuellement d'une zone de risque moyen à élevé. Elles devront aussi envisager de protéger les mangroves pour protéger l'espace intertidal.

De plus, la modélisation 3D des bâtiments et du relief de la zone inondable constitue un support pertinent de l'analyse spatiale. La carte 3D, générée sous un SIG, est un outil couramment utilisé pour l'identification précise des inégalités spatiales face à l'exposition au risque d'inondation.

8.3.2. Propositions de modes de gestion et d'accompagnement de la planification urbaine face aux enjeux environnementaux

+ Au niveau national : il existe un plan de gestion du risque d'inondation depuis 2001. Ce plan a été lancé le 16 novembre 2007 (172/2007/QĐ-TTg [(74)]) par le Premier ministre pour le Projet de Plan d'Action et de Stratégie de Préparation et d'Atténuation pour les Catastrophes (PPASPAC) à l'horizon 2020 au gouvernement du Viêt-Nam. Ce projet fixe neuf objectifs à atteindre :

- amélioration du cadre réglementaire (lois et actions politiques) : création de la loi de lutte et d'atténuation des catastrophes; s'assurer que les exigences de prévention et d'atténuation des catastrophes accompagnent les processus de planification économique et sociale;

- renforcement du système de gestion (formation du personnel spécialisé, soutien aux organisations d'aide à la gestion des catastrophes,…);

- socialisation et développement des ressources humaines : coopération des communautés pendant les événements catastrophiques; formation des populations à la gestion des risques catastrophiques;

- financement de projets;

- renforcement des connaissances et des capacités d'action des communautés face aux risques naturels;

- développement de la science et de la technologie pour appliquer les résultats dans le but d'atténuer les conséquences des évènements naturels et de mieux gérer les catastrophes;

- construire, renforcer et mettre à niveau les digues et les barrages;

- renforcer les capacités de sauvetage et de recherche des victimes;

[74] http://thuvienphapluat.vn/archive/Quyet-dinh-172-2007-QD-TTg-phe-duyet-Chien-luoc-quoc-gia-phong-chong-giam-nhe-thien-tai-den-nam-2020-vb58716.aspx

- programme de coopération et d'intégration internationale.

(Source : Luong, 2012 ; http://www.moj.gov.vn, consulté le 23 août 2013).

Les objectifs de ce plan sont importants et définissent clairement la politique de réduction des impacts des catastrophes naturelles. Cependant, il manque un objectif d'évaluation environnementale stratégique. Les changements environnementaux d'origine anthropique sont des facteurs d'aggravation de la vulnérabilité des populations vis à vis du risque d'inondation. La vulnérabilité croissante dépend particulièrement des transformations environnementales, démographiques et économiques (Sarewitz et Pielke, 2001). Cet aspect est encore mal intégré, voire même ignoré, dans les politiques d'action.

Le Viêt-Nam est un pays en développement économique rapide (Cling *et al.*, 2012), de nombreux projets et programmes pour le développement économique et urbain sont localisés en zones inondables (Mottet et Roche, 2008; Croteau et Labrecque, 2011). Il n'existe pas beaucoup d'évaluation environnementale sur ces projets et programmes. Notre travail propose des méthodes et des moyens pour y parvenir et mieux intégrer cette dimension dans l'étude des risques naturels. Les programmes de développement devraient en tenir compte et se fonder sur des approches similaires pour mieux anticiper les changements environnementaux naturels déjà programmés (MRNE, 2009; Luong, 2009; Tran, 2012).

+ Au niveau provincial : la gestion du risque d'inondation et des typhons au niveau de l'administration provinciale est régie par le décret 08/2006/NĐ-CP [(75)] du 26 janvier 2006 édicté par le Premier ministre Phan Van Khai. Selon ce décret, la gestion des risques naturels est divisée en 3 unités territoriales ou regroupements des provinces vietnamiennes : au nord (de la province de Quang Ninh à celle de Ninh Binh), au centre (de la province de Thanh Hoa à celle de Binh Thuan) et au sud (de la province de Ba Ria Vung Tau à celle de Ca Mau). Pour chaque ensemble territorial, un Comité provincial de contrôle des inondations et des tempêtes (PCFSC) se charge d'appliquer les politiques nationales. C'est en somme une forme de schéma directeur territorial.

Les responsabilités, les actions principales et les rôles établis du PCFSC sont les suivants :

- promulgation et organisation de la mise en œuvre des documents juridiques pour la lutte contre les inondations et les typhons;

- mitigation des conséquences aux niveaux provincial et local;

[75] http://thuvienphapluat.vn/archive/Nghi-dinh-08-2006-ND-CP-huong-dan-Phap-lenh-Phong-chong-lut-bao-da-duoc-sua-doi-vb8661.aspx

- conduite et réalisation des plans et des projets de prévention des inondations et des typhons, et le traitement de l'information liée aux inondations et aux typhons;

- protection des digues et des réservoirs dans chaque province;

- avant la saison des inondations et des typhons, consolidation et renforcement de l'organisation du Comité de contrôle des inondations et des typhons au niveau provincial, au niveau des districts et au niveau des villages, ainsi que coopération entre les bureaux concernés;

- attribution des responsabilités et décentralisation du contrôle des inondations et des typhons au niveau du district et du village;

- organisation d'études et application de la science et de la technologie dans la lutte contre les inondations et les typhons;

- diffusion des connaissances;

- inspection et examen du respect de la loi dans la lutte contre les inondations et les typhons. (Source : Luong, 2012 ; http://www.moj.gov.vn, consulté le 2 septembre 2013).

Ce décret est indiscutablement utile pour réduire le risque naturel (inondation, typhon) au niveau provincial. Pourtant, il est dépourvu d'un objectif d'intégration du risque d'inondation dans les projets d'aménagement et de développement économique du territoire deltaïque. Il serait pourtant préférable d'éviter de multiplier les enjeux localisés en zone inondable. Il semble que l'Etat mette l'accent sur la lutte contre les inondations et les typhons qui sont des facteurs naturels. Mais il a oublié de prêter attention aux enjeux environnementaux d'origine anthropique dans le plan de lutte contre les inondations et les typhons.

- **Pour la province de Binh Dinh :** la gestion du risque d'inondation et des conséquences du passage des typhons dans la province est sous la responsabilité du Comité pour le contrôle des inondations, des tempêtes, des recherches et des sauvetages.

Pour réduire le risque d'inondation dans la province, nos propositions de modes de gestion sont les suivantes (Fig. 8.33) :

Phase de prévention :

- Améliorer la cartographie du risque d'inondation à l'image de celle réalisée à l'échelle de la province par Nguyen et al. (2009). Il n'existe pas encore de cartographie du risque d'inondation, de plan de prévention et de plan de secours en zone exposée au risque d'inondation. Cette carte peut être mise à la disposition du public, par exemple via un portail Webmaping.

- Améliorer les conditions d'écoulement à l'amont du bassin : par reboisements des versants, par réduction des activités d'extraction de sable dans le lit du fleuve. Pour l'aval, limiter les aménagements au milieu du delta.

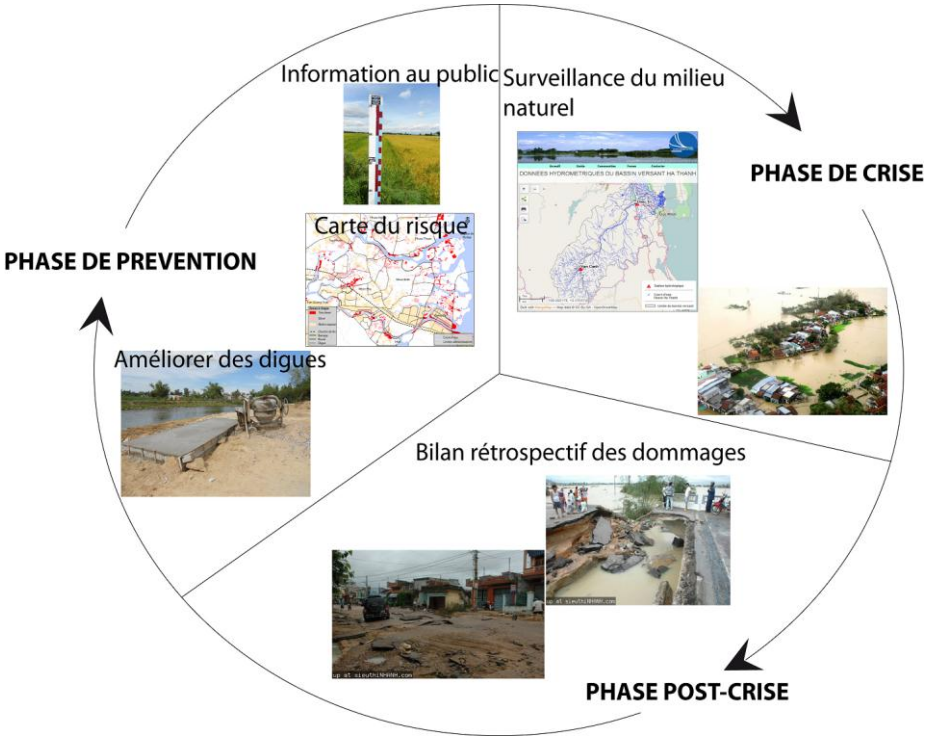


Figure 8.33. Phases de gestion du risque d'inondation dans la province de Binh Dinh (Ngo, 2013)

- Réhabilitation des zones d'expansion des crues, notamment du territoire deltaïque. Une stricte limitation de l'urbanisation dans des zones inondables est souhaitable. Il convient d'élaborer une préparation à la gestion de crise, des plans d'action et de secours pour l'urbanisation déjà existante en zone inondable comme le projet « An Phu Thinh ».

- Réflêchir à une meilleure optimisation du système d'endiguement en se servant des expériences d'autres bassins versants au Viêt-Nam (programme FLOCODS) et à l'international.

- Améliorer la prévention et l'information auprès des populations exposées tout particulièrement pour les nouveaux habitants des quartiers récemment construit ou en construction. Ces personnes ignorent en effet le fonctionnement du delta et les capacités du fleuve Ha Thanh à déborder. L'installation de néo-urbains n'ayant pas connu la crue historique de 2009 est un facteur d'aggravation du risque d'inondation.

- On sait que le Viêt-Nam en général et la province de Binh Dinh en particulier, ont un réseau hydrologique dense et étendu (au nord avec le delta du fleuve Rouge, au centre avec les deltas de fleuves côtiers et au sud avec le delta du Mékong). Chaque année, les

inondations représentent le risque naturel le plus répandu au Viêt-Nam (Luu *et al.*, 2010; Ho et Umitsu, 2011).

Grâce à l'évaluation environnementale et à la recherche intégrée, nous pouvons utiliser les données hydrologiques sur les cours d'eau comme le fleuve Ha Thanh pour gérer une banque hydrologique via un portail Web (Castrogiovannia *et al.*, 2005; Malavoi et Bravard, 2010). Cela permettrait aux utilisateurs (autorités, gestionnaires, chercheurs) d'accéder aux informations utiles pour évaluer les risques auxquels certains les territoires fluviatiles sont exposés. Un tel outil Web SIG assurerait les informations nécessaires aux plans de prévention et d'évacuation élaborés par la sécurité civile, ce qui permettrait de participer à la réflexion sur comment améliorer les systèmes d'alerte et de prévision au bénéfice de la gestion du risque dans le delta (Fig. 8.34).

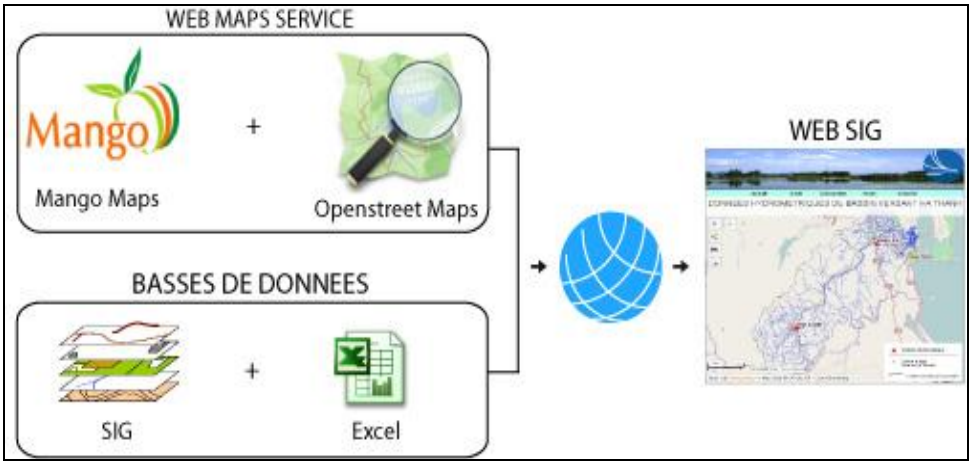


Figure 8.34. Procédures de réalisation d'un web-SIG pour le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

Dans le cadre de ce travail doctoral, de nombreuses couches thématiques ont été générées en lien avec les connaissances sur le fonctionnement hydrologique du bassin versant : régime moyen, débits moyens journaliers, écoulements mensuels, crue historique. A titre d'expérience, ces données ont été installées sur les serveurs *Mango Maps*© [(76)] (version gratuite) et *Openstreet Maps*© [(77)]. Ces outils open source sont utilisés pour la mise en place d'un réseau de serveurs cartographiques (Fig. 8.35).

[76] http://www.mangomap.com

[77] « OpenStreetMap est une carte du monde librement modifiable, faite par des gens. Les données sont libres d'être téléchargées et utilisées, sous les termes d'une licence ouverte ». (Source : http://www.openstreetmap.org/#map=15/13.7665/109.2262, consulté le 15 octobre 2013).

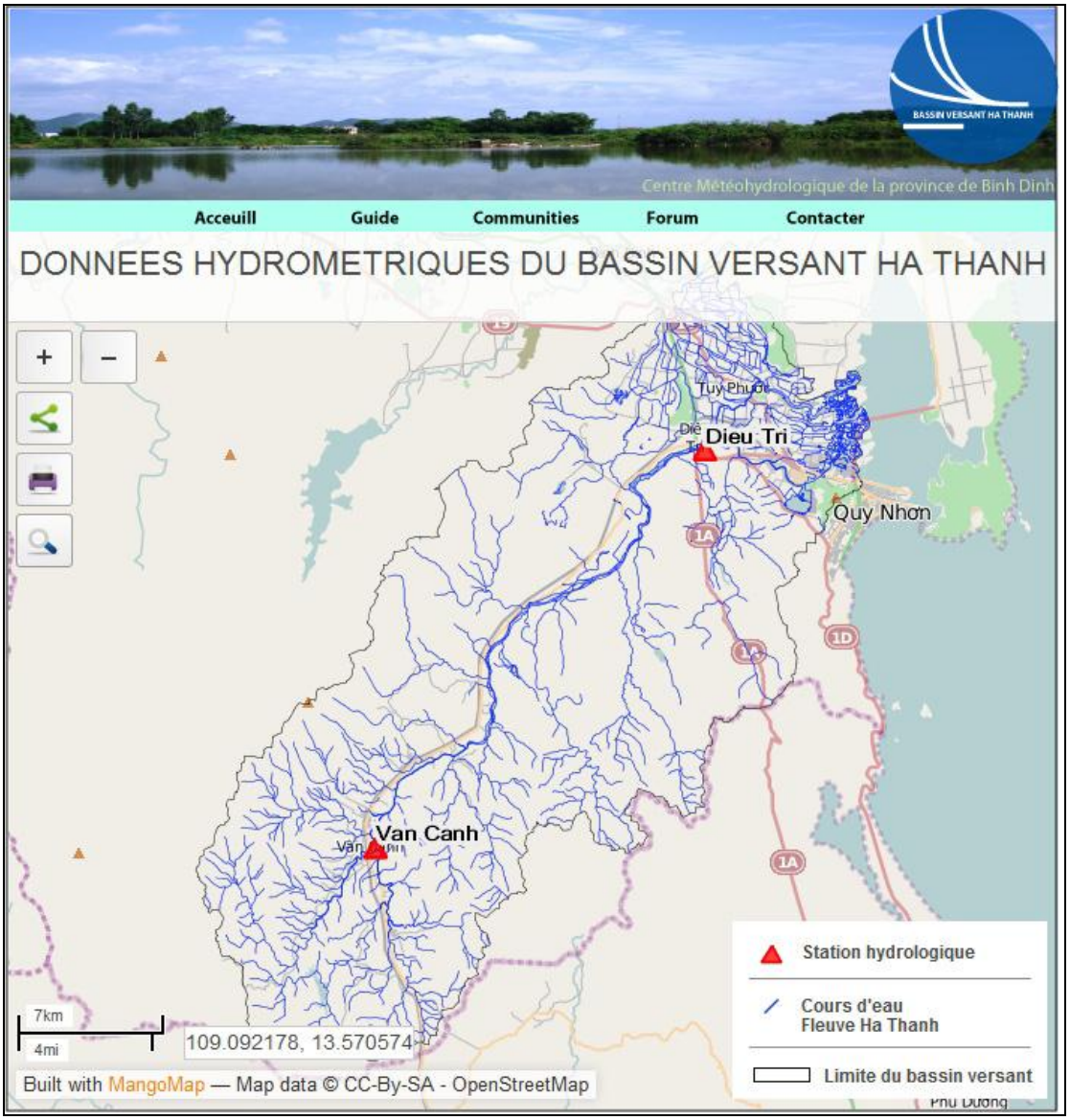


Figure 8.35. Exemple de page d'accueil du site Hydro-réel pour le bassin versant du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

La figure 8.35 montre comment pourrait se présenter l'interface de consultation des données hydrologiques, en temps réel par exemple, sur un Web-SIG. Le site serait accessible à tout public. Les informations relatives aux deux stations hydrologiques (Dieu Tri et Van Canh) pourraient être transmises en temps réel ou quasi réel. De plus, ce site permettrait aux utilisateurs de visualiser, attribuer, imprimer et partager les informations hydrologiques en termes de crue (hautes eaux), d'étiage (basses eaux), de régime moyen, de crue historique, de niveau d'eau ou de photo de crue historique (Fig. 8.36). Nous sommes ici dans la prospective et les débouchés possibles des nouvelles données issues de notre démarche géomatique.

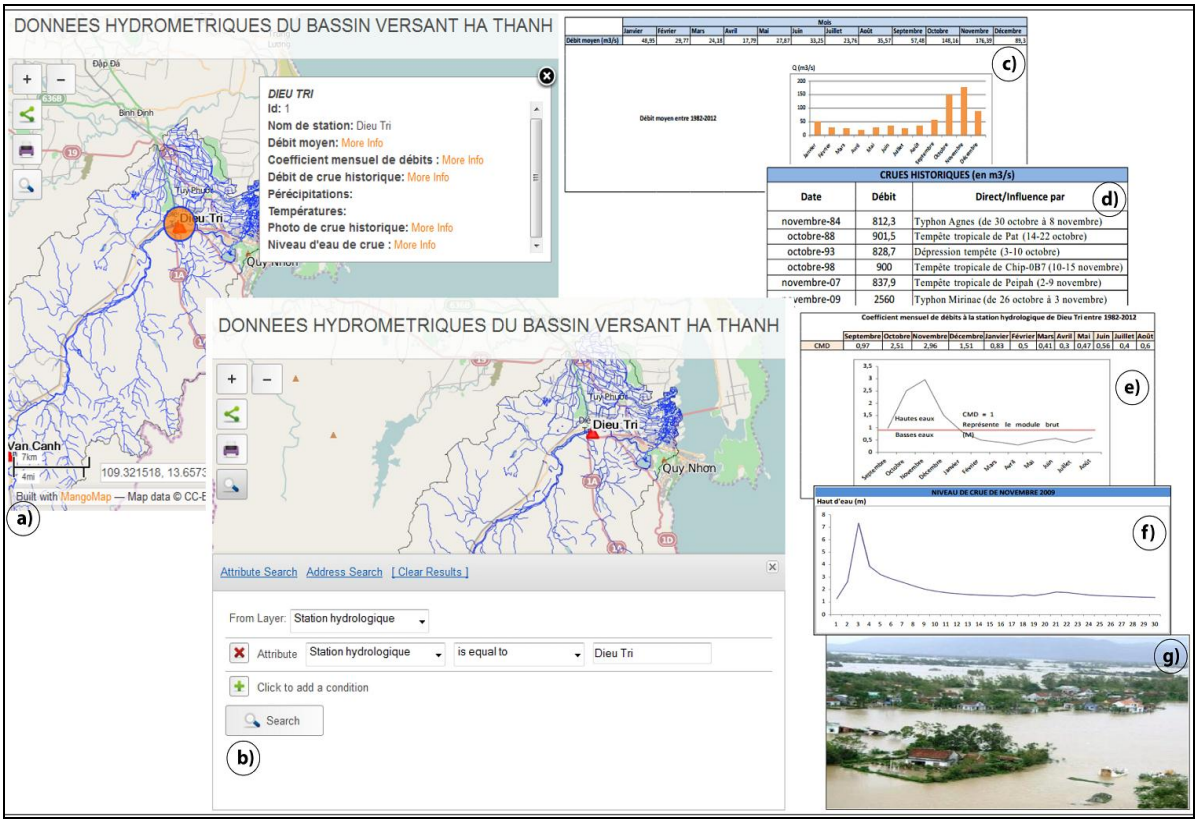


Figure 8.36. Exemple de mise en page des données disponibles à la station hydrologique de Dieu Tri (Ngo, 2013)

a) Interface de la caractérisation de la station de Dieu Tri ; b) Interface de recherche (système de requêtes) ; c) Fenêtre de résultat sur le débit moyen ; d) Fenêtre de résultat sur les débits de crue historique ; e) Fenêtre de résultat sur le coefficient mensuel de débits ; f) Fenêtre de résultat sur les niveaux d'eau de crue (novembre 2009) ; g) Fenêtre de résultat sur la photo de la crue historique (novembre 2009).

Phase de crise :

- L'amélioration de la capacité des systèmes de surveillance (surveillance météorologique et surveillance des débits en 24 heures sur 24 heures) et de prévoyance est nécessaire à court terme. Les modes d'information (alerte, radio, télévision, internet…) pour les populations situées en zone inondable sont à développer.

- Grâce la carte du risque d'inondation (2D ou 3D), les autorités dispose d'un plan pour la mobilité des personnes exposées. De plus, ils pourront améliorer l'organisation des secours et le sauvetage des victimes.

Pour bien préparer la phase de crise, la politique de la province de Binh Dinh, et le Centre Hydrométéorologique en particulier, il faudrait :

- Créer un centre d'études des bassins versants avec des spécialistes en hydrogéologie, hydromorphologie, hydrologie, hydraulique, afin d'améliorer les connaissances sur les bassins versants (Kon, Lai Giang, Ha Thanh, La Tinh). Ce centre répondrait aux objectifs nationaux et provinciaux d'identifier les aléas et les enjeux dans ces bassins versants ;

- Développer un réseau régional de données, à l'échelle du bassin. Il sera nécessaire d'installer un réseau de stations de mesures en hydrologie plus performant et mieux distribué. La province de Binh Dinh possède à ce jour 7 stations météorologiques et 6 stations d'hydrologie. Cependant, seulement 3 stations hydrologiques peuvent mesurer des débits (station de An Hoa pour le bassin versant de Lai Giang ; stations de Binh Tuong et de Thanh Hoa pour le bassin versant de Kon (Source : Centre Hydrométéorologique de la province de Binh Dinh), ce qui est insuffisant (Fig. 6.4 dans le chapitre 6, p.219).

Phase post-crise :

Après chaque inondation, un bilan rétrospectif s'impose (prévention, mesures de gestion du risque). Il paraît nécessaire de se servir des retours d'expériences pour des événements hydroclimatiques récurrents comme les inondations associées au passage annuel des typhons sur les côtes vietnamiennes (Veyret et Meschinet De Richemond, 2004; Tacnet et Burnet, 2007). Notre étude de la crue historique s'est réalisée dans cette perspective et apporte des éléments précieux pour des améliorations possiblement applicables.

* * * *

En guise de conclusion à ce chapitre, nous avons souligné de nombreux éléments d'interactions entre les projets de développement urbain et la plaine deltaïque. La mauvaise prise en compte du milieu physique dans le schéma d'aménagement de la ville de Quy Nhon entrainera de sérieux problèmes d'exposition des sociétés humaines au risque d'inondation. La modélisation 3D de la vulnérabilité du bâti et des occupants pourra être améliorée et donnera des résultats plus probants en la couplant à la simulation hydrologique poussée de la plaine deltaïque. Le champ est ici exploratoire mais ouvre des perspectives innovantes à l'utilisation future de la haute résolution des modèles.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Au moment de débuter cette thèse en 2010, nous nous étions fixé pour ambition d'effectuer une évaluation environnementale et géomatique du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh. Au terme de ce parcours, nous constatons que nous avons trouvé un certain nombre de réponses à notre questionnement initial, mais qu'un travail encore très important reste à accomplir pour réaliser tous nos objectifs.

Nous avons défini au commencement de la thèse quatre grands objectifs de recherche :

- améliorer les connaissances sur les plaines côtières du centre du Viêt-Nam, des systèmes fluviaux mal connus, à travers l'exemple du bassin du fleuve Ha Thanh;

- étudier un milieu deltaïque sensible aux changements environnementaux d'origines anthropique et naturelle;

- caractériser les vulnérabilités physiques et humaines au sein de cet environnement fluviatile soumis aux évènements extrêmes, les typhons, et à l'enchainement d'aléas hydrologiques dont l'inondation des plaines alluviales;

- mettre en œuvre l'évaluation environnementale, à l'aide de l'approche géographique et des outils de la géomatique, avec la prise en compte des facteurs humains et physiques dans une étude de cindyniques.

Cette thèse contribue en premier lieu à une meilleure connaissance de l'aléa inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh. Ce bassin versant était peu étudié jusqu'à présent. La compréhension de son régime hydrologique nécessitait une évaluation environnementale. Nous avons rassemblé nos principaux résultats dans le chapitre 4. Notre travail a permis de préciser la morphologie du fleuve et de son bassin versant, son environnement naturel et les écosystèmes du delta et les états de surface qui nous ont permis d'établir une cartographie diachronique de l'occupation du sol dans le bassin de 1976 à nos jours. Cet état des lieux a été mis en perspective afin d'apprécier les évolutions de cet environnement :

- évolution de la morphologie du fleuve;
- manipulations de son environnement par les hommes avec, en particulier, le renforcement et le durcissement des endiguements et la multiplication des prélèvements du granulat dans le lit mineur du fleuve pour les besoins des industries de construction.

Nous avons documenté la dégradation des écosystèmes du delta au fur et à mesure de la progression de l'emprise humaine et de l'urbanisation. Nous avons aussi documenté la dégradation de l'environnement du haut bassin avec la déforestation accélérée et la mise en

culture des versants des collines. Depuis la fin de la guerre de libération (1975), les transformations environnementales perceptibles du bassin versant du fleuve Ha Thanh sont le fait de l'homme. Plus insidieuses, les transformations liées au changement climatique et à la montée du niveau marin ne sont pas encore apparentes même si des rapports internationaux pointent les environnements tropicaux, les deltas en premier lieu, comme des lieux d'enregistrement du changement climatique et de ses effets.

Nous avons analysé le développement urbain de la ville de Quy Nhon dans le chapitre 5. Il s'agit du moteur principal de la métamorphose que le delta du fleuve Ha Thanh est en train de connaître. Après avoir rappelé brièvement l'historique de la ville de Quy Nhon, le développement urbain a été mis en perspective depuis la fin de la guerre de libération jusqu'à nos jours (recensement de 2009). Une analyse prospective nous permet de projeter le développement accéléré que connaît cette ville à l'horizon 2020. En raison de sa situation avantageuse pour la desserte des provinces enclavées et du développement d'une route d'accès vers le Laos, les autorités vietnamiennes ont d'ambitieux projets de développement urbain pour la ville de Quy Nhon en général et pour le delta du fleuve Ha Thanh en particulier. Le 1er Juin 2004, le Premier ministre a rendu publique la décision 98/2004/QD : un plan de développement de la ville et du port de Quy Nhon à l'horizon 2020 (chapitre 5). Il s'agit avant tout d'urbaniser les terrains qui entourent la lagune de Thi Nai en développant un complexe industriel et portuaire. La croissance urbaine se traduit par une multiplication des enjeux localisés dans la plaine d'inondation, en particulier avec le projet An-Phu-Tinh de construction d'un nouveau quartier résidentiel. Le développement urbain ne prend pas place sur un espace naturel délaissé par l'homme. L'occupation traditionnelle du delta est relativement comparable aux autres régions deltaïques du Viêt-Nam (Gilard, 2006 ; Mottet et Roche, 2008) : une forte densité de peuplement (environ 730 hab./km²), une prédominance de la riziculture et de l'irrigation, avec des systèmes de digues en terres et de rigoles contrôlant l'inondabilité des terres et l'influence de la marée. L'occupation du sol du delta est traditionnellement partagée entre deux fonctions principales, habiter et produire. Les villages traditionnels s'étirent le long des levées sur lesquelles se trouvent les routes. Les basses terres interstitielles sont consacrées à la riziculture. Les populations rurales qui vivent sur les rives du fleuve le connaissent bien, et l'exploitent quotidiennement, car le delta est aussi une zone de pêche et de pisciculture. Nous montrons dans le chapitre 5 comment le nouveau projet An-Phu-Thinh crée un conflit d'usage qui devrait se traduire par le déguerpissement des populations rurales, un prélèvement massif de sédiments pour la construction, la disparition

des mangroves, des marais salants et des bassins aquacoles de la zone tampon du delta, ainsi que l'artificialisation et la constriction des écoulements fluviaux dans des chenaux bétonnés.

Ainsi, les deux chapitres de la deuxième partie de la thèse font le point sur la pression anthropique sur le delta qui se traduit par une artificialisation du cours d'eau, la dégradation de l'environnement et la multiplication des enjeux localisés dans la plaine inondable. Le risque est anticipé par une stratégie de résistance des plus classiques qui se traduit principalement par la multiplication des endiguements. Ces changements anthropogéniques perturbent le cadre « naturel » des écoulements entre les hauts bassins et la basse vallée deltaïque.

Le chapitre 6 nous a permis d'analyser la crue de référence qui a accompagné le passage du typhon Mirinae. Nous avons fait le point sur les caractéristiques hydrogéomorphologiques de l'inondation, préalable indispensable à tout essai de modélisation. Une enquête a été menée auprès des habitants du delta en juin 2012. Les 11 sites d'enquête sont situés principalement le long du bras nord du fleuve et à proximité de la lagune de Thi Nai dans les secteurs potentiellement les plus exposés aux aléas hydrologiques au droit des points de mesure géomorphologiques que nous avons choisis pour établir les profils du lit mineur (chapitre 4). L'enquête n'a pas suivi une procédure d'échantillonnage systématique. Il ne s'agissait pas de constituer un échantillon représentatif de l'ensemble de la population du delta, mais de recueillir des témoignages sur le déroulement des événements de 2009. Cela nous a permis de reconstituer le vécu des sinistrés du typhon Mirinae d'une part, et d'apprécier leur perception des risques auxquels leur localisation résidentielle les expose d'autre part. Nous avons recueilli 98 réponses exploitables au questionnaire sur la vulnérabilité au risque d'inondation lors de cette enquête. Nous avons ainsi pu affiner notre connaissance de la crue, car les mesures instrumentales de la station de Dieu Tri sont insuffisantes. Cette enquête a aussi permis d'analyser le déroulement effectif de la gestion de crise en situation d'urgence réelle, que nous avons confronté avec les plans préparatoires existants. La gestion de la crise liée au typhon Mirinae a été défaillante. D'importantes marges de progrès ont été notées. Les populations sinistrées sont extrêmement sensibilisées au risque d'inondation, mais il n'est pas certain que ce savoir vernaculaire puisse être remobilisé à l'avenir, car le maintien de ces populations rurales dans le delta est remis en cause par le développement urbain qui les prive de leurs moyens de subsistance (chapitre 5).

Le deuxième objectif de la thèse, secondaire par rapport au précédent, était de mettre en place une méthode et de réaliser un essai de modélisation hydrologique. La méthode, les

résultats et leurs limites sont discutés dans le chapitre 7. Cet objectif n'est pas pleinement atteint à ce stade. La montée de la crue et sa vitesse de propagation sont correctement estimées par le modèle, mais la décrue et son rythme sont grossièrement surestimés. Si nous ne sommes pas très satisfaits des résultats obtenus, il nous semble toutefois que l'essai de modélisation a permis de préciser les lacunes dans les mesures et les données de terrain nécessaires. Ces lacunes constituent naturellement un objectif majeur dans les travaux que nous entendons entreprendre dans le prolongement de cette thèse. Il faut en particulier mobiliser les données nécessaires pour parvenir à une simulation satisfaisante du rythme de la décrue. La collecte de ces données doit passer par une instrumentation plus dense du bassin étudié : plus de pluviomètres, plus de stations hydrologiques le long du fleuve et de certains de ses affluents. L'administration et la gestion de ces données doivent également passer par un protocole scientifique et une collecte systématique de données entrepris par un organisme unique de gestion collecteur à l'échelle du basin versant. Enfin le modèle MARINE semble certainement le plus approprié pour mettre en œuvre une future simulation hydrologique de l'inondabilité de la plaine deltaïque (Maubourguet *et al.*, 2007 ; Dartus, 2009 ; Roux *et al.*, 2011). Il aurait fallu y consacrer beaucoup plus de temps et nous avons préféré ne pas occulter les autres volets de l'évaluation environnementale. Nous détenons des données originales compilées durant ces années de thèse et nous programmons d'en récolter de nouvelles. Notre caractérisation de la crue historique a démontré que la submersion de la plaine est très rapide et s'apparente à un régime à cinétique rapide comme certains cours d'eau côtiers méditerranéens. Les typhons apportent des pluies diluviennes dans de petits bassins dont la prise en charge des écoulements engendre des crues dévastatrices. Le modèle MARINE ayant été expérimenté sur des régimes turbulents à cinétique rapide il conviendrait donc de l'expérimenter précisément dans cette plaine alluviale. L'ensemble de ces données enrichira le modèle que nous mettrons alors à contribution.

Ce point rejoint le troisième objectif de la thèse qui était de spatialiser les risques en dressant une cartographie du risque d'inondation aussi précise que possible. La méthode, les résultats et leurs limites sont discutés dans le chapitre 8. Cet objectif n'est pas pleinement atteint à ce stade. Nous avons pu établir une carte d'aléa, l'avancement de notre carte de risque ne peut être encore considéré que comme provisoire. En effet, la vulnérabilité architecturale mérite d'être précisée par des mesures ultérieures suivant une méthodologie qui reste à affiner (Jousseaume et Mercier 2009). L'échantillon que nous avons pu réaliser nous-même sur une zone test du quartier de Nhon Phu nous semble prometteur. Il faut généraliser ce genre de mesures pour atteindre un niveau opérationnel. Le chapitre se termine par une esquisse de

recommandations tentant de répondre un objectif majeur de la thèse, le transfert des résultats et la réalisation d'un travail de géographie active utile à la prévention des risques d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh et dans la ville de Quy Nhon. L'importance des projets de développement urbain dont ce territoire est le cadre valide la pertinence de cet objectif, mais nous sommes conscients que notre thèse n'est qu'un jalon préliminaire aux travaux ultérieurs qui seront nécessaires pour préciser la carte du risque que nous avons l'ambition d'établir.

La présentation des principaux résultats de notre thèse a déjà été l'occasion d'en évoquer les limites. Les objectifs spécifiques de la thèse que nous évoquons à la fin de l'introduction sont encore devant nous. Leur réalisation requiert davantage de relevés topographiques, hydrologiques et météorologiques, mais aussi une localisation précise des enjeux, population et entreprises, information qui est à peu près inexistante aujourd'hui. Si nous espérons avoir contribué à ébaucher de manière encore impressionniste le cadre général d'une analyse environnementale et géomatique du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh, le dessin reste à préciser et l'objectif opérationnel doit être poursuivi par la construction d'un SIG à haute résolution en collaboration avec les autorités responsables de l'aménagement du territoire et de la sécurité civile.

Les besoins de développement du Viêt-Nam en général et de la ville de Quy Nhon en particulier sont des impératifs qui ne se discutent pas. Cependant, notre thèse nous a fait prendre conscience des dommages collatéraux que ce développement faisait subir à l'environnement et aux populations rurales les plus vulnérables. Nous pensons que cette montée de la pression urbaine sur le delta ne restera pas sans conséquence sur la sévérité du niveau des risques d'inondation, d'autant que l'hydrosystème ne se transforme pas seulement sous l'action de l'homme, mais aussi sous celle du changement climatique. Même si ce deuxième mouvement est insidieux, la pression monte de part et d'autre, et la prévention des risques d'inondation ne doit en aucun cas être négligée dans l'euphorie du développement urbain et industriel en cours sur ce territoire. L'évacuation de plusieurs centaines de milliers de personnes au nord du Viêt-Nam en prévision du passage du passage Haiyan, le 10 novembre 2013, a montré une certaine capacité de l'action étatique à faire face à des évènements encore prévisibles et laissant un temps de réaction suffisant pour mettre en œuvre l'évacuation. Pour le cas des crues à cinétique rapide que connaît le bassin du fleuve Ha Thanh, le plus souvent durant la période typhonique, les dispositifs de prévention des risques revêtent d'autres faiblesses que cette étude a cherché à montrer. Le régime de la crue de novembre 2009 a mis en évidence l'impossibilité d'agir au cœur d'un tel évènement

hydrologique quand on sait à présent qu'il a fallu 4 heures seulement à l'onde de crue pour toucher le delta densément peuplé. La mise en protection *in situ* semble la solution d'action la plus envisageable, sous la forme par exemple d'abris tenant compte des hauteurs atteintes pendant la crue historique et adaptés à la chaîne d'aléa générée par un typhon (vent extrême, pluie diluvienne, crue, surcôte marine). Certains résultats apportent des éléments de connaissance utiles pour mettre en œuvre une politique de protection contre les crues plus efficaces, cela reste du domaine de la politique interventionniste. La thèse s'ouvre donc définitivement vers de nouvelles perspectives de recherche et de collaboration que l'auteur souhaite développer entre les scientifiques et les gestionnaires du territoire du fleuve Ha Thanh.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

AALST, M.V et BURTON, I., 2002. *Last straw: integrating natural disaster mitigation with environmental management.* Washington, DC., The World Bank, 67 p.

ABBOTT, M.B., BATHURST J.C., CUNGE, J.A., O'CONNELL, P.E., et RASMUSSEN, J., 1986. An introduction to the European Hydrological System-Systeme Hydrologique Europeen, SHE. History and philosophy of a physically-based distributed modelling system. *In Journal of Hydrology*, vol.87, p. 45– 77.

ACEMAV / BIOTOPE, 2002. *Expertise écologique dans le cadre du projet d'aéroport de Notre-Dame-des-Landes*. DDE de Loire-Atlantique. Rendu définitif, 109 p.

ADGER, W.N., 1999. Social Vulnerability to Climate Change and Extrêmes in Coastal Viêt-Nam. *World Development*, DOl: 10 .10 16/S0305-750X(98)00 136-3, vol 27, p. 249-269.

ADGER, W.N., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, vol.16, p. 268 – 281.

ALBAN, T., 2005. *Application de l'approche orientée-objet à l'extraction de fragments forestiers à partir de scènes Spot*, DESS SIGMA, 30 p.

ALEXANDER, J et MARRIOTT, S.B., 1999. Introduction. In Marriott S.B., Alexander, J. (Eds). Floodplains : interdisciplinary approaches. *Geological Society Special Publication*, vol.163, p. 1-13.

ALONGI, D.M., 2008. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol.76, Issue 1, p.1-13.

ALSPACH, B., BERMOND, J.C. et SOTTEAU, D., 1990. *Decomposition Into Cycles. I. Hamilton Decompositions.* In Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Cycles and Rays: Basic Structures in Finite and Infinite Graphs held in Montreal, Quebec, May 3Ð9, 1987 (Ed. G. Hahn, G. Sabidussi, and R. E. Woodrow). Dordrecht, Holland: Kluwer, p. 9-18.

AMBROISE, B., 1988. *La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant. Processus, facteurs, modèles*. Bucarest, HGA, p. 109-131.

AMIT KARKI, B.E., 2007. *Parameters for the green-ampt loss-rate function for select Texas watersheds* [Ressource électronique] sous la direction de David B et Thompson. Texas Tech University, 68 p. [réf. du 16 août 2013]. Thèse doctorat : Génie Civil. Disponible sur :

http://repositories.tdl.org/ttu-ir/bitstream/handle/2346/19462/Karki_Amit_Thesis.pdf?sequence=2

AMOROS, C. et PETTS, G.E., 1993. Hydrosystèmes fluviaux. Collection d'écologie n°24, Masson, Paris, 300 p.

AMOROS, C., BRAVARD, J.-P., REYGROBELLET, J.-L., PAUTOU, G. et ROUX, A.-L., 1988. Les concepts d'hydrosystème et de secteur fonctionnel dans l'analyse des systèmes fluviaux à l'échelle des écocomplexes. Bulletin d'écologie 19 (4) p. 531-546

ANDRE, P., DELISLE, C.E. et REVERET, J.P., 2009. *L'évaluation des impacts sur l'environnement, Processus, acteurs et pratique pour un développement durable*. Editions Presses internationales Polytechnique, 3e édition, 398 p.

ANNUAIRE STATISTIQUE DU VIETNAM - livre 5 *(Việt Nam Niên giám thống kê-Quyển 5).*, 1957. Presses l'Institut national de la statistique, Saigon, p. 40.

AREKHI, S., 2012. Runoff modeling by HEC-HMS Model (Case Study: Kan watershed, Iran). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. Intl J Agri Crop Sci. Vol. 4 (23), p. 1808-1811.

ARKADIE, B.V., 2003. *Vietnam a transition tiger?* The Australian National University, 308 p.

ARNAUDET, L., ARNOUX, M., DERRIEN, A. et SCHNEIDER-MAUNOURY, L., 2012. *Conséquences environnementales,*

sociales et politiques des barrages. Etude du cas du Mékong. Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société, 16 p.

ARNOLD, J. G. et ALLEN, P.M., 1993. A comprehensive surface-ground water flow model. *J. Hydrol.* Vol.142, p. 47-69.

ATLAS, 2010. *Atlas du Viêt-Nam* (Atlat địa lí Việt Nam). Presse l'Education du Viêt-Nam, Hanoi, p. 2-10.

AYADI, M et BARGAOUI, Z., 1998. Modélisation des écoulements de l'oued Miliane par le modèle CEQUEAU. *Journal Hydrological Sciences*, Vol.43 (5), p. 741-758.

BALLAIS, J.L., CHAVE, S., DUPONT, N., MASSON, E. et PENVEN, M.J., 2011. La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables [en ligne]. *Physio-Géo*, Volume 5 | 2011, mis en ligne le 21 mars 2011. [réf. du 04 avril 2013]. Disponible sur :

http://physio-geo.revues.org/3307 ; DOI : 10.4000/physio-geo.3307

BALLAIS, J.L., GARRY, G. et MASSON, M., 2005. Contribution de l'hydrogéomorphologie à l'évaluation du risque d'inondation : le cas du Midi méditerranéen français. *C. R. Geoscience* 337, p. 1120-1130.

BARIBEAU, C. et GERMAIN, M., 2010. L'entretien de groupe : considérations théoriques et méthodologiques. *Recherches Qualitatives*, Vol. 29(1), p. 28-49.

BARRY, D.A. et BAJRACHARYA, K., 1995. On the Muskingum-Cunge flood routing method. *Environement International*, Edition Elsevier, Vol 21, No 5, p. 485-490.

BECERRA, S. et ROUSSARY, A., 2008. Gérer la vulnérabilité de l'eau potable : une action publique désengagée ?. *Nature, Sciences & Société,* Vol.16, p. 220-231.

BECKERS, E et DEGRE, A., 2011. Revue bibliographique : la prise en compte des transferts horizontaux dans les modèles hydrologiques, *E Biotechnol. Agron. Soc. Environ,* Vol.15 (1), p. 143-151.

BECKMAN M, 2006. *Resilient society, vulnerable people: a study of disaster response and recovery from floods in Central Vietnam.* Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala. 180 p. Disponible sur : http://pub.epsilon.slu.se/1294/

BEDIENT, P. B. et HUBER, W.C., 1992. *Hydrology and Floodplain Analysis*, 2nd Ed. Addison-Wesley Publishing Co., New York, NY, 692 p.

BEGUIN, M. et PUMAIN, D., 2000. *La représentation des données géographiques : Statistique et cartographie.* Collection Cursus, Edition Armand Colin, Paris, 192 p.

BELLALL, M., SILLEN, X. et ZECK, Y., 1996. Coupling GIS with a distributed hydrological model for studying the effect of various urban planning options on rainfall-runoff relationship in urbanised watersheds. *HydroGIS 96: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management* (Proceedings of the Vienna Conference, April 1996). IAHS Publ. no. 235, 8 p.

BENMESSAOUD H., 2009. *Etude de la vulnérabilité a la désertification par des méthodes quantitatives numériques dans le massif des Aures (Algerie)* [Ressource éléctronique] sous la direction de KALLA Mehdi. Université El Hadj Lakhdar – Batna, 2009, 227 p. [réf. du 8 octobre 2013]. Thèse doctorale : Aménagement du territoire. Disponible sur :

http://www.secheresse.info/spip.php?article13409

BERGERON, M., 1992. *Vocabulaire de la géomatique*, Office de la langue française du Québec, 41 p.

BERNABE et PLAZA, A., 2010. A new system to perform unsupervised and supervised classification of satellite images from google maps. *Proc. SPIE Conference on Satellite Data*

Compression, Commu nications, and Processing, vol. 7810, p. 1–10.

BERNIER M., DUCHESNE S., NGUYEN T.D.,PHAM Q.S., TRAN M.Y ;, DANG L.A. et VILLENEUVE J.-P., 2007. Gestion intégrée du bassin de la rivière Cầu (Vietnam). *Actes des JSIRAUF*, Hanoi, 6-9 novembre 2007, 6 p.

BERTHET, L., 2010. *Prévision des crues au pas de temps horaire : pour une meilleure assimilation de l'information de débit dans un modèle hydrologique* [Ressource électronique] sous la direction de Vazken Andréassian. Ecole AgroParisTech, Paris, 626 p. [réf. du 9 avril 2013]. Thèse doctorat : Hydrologie. Disponible sur :

http://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00529652/en/

BERZ, G., 2000. *Flood disasters: lessons from the past - worries for the future*. Actes de colloque, Water and Maritime Engineering, Proceedings of the institution of Civil Engineers, Vol. 142, Issue 1, p. 3-8.

BETHEMONT, J., 2000, *Les grands fleuves : entre nature et société*, deuxième édition, Armand Colin, Paris, 255 p.

BETHEMONT, J., 2003. Qu'est-ce qu'un grand fleuve ? [en ligne]. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* ,Volume 4 Numéro 3 | décembre 2003 [réf. du 12 novembre 2013]. Disponible sur :

http://vertigo.revues.org/3726

BEVEN, K.J et KIRBY, M.J., 1979. A physical based, variable contributing areas model of basin hydrology. *Hydrol. Sc. Bull.*, Vol.21(1), p. 43-69.

BILLEN, R., 2000. Integration of 3D information in Uban GIS : a conceptual view. ISPRS 2000, Amsterdam, Pays-Bas. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. XXXIII, Part B3. Amsterdam, p. 79-83.

BILLEN, R., 2002. *Nouvelle perception de la spatialité des objets et de leurs relations. Développement d'une modélisation tridimensionnelle de l'information spatiale* [Ressource en ligne] sous la direction de Jean-Paul Donnay et Delf et Karlsruhe. Université de Liège, Belgium, 194 p. [réf. du 26 octobre 2013]. Thèse doctorat : Sciences. Disponible sur :

http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/20255

BILLEN, R., LAPLANCHE, F., ZLATANOVA, S. et EMGARD, L., 2008. Vers la création d'un méta-modèle générique de l'information spatiale 3D urbaine. *Revue XYZ*, N° 114, p. 37-42.

BIRKMANN J., 2006. *Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions*. in: Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies, edited by: Birkmann, J., United Nations University Press, Tokyo, p. 9–54.

BLAIKIE P., CANNON, T., DAVIS I. et WISNER B., 1994. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. London, UK: Routledge, 447 p.

BLANCE P., 1999. *Développement de méthodes pour la détection de changement* [Ressource électronique] sous la direction de Lucien Wald. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, décembre 1999, 212 p. [réf. du 15 mai 2011]. Thèse doctorale : Informatique temps réal – Automatique – Robotique. Disponible sur :

http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/47/71/15/PDF/These-PhBlanc.pdf

BONN, F., 1996. *Précis de Télédétection, II - Applications thématiques.* Presses de l'Université du Québec/AUPELF, vol. 2, 633 p.

BRASSARD, F., 1998. *Le bois-énergie parmi les communautés des hautes terres du Vietnam*, thèse de maîtrise non publiée, faculté de foresterie, Université Laval. Bureau de recensement de la province de Lam Dong, 1981, Sô liêu thông kê tinh Lâm Dông 1976–1980, Da Lat (Viet Nam), 262 p.

BRAVARD, J.P., COLLILIEUX, G., DESMET, M., FRUCHART, F., MOTCHALOVA, O. et VALE, N., 2008. Widening by-passed reaches of the Rhône River following sediment deposition, France. Interdisciplinary studies and procedures, IVth

Conference on River Restoration, Italy, Venice S. Servolo Island, 16-20 juin 2008, p. 953–964.

BRAVARD, J.P. et PETIT, F., 2000. *Les cours d'eau, dynamique du système fluvial*. Coll U. 2ème Edition, Armand Colin, 222 p.

BRAVARD, J.-P. et SALVADOR, P.-G., 1999. Géomorphologie et sédimentologie des plaines alluviales. in Bravard J.-P., Cammas C., Nehlig P., Poupet P., Salvador P.-G., Wattez J. (Ed.) La géologie. Les sciences de la Terre. Editions Errance, Paris, 57-92.

BRUNDTLAND, G.H., 1987. *Notre avenir à tous*. La Commission mondiale sur l'environnement et le développement des Nations Unies, 349 p.

BRUNET, R., FERRAS, R., et THERY, H., 1993. *Les mots de la géographie : dictionnaire critique*. Montpellier-Paris, DDIPR française, 470 p.

BRUNNER, G.W et GORBRECHT, J., 1991. *A Muskingum-Cunge Channem Flow Routing Method for Drainage Networks*. US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, 38 p.

BUI, N.H et NGUYEN, D.T., 2002. Le développement de l'agriculture vietnamienne au cours des 15 dernières années, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 3 Numéro 2 | octobre 2002, mis en ligne le 01 octobre 2002, [réf. du 31 octobre 2013]. URL :

http://vertigo.revues.org/3738 ; DOI : 10.4000/vertigo.3738

BUI, V.V., NGUYEN, D.D., DINH, X.D. *et al.*, 2012. *Premier ouvrage de géographie et histoire du Viet Nam-Episode 1 (*Tổng tập dư địa chí Việt Nam (tập 1)). Presses Thanh Nien, Ha Noi, p. 7-500.

BURBY, R.B., 2006. Hurricane Katrina and the Paradoxes of Government Disaster Policy. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, vol. 604, No. 1, p. 171-191.

BUREAU DE BINH DINH DE LA STATISTIQUE., 2010. Annuaire statistique de la province de Binh Dinh (2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011) (Niên giám thống kê tỉnh Bình Định). Prèsse de Statistique du Viêt-Nam, Hanoï, 375 p.

BUREAU DE QUY NHON DE LA STATISTIQUE., 2010. Annuaire statistique de la ville de Quy Nhon (2007, 2008 et 2009) (Niên giám thống kê thành phố Quy Nhơn năm 2007, 2008 và 2009), 65 p.

BUREAU GENERAL DE LA STATIQUE. *Annuaire statistique du Viêt-Nam (2000 à 2012)* (Niên giám thống kê Việt Nam) [en ligne]. Presse de Thong Ke, Hanoï. Disponible sur :

http://www.gso.gov.vn/default.aspx?tabid=512&idmid=5&ItemID=12574

BUREL F. et BAUDRY J., 1999. *Ecologie du paysage. Concept, Méthodes et Application*. Paris FEC et DOC, 362 p.

BURROUGH, P. A. et MCDONNELL, R. A., 1998. Optimal interpolation using geostatistics. In: *Principles of Geographical Information Systems* (Burrough, P.A. and McDonnell, R.A. eds.), Oxford: Oxford University Press, p. 132-161.

BURTON, I., KATES, R.W. et WHITE, G. F., 1993. *The environment as hazard*-2nd éd. The Guilford Press, New York, 290 p.

CAMERON, R.J., 1980. *An updating version of the Muskingum—Cunge flow routing technique.* Hydrological forecasting - Prévisions hydrologiques (Proceedings of the Oxford Symposium, April 1980) : IAHS-AIS H Publ.no.129, 8 p.

CARIOLET, J.M., SUANEZ, S., CATHERINE M.F. et POSTEC, A., 2012. Cartographie de l'aléa de submersion marine et PPR : éléments de réflexion à partir de l'analyse de la commune de Guissény (Finistère, France) [en ligne]. *Cybergeo : European Journal of Geography*, Space, Society,Territory, DOI : 10.4000/cybergeo.25077, document 586 [réf. du 27 Juillet 2013]. Disponible sur :

http://cybergeo.revues.org/25077

CARLINI, M., 2006. *Morphologie et hydrodynamique des plans d'eau : Le cas*

des étangs-lacs en Limousin [Ressource en ligne] sous la direction de Laurent TOUCHART. L'Université de Limoges, 362 p. [réf. 15 décembre 2012]. Thèse doctorat : Géographie. Disponible sur :

http://epublications.unilim.fr/theses/2006/carlini-matthieu/carlini-matthieu.pdf

CASTELLA, J.C., BOISSAU, S., NGUYEN, T.H. et NOVOSAD, P., 2006. Impact of forestland allocation on land use in a mountainous province of Vietnam. *Land Use Policy*, vol 23, p. 147–160.

CASTELLA, J.C., EROUT, A., 2002. Montane paddy rice: the cornerstone of agricultural production systems in Bac Kan Province Vietnam. In: Castella, J.C., Quang, D.D. (Eds.), Doi Moi in the Mountains. Land Use Changes and Farmers' Livelihood Strategies in Bac Kan Province Vietnam. *The Agricultural Publishing House*, Ha Noi, p. 175–195.

CASTROGIOVANNIA, E.M., LA LOGGIAB, G. et NOTOB, L.V., 2005. Design storm prediction and hydrologic modeling using a web-GIS approach on a free-software platform. *Atmospheric Research*, vol.77, p. 367–377.

CCFSC., 2009. *Statistiques des dommages liés aux inondations et typhons au Centre du Viêt-Nam, le novembre 2009 (Tổng hợp thiệt hại do mưa lũ Trung Bộ đợt mưa lũ tháng 11 năm 2009)* [en ligne].

[réf. du 11 juin 2013]. Disponible sur :

http://www.ccfsc.gov.vn/showcsdl.aspx?dbid=420

CCTSMHE., 2002. *Mise en place les cartes d'inondation pour les sept provinces centrales (Thành lập bản đồ ngập lụt cho bảy tỉnh Miền Trung)*, Vietnam Center of Consultancy & Technical Support of Meteorology, Hyclrology and Environment, Hydrometeorological Service of Vietnam (HMS), 74 p.

CGDD-SOeS., 2009. *Croissance du nombre de logements en zones inondables* [en ligne]. Le point sur, n°6, 4 p. [réf. du 2 mai 2011]. Disponible sur :

http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/spipwwwmedad/pdf/LePointSur_N6_cle03d2dd.pdf

CHAMBERS, R., 2006. Participatory mapping and geographic information system: Whose map? Whose is empowered and who disempowered? Who gains and who loses? *The Electronical Journal on Information System in Developing Countries* Vol. 25(2), p. 1-11.

CHAN, J.C.L., 2006. Comment on "Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment". *Science*, Vol. 311(1713), 3 p.

CHANE POI SANE, P., NOEL, P., SAMPIC, C. *et al.*, 2011. *Modèle numérique de prévision des inondations: Application à la prévision de la crue centennale du Lez* [en ligne]. Projets "Eau et Environnement", non paginé. [réf. du 10 mars 2013]. Disponible sur :

http://hmf.enseeiht.fr/travaux/projnum/content/2011-g3/accueil

CHANG, C.W., 2009. *Application of SCS CN Method in HEC-HMS in ShihMen Watershed - Simulation of Rainfall-Runoff Hydrologic Model* [Ressource électronique] sous la direction de Chair - Wenrui Huang. The Florida State University, 2009, 96 p. [réf. du 26 juin 2013]. Thèse doctorat : Génie Civil & Environmental. Disponible sur :

http://diginole.lib.fsu.edu/etd/3900/

CHANSON, H., 2004. *The hydraulics of open channel flow: an introduction*. British Library Cataloguing in Publication Data, second edition, 650 p.

CHAPIN, M., LAMB, M. et THRELKELD, B., 2005. Mapping indigenous land, *Annual Review of Anthropology,* Vol. 34, p. 619-638.

CHAPLOT, V., DARBOUX, F., BOURENNANE, H., LEGUÉDOIS. *et al.*, 2006. Accuracy of interpolation techniques for the dervivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. *Geomorphology*, p. 77, 126-141.

CHE, X., 2005. Extraction et reconstruction du réseau hydrographique à partir du modèle numérique de terrain [Ressource électronique] sous la direction de Jean Sequeira. Université de la Méditerranée Aix-Marseille II, novembre 2005, 129 p. [réf. du 5 novembre 2011]. Thèse doctorat : Informatique. Disponible sur :

http://imageetmodeles-lsis.esil.univmed.fr/theses/theses_soutenues/PDFTheses/These_CHE_2005.pdf

CHORLEY, R.J. et KENNEDY, B.A., 1971. *Physical geography, a systems approach*. Prentice Hall, London, 370 p.

CHURCH, J.A et WHITE, N.J., 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophys. Res. Lett*., Vol. 33, L01602, doi:10.1029/2005GL024826, 4 p.

CITRS (Le Comité de lutte contre des Inondations-Tempêtes et des Recherches-Sauvetages des victimes de la province de Binh Dinh)., 2010. *Le rapport des catastrophes dans la province de Binh Dinh en 2009* (Báo cáo về thiên tai trên địa bàn tỉnh Bình Định trong năm 2009). Quy Nhon, p. 1-80.

CITRS (Le Comité de lutte contre des Inondations-Tempêtes et des Recherches-Sauvetages des victimes de la province de Binh Dinh)., 2011. *Le rapport des catastrophes dans la province de Binh Dinh en 2010* (Báo cáo về thiên tai trên địa bàn tỉnh Bình Định trong năm 2010). Quy Nhon, p. 1-48.

CITRS (Le Comité de lutte contre des Inondations-Tempêtes et des Recherches-Sauvetages des victimes de la province de Binh Dinh)., 2013. *Le rapport des catastrophes dans la province de Binh Dinh en 2012* (Báo cáo về thiên tai trên địa bàn tỉnh Bình Định trong năm 2012). Quy Nhon, p. 1-50.

CLARKE, S.J., 2002. Vegetation growth in rivers: influences upon sediment and nutrient dynamics. *Progress in Physical Geography* vol. 26, p. 159–172.

CLAVAL, P., 2012. *De la terre aux hommes. La géographie comme vision du monde*, Paris : Armand Colin, 413 p.

CLEMENTS, F.E., 1905. *Research Methods in Ecology*. University Publishing Company, 334 p.

CLING, J.P., LAGREE, S., RAZAFINDRAKOTO, M. et ROUBAUD, F., 2012. *L'économie informelle dans les pays en développement*. Agence Française de Développement. 366 p.

COLEMAN J.M., HUH O.K., 2004, *Major Deltas of the World : a Perspective from Space*. Coastal studies Institute, Louisiana State University, Baton Rouge, LA. 80302. NASA REPORT. 74 p. E-publication available from the Internet at URL :

http://www.geol.lsu.edu/WDD/PUBLICATIONS/publications.htm

CONROY, G.C., ANEMONE, R.L., VAN REGENMORTER, J. et ADDISON, A., 2008. Google Earth©, GIS, and the Great Divide : A new and simple methode for sharing paleontological data. *Journal of Human Evolution*, vol. 55, p. 751-755.

CONVENTION SUR LES ZONES HUMIDES., 1971. *Article premier de la Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau* [en ligne]. Ramsar, Iran. [réf. du 11 mai 2013]. Disponible sur :

http://www.ramsar.org/cda/fr/ramsar-documents-texts-convention-on-20708/main/ramsar/1-31-38%5E20708_4000_1__

COSAERT, P., 1988. *Le Centre du Viet Nam du local au Global.* Collection points sur l'Asie, 271 p.

COSANDEY, C et ROBINSON, M., 2000. *Hydrologie continentale*. Presse, Armand Colin, p. 249-263.

COSANDEY, C et ROBINSON, M., 2012. *Hydrologie continentale*. Presse, Armand Colin, p. 53-57.

COSANDEY, C., BIGOT, S., DACHARRY, M. *et al.*, 2004. *Les eaux courantes :*

Géographie et environnement. Presse BELIN, 239 p.

COSANDEY, C., DARTUS, D., GRIVEL, S., TRONCHE, R., HOANG, V.L., NGO, H.C., NGUYEN, K.D., NGUYEN V.D., 2005. *Cartographie des principales infrastructures de la plaine d'inondation de la Rivière des Parfums.* Rapport final, Collaboration Région Nord – Pas de Calais, Laboratoire de Géographie Physique de Meudon (CNRS UMR 8591) et Province de Thua Thien Hué, 40 p.

COWARDIN, L.M., CARTER, V., GOLET, F.C. et LAROE, E.T., 1979. *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States.* US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C, 79 p.

CREMIN, E., 2011. Endiguement du Brahmapoutre et risques hydrologiques dans les territoires de la tribu Mising (subdivision de Dhakuakhana, Assam, Nord-est de l'Inde) [en linge]. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Hors-série 10, DOI : 10.4000/vertigo.11417, [réf. du 5 June 2013]. Disponible sur :

http://vertigo.revues.org/11417

CROTEAU, M et LABRECQUE, A.C., 2011. *Les études urbaines en Asie du Sud-est* [en ligne]. Villes Région Monde, Montréal, Canada, non paginé [réf. du 22 août 2013]. Disponible sur :

http://www.vrm.ca/Cap_Asie_Sud_Est.asp?ID=1332

CUNGE, J.A., 1969. On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum method). *Journal of Hydraulic Research*, vol. 7(2), p. 205-230.

CURIE, F., DUCHARNE, A., BENDJOUDI, H. et GAILLARD, S., 2004. *Classification et typologie fonctionnelle des zones humides riveraines à l'échelle du bassin de la Seine : élimination et rétention des nitrates.* Colloque PIREN – Seine, 11 p.

CUTTER, S.L., 1996. Vulnerability to environmental hazard. *Progress in Human geography*, vol. 20, p. 529-539.

D'ERCOLE, R., 1994. Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbains : concepts, typologie, modèles d'analyse. *Revue de géographie alpine*, 82, 4, p. 87-96.

DACKO R., 2009. *Qualité de l'usage des médicaments contre l'asthme: quelle source d'information sur les médicaments est la plus fortement associée à la maîtrise de la maladie?* L'Université Laval, Québec, 113 p.

DANG, T.P., 2001. *Gestion de l'eau du delta du Fleuve Rouge, Vietnam : Le cas du casier de Bac Hung Hai*. Thèse de doctorat, ENGREF, Paris, 397 p.

DARTUS D., 2009. Modélisation numérique 1: généralités, différences finies, éléments finis. In: Traité d'hydraulique environnementale. De la goutte de pluie jusqu'à la mer, 5. *Hermès/Lavoisier*, p. 19-27. ISBN 9782746220072

DARWISH, O., 2006. *Etude et définition d'un modèle pour la création et la gestion de maquettes numériques 3D en milieu urbain.* Mémoire Master II GER EUI, Université Louis Pasteur Strasbourg, 58 p.

DAUPHINE, A., 2001. *Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer*, Armand Colin, coll. « U », 288 p.

DAVILA, A et DOMIGUEZ, M., 2010. Formats des groupes et types de discussion dans la recherche sociale qualitative. *Recherches Qualitatives*, Vol.29 (1), 19 p.

DAVIS, A.C.S., 2001. *Participatory Rural Appraisal*. Rural Travel and Transport, Program 2001, 5 :6 :a, TRL Limited, 13 p.

DE KONINCK R., 1997. *Le recul de la forêt au Viet Nam.* Publié par le Centre de recherches pour le développement international, du Canada, octobre 1997, 100 p.

DE KONINCK, R., 1994. *L'Asie du Sud-Est.* Paris, Masson, (Collection Géographie), 317 p.

DE KONINCK, R., 1999. *Deforestation in Viet Nam* [en ligne]. Edition, International Development Research Centre, Ottawa, Canade, 100 p. [réf. du 12 jenvier 2012]. Disponible sur :

http://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/24496/1/109204.pdf

DE KORT, I. A.T. et BOOIJ, M. J., 2007. Decision making under uncertainty in a decision support system for the Red River. *Environmental Modelling & Software*, No 22, p. 128-136.

DECLARATION DE RIO SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE DEVELOPPEMENT., 1992. SOMMET PLANETE TERRE : Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement Rio de Janeiro, Brésil 3-14 juin 1992, 6 p.

DECLEVE, B., FORRAY, R. et MICHIALINO, P., 2002. *Coproduire nos espaces publics* [en ligne], Louvain, PUL, 159 p. [réf. du 11 février 2011]. Disponible sur :

http://books.google.fr/books?id=yqkGe1pL0twC&pg=PA69&lpg=PA69&dq=Coproduire+nos+espaces+publics&source=bl&ots=4Ak2HTKc-s&sig=fIkATjMGFT61Lj6zSmx705qhp14&hl=fr&sa=X&ei=Y8pwUueyHaWi0QWD-IHAAg&ved=0CEMQ6AEwBA#v=onepage&q=Coproduire%20nos%20espaces%20publics&f=false

DEFRIES, R.S., RUDEL, T., URIARTE, M. et HANSEN, M., 2010. Deforestation driven by urban population and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geosciences* 3, p. 178–181.

DEGOUTTE, G., 2006. *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières. Hydraulique et morphologie fluviales appliquées-Chapitre 3 : Formes naturelles des rivières; Ripisylve ; Evolution des berges*, p. 55-76.

D'ERCOLE R., 1994. Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés: concepts, typologie, modèles d'analyse. *Revue de géographie Alpine*. Vol 82, n°4, p. 87-96.

DERRUAU, M., 1962. *Précis de géomorphologie*. Édit. MASSON, Paris, 543 p.

DERY, S., 2004. La Colonisation agricole au Viet Nam. Presses Université du Québec, Canada, 22 p.

DHATT, G et TOUZOT, G., 1981. *Une présentation de la méthode des éléments finis.* Presses de l'Université Laval Québec Maloine S.A. Editeur Paris, 543 p.

DIANA, G.M., 2010. *SIG-3D : Sensibilisation des élus de la commune de Rive-de-Gier aux risques d'inondation*. Département d'Enseignement et de Recherche en Informatique & Technologies Urbaines, 44 p.

DIGREGORIO, M et HUYNH, C.V., 2012. *Analyse les résultats des inondations du 2/11/2009 dans le quartier de Nhon Binh de la ville de Quy Nhon* (Kết quả phân tích lụt tháng 11/2009 tại phương Nhơn Bình, thành phố Quy Nhơn). CCCO - Climate Change Coordination Office in Binh Dinh, p. 1-12.

DINH, T.V.T., 2006. *Le droit forestier du Vietnam* [en ligne]. Etudes juridiques de la FAO en ligne, 27 p. [réf. du 11 octobre 2013]. Disponible sur :

http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/legal/docs/lpo51fr.pdf

DIOP A., 2006. *Dynamique de l'occupation sol dans des niayes de la région de Dakar de 1954 à 2003: exemples de la grande niaye de Pikine et de la niaye de Yembeul*. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, DEA, 91 p.

DIOP, D., 1998. *Les zones humides du Delta du fleuve Sénégal: classification, valeurs et outils de gestion qualitative* [en ligne]. Université Cheikh Anta DIOP, 142 p. [réf. du 26 avril 2013]. Thèse de doctorat. Disponible sur :

http://www.sist.sn/gsdl/collect/butravau/index/assoc/HASH0126/66f4ba39.dir/THL-979.pdf

DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER NORD., 2011. *PPRI de la vallée de la Marque*

Méthodologie de détermination des Enjeux. Préfet du Nord, France, 21 p.

DMU., 2002. *Flood Mapping Annual Report Year-2 (2001-2002)*. Hanoi, VIE/97/002 Project, DMU (Disaster Management Unit), 25 p.

DO, B et NGUYEN, T.H., 1998. *Histoire de la ville de Quy Nhon* (Lịch sử Thành phố Quy Nhơn). Presse de Thuan Hoa, Hue, 96 p.

DO, B., 2005. *Premier ouvrage de géographie et histoire de la province de Binh Dinh* (Dư Địa chí tỉnh Bình Định). Presses Thanh Nien, Ha Noi, 285 p.

DO, M.D., 2007. *Étudier et évaluer les glissements de terrain dans le district de Van Canh de la province de Binh Dinh pour la prévision et la gestion de risque géologique* (Điều tra và đánh giá sạt lở các khu vực huyện Vân Canh tỉnh Bình Định nhằm dự báo các tai biến địa chất và đề xuất giải pháp phòng chống, giảm thiểu các thiệt hại về kinh tế-xã hội do sạt lở) [en ligne]. Presse l'Université de Géologie d'Ha Noi. 6 p. [réf. du 4 décembre 2012]. Disponible sur :

http://skhcnbinhdinh.gov.vn/wp-content/Data/KyYeu/GiaiDoan2006-2010/PDF/KHTN/DIEU%20TRA%20DANH%20GIA%20SAT%20LO%20HUYEN%20VAN%20CANH.pdf

DOAN, T.H., 1966. *La géographie et histoire la province de Binh Dinh* (Địa phương chí, tỉnh Bình Định). Presse d'Administratif de la province de Binh Dinh, p. 18.

DOBBY, E.H.G., 1973. *Southeast Asia*. London, University of London Press, 415 p.

DROUIN, A., 2008. *Élaboration d'un modèle de représentation des niveaux d'inondation à partir d'un SIG - Rivière Saint-François (axe Sherbrooke-Drummondville)* [en ligne]. Université de Québec, 139 p. [réf. du 8 avril 2013]. Thèse doctorat : Sciences de l'environnement. Format pdf. Disponible sur :

http://depot-e.uqtr.ca/1354/1/030083659.pdf

DUBOIS, O., TREINEN, S. et O'FARRELL, C.M., 2008. *Policy Processes-Part 3. Tow important aspects of Gouvernement-Citizen Synergy in Policy Processes Participation and Communication.* FAO, 48 p.

DUBOIS-MAURY, J., 2005. *Les risques naturels et technologiques* [en ligne]. Problèmes politiques et sociaux, la documentation Française-Paris, n°908, 4 p. [réf. du 27 octobre 2011]. Disponible sur :

http://urbanisme.u-pec.fr/servlet/com.univ.collaboratif.utils.LectureFichiergw?ID_FICHIER=1259766016627

DUGAN, P.J., 1990. *Wetland conservation: a review of current issues and required actions.* International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Suisse, 96 p.

DUMAS, M.J., 1857. *Etudies sur les inondations: causes et remède* [en ligne]. Académie Impériale des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Bordeaux, 174 p. [réf. du 25 octobre 2013]. Disponible sur :

http://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=wqMOAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=inondations+causes+multiples&ots=LYLfFcxpzV&sig=dzjlNSfr7Yjn1563LBFFm7KbhPM#v=onepage&q=inondations%20causes%20multiples&f=false

DUNN, B., REID, J.C., DUSIK, J., RAMACHANDRAN, P. et PHAM, A.D., 2012. *L'évaluation environnementale stratégique dans la coopération pour le développement. Panorama des expériences récentes*. OCDE, ISBN : 9789264166745, 148 p.

DUONG, K.Q., 1982. *Les événements historiques du Vietnam-Episode 2 (1896-1818)*-(Việt Nam những sự kiện lịch sử", tập 2 (1896 – 1818)). Presses Sciences humaines, Hanoi, 297 p.

DUTERME B., 2008. *Déforestation : ressorts d'un désastre écologique et social*. Alternatives Sud, Paris, décembre 2008, 17 p.

EL GAROUANI, A., CHEN, H., LEWIS, L., TRIBAK, A. ABAHROUR, M., 2007. Apport de la Télédétection et du SIG pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du

sol et de l'érosion nette dans le bassin de l'Oued Tlata (Maroc). *Actes des JSIRAUF*, Hanoi, 6-9 novembre 2007, 9 p.

EL Hadji Balla Dieye, Amadou Tahirou Diaw, Tidiane Sané et Ngor Ndour., 2013. Dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (Sénégal) entre 1972 et 2010 [en ligne]. *Cyb ergeo : European Journal of Geography*, Environnement, Nature, Paysage, article 629, DOI : 10.4000/cybergeo.25671. [réf. du 16 janvier 2013]. Disponible sur :

http://cybergeo.revues.org/25671

EMANUEL, K.A., 2005. Increasing Destructiveness of Tropical Cyclones over the past 30 years [en ligne]. *Nature*, Doi:10.1038/nature03906, Vol 436, p. 686-688. [réf. du 15 septembre 2013]. Disponible sur :

http://www.columbia.edu/itc/journalism/cases/katrina/Academic%20Journals/Nature/Emanuel%20Nature%20Nov%2005.pdf

ESCARZAGA, D., 2003. *Etude hydraulique sur un petit bassin de l'arc méditerranéen : exemple du Bruèges dans la zone périurbaine d'Alès*. Mémoire de fin d'études, ENGEES, 111 p.

FADIL, A., RHINANE, H., KAOUKAYA, A. et KHARCHF, Y., 2013. *Comparaison de deux modèles hydrologiques sur une zone pilote du bassin versant de Bouregreg*. Proceedings of the 1 st International Congress on G.I.S. & Land Management, Casablanca, Morocco. Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat, série Géologie & Géographie physique, n°23, p. 33-38.

FAO., 1979. *Le rôle de la technologie de la pêche dans l'aménagement et le développement des pêcheries d'eau douce d'Afrique.* Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 71 p.

FEYERABEND, G.B., TAGHI FARVAR, M., NGUINGUIRI, J.C. et NDANGANG, V.A., 2000. *La gestion participative des ressources naturelles : Organisation, Négociation et Apprentissage par l'Action*. Kasparek Verlag, 95 p.

FIDA., 2009. *Cartographie participative et bonnes pratiques.* Évaluation participative d'un projet d'autonomisation communautaire pour l'accès à la terre, Uttar Pradesh, Inde, 59 p. [réf. du 5 juin 2012]. Disponible sur :

http://www.ifad.org/pub/map/pm_web_f.pdf

FIDA., 2010. *Cartographie participative: l'approche évolutive du FIDA : Conception et exécution des projets de cartographie participative* [en ligne]. 47 p. [réf. du 4 juin 2012]. Disponible sur :

http://www.ifad.org/pub/map/pm_f.pdf

FIMARC (Fèdèration Internationale des Mouvements d'Adultes Ruraux Catholiques)., 2009. *Changements climatiques et Droits de l'homme*. 7 p.

FINLAYSON, M., HOWES, R., VAN DAM, RA, BEGG, G. et TAGI, K., 2002. *The Asian Wetland Inventory as a tool for providing information on the effect of climate change on wetlands in Asia*. Climate Change and Wetland Conservation, Kushiro City, Japan, 20 p.

FONTENELLE, J.P., 2004. *Dynamiques agraires, irrigation et institutions dans le delta du Fleuve Rouge (Viêt-nam) : une analyse multi-scalaire de la gestion agricole de l'eau* [Ressource électronique]. Louvain-La-Neuve, l'Université catholique de Louvain, 463 p. Thèse doctorat : Sciences agronomiques et ingénierie biologique : Format pdf. Disponible sur : http://vital-test.sipr.ucl.ac.be/handle/boreal:4589

FORTIN, M.J., 2009. L'Évaluation environnementale de grands projets industriels : potentialités et limites pour la gouvernance territoriale, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 9 Numéro 1 | mai 2009, mis en ligne le 05 juin 2009. [réf. du 30 octobre 2013]. Disponible sur : :

http://vertigo.revues.org/8505 ; DOI : 10.4000/vertigo.8505

FOSTING, J.M., 2003. *Apport des SIG à la recherche.* Actes du colloque international Géomatique et application n°1, Orléans, p. 21.

FREEZE, R.A et HARLAN, R.L., 1969. Blueprint of a physically-based, digitially simulated hydrologic response model. *Journal of Hydrology*, vol.9, p. 237-258.

GAILLARD, S., 2005. *Morphologie des lits fluviaux dans le bassin de la Seine*. Colloque Piren - Seine, Paris, France, 9 p.

GALA SERRA, P., 2007. *Tesina : Modelo para el estudio de la vulnerabilidad de los servicios técnicos urbanos frente a los riesgos naturales.* Gala Serra Pablo, Octobre 2007, 44 p. [réf. du 16 octobre 2013]. Disponible sur :

http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6411/5/04.pdf

GARNIER, P., MOLES, O., GANDREAU, D. *et al.*, 2011. *Aléa naturels, Catastrophes et Développement local. Stratégies intégrées de gestion des risques par le renforcement des dynamiques locales : de la reconstruction vers la prévention*. CRA terre, Editions, 64 p.

GASSMAN, P.W., REYES, M.R., GREEN, C.H. et ARNOLD, J.G., 2007. The soil and water assessment tool : historical development, applications, and future research directions. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, ISSN 0001-2351, Vol. 50(4), p. 1211-1250.

GAUTIER E., CORBONNOIS J., PETIT, F., ARNAUD-FASSETTA, G., BRUNSTEIN, D., GRIVEL, S. et HOUBRECHTS, G., 2009. Methodological approaches of sediment dynamics in active floodplains, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, issue 1, p. 65-78.

GAUTIER, E., 2006. *Recherches géomorphologiques sur le fonctionnement des plaines d'inondation. Approches croisées de trois grandes plaines.* Thèse HDR, Université Paris 1, vol.3, 208 p. + annexes.

GAWLER, M et BERIDOGO, B., 2002. *Projet d'appui a la gestion des zones humides dans le delta intérieur du fleuve Niger*. ARTEMIS Services pour la conservation de la nature et le développement humain, 55 p.

GEHEB, K. et GICHUKI, F., 2003. *Mekong Basin Profile: strategie research for enhancing agricultural water productivity.* Challenge Program on Water and Food, CGIAR, 97 p.

GEORGE P., GUGLIELMO R., KAYSER B. et LACOSTE Y., 1964. La Géographie Active. *Revue de géographie alpine*. Vol.53 (53-3), p. 491-497.

GEORGE, P et VERGER, F., 2013. *Dictionnaire de la géographie*. Presse Puf, 4e édition poche mise à jour, 457 p.

GIEC, 2007. *Bilan 2007 des changements climatiques*. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième. Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, …, 103 p.

GILARD O., 2006. Risques d'inondation dans le delta du fleuve Rouge. De la nécessité d'améliorer leur prise en compte dans le processus d'aménagement du territoire. Hérodote, No 121, « Menaces sur les deltas », deuxième trimestre 2006, p. 42-54.

GIRARD, M.C et GIRARD C.M., 2010. *Traitement des données de télédétection : Environnement et ressources naturelles.* Presse Dunod, 576 p.

GIRARD, M.C et GIRARD, C.M., 1999. *Traitement des données de télédétection*. Dunod, 530 p.

GNOUMA, R., 2006. *Aide à la calibration d'un modèle hydrologique distribué au moyen d'une analyse des processus hydrologiques : application au bassin versant de l'Yzeron* [Ressource électronique] sous la direction de B. Chocat et P. Breil. Ecole doctorale Mécanique, Energétique, Génie Civil, Acoustique de Lyon, 2006, 252 p + annexe. [réf. du 20 juin 2013]. Thèse doctorat : Génie Civil. Disponible sur :

http://docinsa.insa-lyon.fr/these/2006/gnouma/00_couverture.pdf

GOBRY, P., BARBIERI, M., DANG B.L. *et al.*, 2000. *Population et développement au Viêt-nam*. Éditions KARTHALA, CEPED, ISBN : 2-84586-108-7, p. 16-633.

GOUGAD., 1910. *Annuaire général de l'Indo-Chine française ["puis" de l'Indochine]* [en ligne]. IDEO-Ha Noi-Hai Phong, 481 p. [réf. du 11 novembre 2011]. Disponible sur:

http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5696645f/f5.image

GRATTON, Y., 2002. *Le Krigeage: la méthode optimale d'interpolation spatiale*, IAG, p. 1-4.

GRIVEL, S et GAUTIER, E., 2007. *Le SIG : aide à la connaissance et à la gestion des crues en Val de Loire, In A.* Giret (Ed) Le risque hydrologique : du concept à la gestion, Ed. Le Manuscrit Recherche-Université, p. 45-56.

GRIVEL, S et GAUTIER, E., 2012. Mise en place des îles fluviales en Loire moyenne, du 19e siècle à aujourd'hui/Etablishment and development of fluvial islands in the middle Loire River, from the 19th century up to now, *Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Environnement, Nature, Paysage*, article 615, non paginé. [réf. du 13 avril 2013]. Disponible sur :

http://cybergeo.revues.org/25451 ; DOI 10.4000/cybergeo.25451

GRIVEL S., TEMAM, S., TURCZI V., 2011. De la ville vulnérable à la ville durable face au risque d'inondation : le rôle des aménagements fluviaux en Loire nivernaise (Nevers et La Charité-sur-Loire). *Revue du Nord*, Hors-série, Collection Histoire n°26, Université Charles-de-Gaulle-Lille 3, p. 345-358.

GRIVEL, S., 2008. *La Loire des îles, du Bec d'Allier à Gien : rythmes d'évolution et enjeux de gestion* [Ressource électronique] sous la direction de E. Costard-Gautier. Université Paris VIII Vincennes-Saint Denis, 517 p. [réf. du 12 décembre 2011]. Thèse doctorat : Géographie et Aménagement. Disponible sur :

http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00455981/

GRIVEL, S., 2011. *Les îles de la Loire, ces lieux de biodiversité*. Etudes ligériennes, numéro double 19-20, p. 18-28.

GRIVEL, S., 2012. *La dynamique fluviale*. Livret scientifique pour la malle pédagogique sur la dynamique fluviale de la Loire et ses affluents, Université d'Orléans, LPO-Auvergne, Ecoumène, EP-Loire, 60 p.

GRUNTFEST, E., HANDMER, J., 2001. *Dealing with Flash Floods: Contemporary Issues and Future Possibilities*. In: Gruntfest, E., Handmer, J. (Eds), Coping with Flash Floods. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 3-10.

GUPTA A., 1996. Erosion and sediment yield in Southeast Asia: a regional perspective. In: Walling, D.E., Webb, B.W. (Eds.), Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives, vol.236. *International Association of Hydrological Sciences Publication, Wallingford*, p. 215–222.

GURNELL, A.M et MONTGOMERY, D.R., 1999. *Hydrological Applications of GIS* [en ligne]. Wiley, New York, NY, 184 p. [réf. du 16 mai 2012]. Disponible sur:

http://www.amazon.fr/Hydrological-Applications-Gis-A-M-Gurnell/dp/0471898767#reader_0471898767

HAMMOURI, N et NAQA, A.E., 2007. Hydrological modeling of ungauged wadis in arid environments using GIS: a case study of Wadi Madoneh in Jordan. *Revista Mexicana de Ciencias Géologicas*, Vol.24 (2), p. 185-196.

HO, T.K.L et UMITSU, M., 2011. Micro-landform classification and flood hazard assessment of the Thu Bon alluvial plain, central Vietnam via an integrated method utilizing remotely sensed data. *Applied Geography*, vol.31, p. 1082-1093.

HO, X.L., PHAM, T.L.Q., TO, T.N. et PHAM, T.C., 2005. *Les caractéristiques hydro-météorologiques de la province de Binh Dinh* (Đặc điểm khí tượng thủy văn tỉnh Bình Định). Institut de Planification de l'Irrigation du Viet Nam, Ha Noi, p. 4-61.

HOANG, B.T et NGUYEN, K.T., 2011. *Évolution de la population rurale au Vietnam* (Biến đổi dân số nông thôn ở Việt Nam) [en ligne]. Population et le développement, Ha Noi, n°12 (129), non paginé. [réf. du 6 octobre 2012]. Disponible sur :

http://www.gopfp.gov.vn/so-12-129;jsessionid=A29CF915FE73764F9D8A9B89F3B7EE70?p_p_id=62_INSTANCE_Z5vv&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-3&p_p_col_count=1&_62_INSTANCE_Z5vv_struts_action=%2Fjournal_articles%2Fview&_62_INSTANCE_Z5vv_groupId=18&_62_INSTANCE_Z5vv_articleId=84241&_62_INSTANCE_Z5vv_version=1.0

HOANG, K.H., BERNIER, M. et VILLENEUVE, R.P., 2007. *Les changements de l'occupation du sol et ses impacts sur les eaux de surface du bassin versant du fleuve Câu (Viêt-nam).* Actes des JSIRAUF, Hanoi, 12 p.

HOLGATE, S.J et WOODWORTH, P.L., 2004. Evidence for enhanced coastal sea level rise during the 1990s. *Geophys. Res. Lett*., vol.31, L07305, doi:10.1029/2004GL019626.

HOSTACHE, R., 2006. *Analyse d'images satellitaires d'inondations pour la caractérisation tridimensionnelle de l'alea et l'aide a la modélisation hydraulique* [en ligne] sous la direction de Christian Peuch. L'Unité Mixte de Recherche « Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale » Cemagref/ENGREF/CIRAD, Montpellier, 256 p. Thèse doctorat : Sciences de l'eau. [réf. du 15 mars 2011]. Disponible sur :

http://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00002016

HUBERT, G. et LEDOUX, B., 1999. *Le coût du risque…L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations.* Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, Paris, 232 p.

HUYNH, T., TRAN, P.H., LE, D.P. *et al.*, 2008. *Cartographie de la distribution de la composante magmatique au Sud du Viet Nam, échelle 1 : 500 000* (Bản đồ sự phân bố các thành tạo Magma xâm nhập ở miền nam Việt Nam). Université des Sciences et de la Nature, Ho Chi Minh-ville.

IEC 60300-3-9., (1995). *International Standard on Dependability Management - Part 3: Application Guide - Section 9 : Risk Analysis of Technological Systems.* International Standards Organization, Geneva, 67 p.

IFEN., 2002. *Catastrophes naturelles et plans de prévention des risques*. Les données de l'environnement, n°73, 4 p.

ISABELLE, A., 2010. *Du cadastre 2D vers un cadastre 3D*. Mémoire de travail, Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes, Suisse, p. 27-28.

ISO/IEC Guide 73., 2002. *Risk management - Vocabulary - Guidelines for use in standards* [en ligne]. 8 p. [réf. du 15 octobre 2013]. Disponible sur :

http://webstore.iec.ch/preview/info_isoiecguide73%7Bed1.0%7Db.pdf

JALLET, P et PAREIN, H., 2010. *Modélisation 3D d'une ZAC.* Projet EAU - Sujet n°16 - Modélisation d'une ZAC, p. 4-6.

JAYAKODY, P., 2008. *Hydrological modeling of Solani watershed using macro and micro scale hydrological models* [en ligne]. The Center for Space Science and Technology Education In Asia and The Pacific (CSSTEAP), Dehra Dun, India, non paginé. [réf. du 25 mai 2013]. Disponible sur :

http://cssteap.org/pilote_project/rs_gis/twelfth_course/jayakody/jayakody_text.htm

JOUSSEAUME V. et MERCIER D., 2009. Evaluer la vulnérabilité architecturale de l'habitat en zone inondable, in Peltier A. et Becerra S. (ed.), *Risques et environnement*

: recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés. Paris : L'Harmattan, p. 199-214.

JUNK, W.J., BAILEY, P.B. et SPARKS, R.E., 1989. The flood-pulse concept in river-floodplain systems. Can. Journ. Fish. Aquat. Sci., 106 : 100-127.

KATHIRESAN, K et BINGHAM, B.L., 2001. Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems. *Advances in Marine Biology*, Vol 40, p. 81-251.

KERVERN G-Y et BOULENGER, P., 2007. *Cyndiniques : Concepts et modes d'emploi*. Economica, Paris, Collection "Cindyniques – Sciences du danger", 101 p.

KLEIN J.L et LAURIN S., 1999. *L'Éducation géographique: formation du citoyen et conscience territoriale*. PUQ, p. 169-170.

KNIGHTON A. D., 1998. *Fluvial forms and processes*, London: Arnold, 383 p.

KOEHL M et DARWISH O., 2007. *Construction et intégration de maquettes 3D dans un SIG*. Conférences SIG 2007 - Versailles, Paris, p. 1-11.

KOEHL, M., MEYER, E., KOUSSA, C. ET LOTT, C., 2008. *SIG 3D et 3D dans les SIG : Application aux modèles patrimoniaux.* GéoEvénement, France, 15 p.

KONDOLF M.G et PIEGAY, H., 2003. *Tools in fluvial geomorphology*, J. Wiley and Sons, Chichester, Royaume Uni, 696 p.

LACHANCE, B., 2005. *Développement d'une structure topologique de données 3D pour l'analyse de modèles géologiques* [en ligne]. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Département des sciences géomatiques, Québec, Canada, non paginé. [réf. du 4 décembre 2010]. Disponible sur :

http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/22501/22501.html

LACINA, T., 2012. *Analyse des refoulements dans les réseaux de drainage urbain* [en ligne]. Mémoire présenté à l'Ecole de Technologie Supérieure, l'Université du Québec, 217 p. [réf. du 3 juin 2013]. Disponible sur :

http://espace.etsmtl.ca/1088/1/LACINA_Traor%C3%A9.pdf

LACOSTE, Y., 2003. *De la géographie aux paysages*. Presse l'Armand COLIN, 414 p.

LANE, E.W., 1995. *The importance of fluvial morphology in hydrologic engineering*. Proceedings American Society of Civil Engineers, no 81, p. 1-17.

LAURINI, R et MILLERET-RAFFORT, F., 1993. *Les bases de données en géomatique*. Paris, Hermès, 340 p.

LE BRIS, E et TAILLARD, C., 1988. Régionalisation et urbanisation dans le Centre du Vietnam : Les dimensions Scientifiques du débat sur l'aménagement du territoire [en ligne]. *Espace géographique*, Tome 27 n°2, p. 97-110. [réf. du 12 septembre 2012]. Disponible sur :

http://www.mgm.fr/affpdf?persee=spgeo_0046-2497_1998_num_27_2_1137

LE LOUARN, P., 2012. Le droit dans la tempête. *Norois*, 222-2012/1, p. 61-78.

LE, B.T., 1997. *Vietnam the country and its geographicalregions*, The Gioi Publishers, Hanoi, 617 p.

LEDUC, G.A. et RAYMOND, M., 2000. *L'évaluation des impacts environnementaux : un outil d'aide à la décision*. Éditions Multimondes, 403 p.

LE, N.T., TRAN, M.K. et TRAN, Q., 2010. *Recherche et adaptation sur le changement climatique dans le bassin versant de la Rivière Parfum et du district de Phu Vang de la province de Thu Thien-Hué, Viêt-Nam* (Một số kết quả bước đầu trong nghiên cứu biến đổi khí hậu và thích ứng với biến đổi khí hậu ở lưu vực sông hương và huyện phú vang, tỉnh Thừa Thiên Huế). 10ème Colloque d'Institut Hydrométéorologique du Vietnam, p. 342-349.

LE, T.N., 2011. Roles and challenges in hydroelectric - irrigational works in Central Viet Nam (Vai trò và những thách thức từ các công trình thủy điện-thủy lợi ở Miền Trung Việt Nam). *Journal scientifique*, l'Université de Hué, vol 68, 10 p.

LE, T.V., NGUYEN, T.T.T., TONG, P.H.S. *et al.*, 2010. Environmental quality of sediments in Thi Nai lagoon, Binh Dinh (Chất lượng môi trường trầm tích đầm Thị Nại, tỉnh Bình Định). *Journal Science and Marine Technology*, Viêt-Nam, T10, vol.4, 13 p.

LE, V.T., 2004. *Migration et Urbainisation au Viêt-Nam : Changement depuis la politique du « Renouveau »* [en ligne]. Institut de Recherche Économique, Ho Chi Minh ville, Vietnam, 44 p. [réf. du 4 décembre 2012]. Disponible sur :

http://www.archive-iussp.org/Brazil2001/s20/S28_P04_Le.pdf

LEDOUX, B., 2000. *Guide pour la conduite des diagnostics des vulnérabilités aux inondations pour les entreprises industrielles*. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques) – SAGERIS (Société d'Assistance à la gestion des Risques), 117 p.

LEDUC, G.A et RAYMOND, M., 2000. *L'évaluation des impacts environnementaux. Un outil d'aide à la décision*. Editions multimondes, 403 p.

LEONE F., VINET F., 2006. La vulnérabilité, un concept fondamental au coeur des méthodes d'évaluation des risques naturels, in LEONE F., VINET F. (dir.), *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Analyses géographiques*, Publications de l'Université Paul-Valéry Montpellier III, « EA GESTER », Géorisques, vol. 1, 2006, p. 9-25.

LEONE, F., MESCHINET DE RICHEMOND, N. et VINET, F., 2010. *Aléas naturels et gestion des risques*, Paris : PUF, 287 p.

LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. et MILLER, J.P., 1964. *Fluvial processes in geomorphology*. San Francisco, W.H. Freeman, 552 p.

LE T.C. et VO Q., 1994. Vietnam: environmental issues and possible solutions. *Asian Journal of Environmental Management*, vol. 2, no 2, p. 69–77.

LEULIETTE, E.W., NEREM, R.S. et MITCHUM, G.T., 2004. Calibration of TOPEX/Poseidon and Jason altimeter data to construct a continuous record of mean sea level change. *Mar. Geodesy*, vol.27(1–2), p. 79-94.

LEVY, J et LUSSAULT, M., 2005. *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Presse Belin, 979 p.

LEWIS, P., 2003. *New Orleans: The Making of an Urban Landscape*, 2nd Edition, Charlottesville, VA: The University Press of Virginia, 208 p.

LI, J et HEAP, A.D., 2008. *Spatial interpolation methods: a review for environmental scientists*. Geoscience Australia, Record. Geoscience Australia, Canberra, 154 p.

LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W. et CHIPMAN, J.W., 2007. *Remote Sensing and Image Iterpretation*. John Wiley&Sonc, Inc, 804 p.

LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. et PAULHUS, J.L.H., 1982. *Hydrology for Engineers*. 3 Edition, McGraw-Hill, 508 p.

LISLE, R.J., 2006. Google Earth© : A new geological resource. *Geology today*, vol. 22, p. 29-32.

LOINTIER, M., 1986. *Hydrodynamique et morphologie de l'estuaire du fleuve Sinnamary (Guyane Française)*. Congrès Régional de la SEPANGUY; Colloque SEPANRIT, (1), 10. Cayenne (GUF), p. 37-40.

LU, D., MAUSEL P., BRONDIZIO, E. et MORAN, E., 2004. Detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 25(12), p. 2365-2401.

LU, G.Y et WONG, D.W., 2008. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Comput Geosci* 34(9), p. 1044–1055.

LUHMANN, N., 1993. *Risiko un Gefahr*, in Soziologische Aufklärung, Bd 5, Konstruktivistische Perspektiven, Wiesbaden, DE, 2, Auflage, p. 126-162. Traduction Eon P.

« Risques et dangers », Montréal, QC, Presses de l'Université Laval, 2013.

LUONG, A.T., 2012. *Evaluation des risques d'inondations dans le bassin du fleuve Huong, province de Thua Thien Hué, centre du Viet Nam* [Ressource électronique] sous la direction de Roche Yann. Université du Québec à Montréal, 325 p. [réf. du 19 avril 2013]. Thèse doctorat : Sciences de l'Environnement. Disponible sur :

http://www.archipel.uqam.ca/4950/

LUONG, T.V., 2009. L'impact du changement climatique sur le développement durable et l'orientation adaptive dans la ville de Quy Nhon (Tác động của biến đổi khí hậu đến phát triển bền vững và định hướng thích nghi ở thành phố Quy Nhơn). *Un colloque international sur «Problèmes relatifs aux effets du changement climatique, les orientations futures pour la ville de Quy Nhon*. Le comité populaire provincial de Binh Dinh, le Fonds américain Rockefeller, l'Institut de transition socio-environnemental (ISET) et CtC (Challenge to Change). Février 2009.

LUU T.N.M., JOSETTE G., GILLES B., ORANGE D., NEMERY J . , LE P.Q., TRAN H.T. et LE L.A., 2010. Hydrological regime and water budget of the Red River Delta (Northern Vietnam). *Journal of Asian Earth Sciences,* vol.37, p. 219–228.

MAGNAN, A., DUVAT V. et GARNIER E., 2012. Reconstituer les « trajectoires de vulnérabilité » pour penser différemment l'adaptation au changement climatique. *Natures Sciences Sociétés*, 2012/1 Vol.20, p. 82-91.

MAI, T.T., 2009. *Georisques au Centre septentrional du Viet Nam* [Ressource électronique] sous la direction d'André Ozer – Belgique : Université de Liège, p. 4-5. [réf. du 5 décembre 2012]. Thèse doctorat : Sciences: Format pdf. Disponible sur :

http://bictel.ulg.ac.be/ETD-db/collection/available/ULgetd-03102009-115209/unrestricted/GeorisqueCentreNordVN.pdf

MALAVOI, J.R et BRAVARD, J.P., 2010. *Eléments d'hydromorphologie fluviale*. Onema, 224 p.

MANDIMBIHARISON, A.J et RAHARISON, L.R., 2003. Utilisation des SIG et de la télédétection pour la gestion de l'environnement urbain : cas de la ville d'Antanarivo (Madagascar). *Télédétéction*, vol, 3 (2-3-4), p. 237-247.

MANUELS RAMSAR 4E EDITION., 2010. *Manuel 15-inventaire des zones humides* [en ligne]. Cadre Ramsar pour l'inventaire et la description des caractéristiques écologiques des zones humides. 88 p. [réf. du 23 mai 2013]. Disponible sur :

http://www.ramsar.org/pdf/lib/hbk4-15fr.pdf

MANUELS RAMSAR 6E EDITION., 2013. *Guide de la Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971)*. Secrétariat de la Convention de Ramsar-2013, 120 p.

MARCELLE, V., 1965. Les conditions de l'écoulement dans le bassin de la Cèze. *Annales de Géographie,* t.74, n°405. p. 535-539.

MARET, I. et CADOUL, T., 2008. Résilience et reconstruction durable : que nous apprend La Nouvelle-Orléans ?. *Annales de Géographie*, 2008-5, 663, p. 104-124. DOI : 10.3917/ag.663.0104.

MARET, I. et GOEURY R., 2008. La Nouvelle-Orléans et l'eau : Un urbanisme à haut-risque. *Environnement urbain*, 2008 - Vol. 2, p. 107-122.

MARKS, K et BATES, P., 2000. Integration of high-resolution topographie data with flood plain flow models. *Hydrol. Processes: Geocomputation in Hydrology and Geomorphology,* Vol. 14 (11-12), p. 2109-2122.

MAS, J.F., 2000. Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement. *Journal Canadien de Télédétection,* vol. 26 (4), p. 349-362.

MASPERO, G., 1928. *Le royaume de Champa*. Editions Van Oest, Paris et Bruxelles, in-8^{o}, VII-278 p.

MASSON, V., VIGUIE, V., ZIBOUCHE, K., el al., 2012. *Modélisation urbaine et stratégies d'adaptation au changement climatique pour anticiper la demande et la production énergétique (MUSCADE)*. Commissariat général au développement durable – Direction de la recherche et de l'innovation, 13 p.

MAUBOURGUET M-M., CHORDA J., DARTUS D. et GEORGE J., 2007. MARINE : Prévision des crues éclair sur le Gardon d'Anduze. In: *HYdrological cycle in the Mediterranean Experiment*, 2007-01-09, France.

MAURIZOT, P et LAFOY, Y., 1999. *Cartographie des aléas naturels (Mouvements de terrain, érosion) dans le Territoire de Nouvelle-Calédonie, Zone de Tontouta*. Rap. BRGM R 40 776, 51 p.

MCCUEN, R. H., 1993. *Microcomputer Applications in Statistical Hydrology*, Prentice Hall, New Jersey, 306 p.

MCELWEE P., LE T.V.H., VU T.D.H. LE Q.T., NGUYEN H.T., LE A.T., DANG T.P. et NGUYEN T.D., 2010. *The Social Dimensions of Adaptation to Climate Change in Vietnam*. Discussion paper number 17, The World Bank, décembre 2010, 153 p.

MEADE R.H., 1996. *River-sediment inputs to major deltas.* In: Milliman, J.D., Haq, B.U. (Eds.), Sea-Level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences, and Strategies. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, p. 63– 85.

MEDD (Ministere de l'Ecologie et du Developpement Durable)-FRANCE., 2004a. *Les inondations : Dossier d'information*. Conception et réalisation : Alp'Géorisques [38420 Domène] et, Graphies [38240 Meylan] - Impression : Imprimerie du Pont-de-Claix [38640 Claix] / Alp'Géorisques, 24 p.

MEDD (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable)-FRANCE., 2004b. *Analyse des Risques et Prévention des Accidents Majeurs (DRA-34). Rapport Partiel d'Opération f Guide pour la prise en compte du risque inondation (Version 2004)*. 82 p.

MEDD-PRIM@., 2009. *Portail de la prévention des risques majeurs* [en ligne]. Ministère de l'écologie et du développement durable. [réf. du 12 octobre 2013]. Disponible sur :

http://www.prim.net/.

MEEDDAT., 2008. *AIDA, la réglementation des activités à risque* [en ligne]. In Circulaire du 02/10/2003 relative aux mesures d'application immédiate introduites par la loi n° 2003-699 en matière de prévention des risques technologiques dans les installations classées. [réf. du 10 octobre 2013]. Disponible sur :

http://www.nord-pas-de-calais.developpementdurable.gouv.fr/?Alea

MELLAC, M., FORTUNEL, F. et TRAN D.D., 2010. *La réforme foncière au Vietnam Analyse des jeux d'acteurs et du processus de transformation des institutions aux échelons central et provincial*. ADESS-Aménagement Développement Environnement Santé et Sociétés, UMR 5185, 197 p.

MENARD, S., DARVEAU, M. et IMBEAU, L., 2007. Histoire de la classification des milieux humides au Québec. *Le Naturaliste Canadien*, vol. 131 N°2, p. 85-90.

MERCIER, D et CHADENAS, C., 2012. La tempête Xynthia et la cartographie des « zones noires » sur le littoral français : analyse critique à partir de l'exemple de La Faute-sur-Mer (Vendée), *Norois* [En ligne], 222 | 2012, mis en ligne le 30 mars 2014, consulté le 11 septembre 2012. URL :

http://norois.revues.org/3895 ; DOI : 10.4000/norois.3895

MERKEL, W.H., 2002. *Muskingum-Cunge Flood Routing Procedure in NRCS Hydrologic Models*. Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, p. 1-12.

MEYER, C., GELDREICH, P. et YESOU, H., 2001. *Apport des données simulées SPOT 5 pour l'évaluation des dégâts de*

tempête dans la forêt de Haguenau (Alsace, France). Conférence SPOT 5 vers de nouvelles applications « vers de nouvelles applications », Toulouse 27-28 novembre 2001.

MEYFROIDT, P et LAMBIN, E.F., 2011. Global forest transition: prospects for an end to deforestation. *Annual Review of Environment and Resources* 36, p. 343–371.

MEYFROIDT, P et LAMPIN, E.F., 2008. The causes of the reforestation in Vietnam. *Land Use Policy,* vol 25, p. 182–197.

MINISTRE DES APPROVISIONNEMENTS ET SERVICES CANADA., 1994. Sommet international sur l'évaluation environnementale. Rapport Final. Québec, EN106-26/1994 F, 35 p.

MONTZ B.E., GRUNTFEST R., 2002. Flash flood mitigation: recommendations for research and applications. *Environmental Hazards*, 4, p. 15-22.

MOTTET, E et ROCHE, Y., 2008. L'urbanisation de la ville de Ninh Binh dans le delta du fleuve rouge (Vietnam) : mise en perspective des forces et faiblesses de la gestion du risque d'inondation [en ligne]. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, DOI : 10.4000/vertigo.7782, Volume 8 Numéro 3. [réf. 27 octobre 2013], Disponible sur :

http://vertigo.revues.org/7782

MRNE (Ministère des Ressources Naturelles et de l'Environnement)., 2009. *Climate change, sea level rise scenarios for Vietnam*. Hanoi, 34 p.

MUSY, A., 2003. *Hydrologie générale* [en ligne]. Non paginé. [réf. du 8 novembre 2010]. Disponible sur :

http://echo2.epfl.ch/e-drologie/

NAAH E., 2002. Zone tropicale humide : recherche et développement pour l'environnement en Afrique sub-saharienne. In : ORANGE DIDIER (ED.), ARFI ROBERT (ED.), Kuper M. (ed.), MORAND PIERRE (ED.), PONCET YVELINE (ED.), Témé B. (préf.) *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*. Paris (FRA) ; Bamako : IRD ; CNRST, 2002, p. 975-980. (Colloques et Séminaires). GIRN-ZIT : Gestion Intégrée des Ressources Naturelles en Zones Inondables Tropicales : Séminaire International, Bamako (MLI), 2000/06/20-23. ISBN 2-7099-1480-8

NANSON, G.C et CROKE, J.C., 1992. A genetic classification of floodplains. *Geomorphology*, 4, p. 459-486.

NASH, J. E et SUTCLIFFE, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, Vol.10 (3), p. 282–290.

NATIONS UNIES, 2005. *Cadre d'action de Hyogo pour 2005-2015: Pour des nations et des collectivités résilientes face aux catastrophes*. UNISDR, 22 Janvier 2005, A/CONF.206/6. Disponible sur : www.unisdr.org/2005/wcdr/.../Hyogo-framework-for-action-french.pdf

NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R., WILLIAMS, J.R. et KING, K.W., 2002. *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, verstion 2000.* Texas Water Resources Institute, College Station, Texas TWRI Report TR-191, 506 p.

NGUYEN, D et JOSEPH, B., 1998. *Cartographie de l'aléa inondation-Commune de Macouria (Guyane)*. Rap. BRGM R 40318, p. 1-23.

NGUYEN, D., LENOTRE N., ALLARD, J.F. et JOSEPH B., 1997. *Atlas des risques naturels-Cartographie des aléas*. Communes de Cayenne et Rémire-Montjoly (Guyane). Rap. BRGM R 39743, p. 1-39.

NGUYEN, D.D., 1996. Recherches sur le cadastre de dynastie de Nguyen, Binhdinh (épisode 1) *(Nghiên cứu địa bạ Triều Nguyễn, Bình Định -Tập 1).* Ho Chi Minh-ville, p. 129-130.

NGUYEN, D.N., 2009. *Terre a besoin de nous! Unissons-nous contre le changement climatique (Trái đất cần chúng ta! Hãy liên kết chống lại biến đổi khí hậu)* [en

ligne]. Ministère des Ressources naturelles et de l'Environnement, Ha Noi, 219 p. [réf. du 15 octobre 2012]. Disponible sur : http://vnu.edu.vn/219/219_page14to17.pdf

NGUYEN, D.Q., 1998. *L'histoire de la Partie de Quy Nhon entre 1930-1975 (Lịch sử đảng bộ thành phố Quy Nhơn (1930-1975)*. Quy Nhon, 115 p.

NGUYEN, H.C et TRAN, V.G., 2005. *Premier ouvrage de géographie et histoire de la province de Thu Thien-Hué (Dư Địa chí tỉnh Thừa Thiên Huế)* [en ligne]. Presses Sciences Sociales, Viêt-Nam, non paginé. [réf. du 8 janvier du 2013]. Disponible sur :

http://www3.thuathienhue.gov.vn/GeographyBook/

NGUYEN, H.H., NGUYEN, H.V., NGUYEN, D.L. et NGUYEN, H.B., 2011. *La gestion, l'exploitation, la protection et le développement des pêches dans la lagune de Tra O, la province de Binh Dinh (Nghiên cứu đề xuất giải pháp quản lý, khai thác, bảo vệ và phát triển thủy đặc sản tại đầm Trà Ổ- Bình Định)* [en ligne]. Centre du Développement Rural et de l'Agriculture de la province de Binh Dinh. [réf. du 19 octobre 2012]. Disponible sur :

http://skhcnbinhdinh.gov.vn/wp-content/Data/KyYeu/GiaiDoan2006-2010/PDF/NONGNGHIEP/Nghien%20cuu%20de%20xuat%20giai%20phap%20quan%20ly%20dam%20tra%20o.pdf

NGUYEN, N.H., 1996. *Vietnam coastal zone vunerability assessment*. Hanoi, Center for Consultancy and Technical Support of Meteorology, Hydrology and Environment, 5 p.

NGUYEN, T.D., 1999. *Mekong River and The Struggle For Indochina: Water, War and Peace* [en ligne]. Praeger, Westport, ISBN 0-275-96137-0, 267 p. [réf. du 1 juin 2012]. Disponible sur :

http://books.google.fr/books?id=RXbFclX4YcwC&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

NGUYEN, T.H., THIEU, Q.T., NGUYEN, T.T. *et al.*, 2005. *Caractéristiques des hydroclimatiques de la province de Binh Dinh (Đặc điểm Khí hậu-Thủy văn tỉnh Bình Định)*. Centre des Prévisions Météorologie – Hydrologie au Sud du Vietnam. Quy Nhon, p. 4-68.

NGUYEN, T.S et DANG, Q.P., 2003. *Mesures et ajustement des données hydrographiques* (Đo đạc và chỉnh lý số liệu thủy văn). Presse l'Université d'Ha Noi, p. 12-47.

NGUYEN, T.T.H., NGUYEN, N.B., NGUYEN, B.Q. NGO L.L., LE T.T.T., PHAM Q.V., DO X.S., LE V.C. et PHAN T.T.H., 2011. *Etude sur la prévention des inondations et le drainage dans les deux fleuves Tra Khuc et Ve, la province de Quang Ngai, Centre Viêt-Nam* (Nghiên cứu quy hoạch phòng chống và tiêu thoát lũ sông Trà Khúc và sông Vệ, tỉnh Quảng Ngãi). Institut de Géographie, Viêt-Nam, 82 p.

NGUYEN, V.L., NGUYEN, T.H., LUONG, T.A. BUI V.C., TRAN S.D., NGUYEN N.Q., LE V.D., LUONG N.Q. et HO V.S., 2009. *Carte d'inondation dans la province de Binh Dinh* (Xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt tỉnh Bình Định). Centre Hydrométéorologique de la Région litorale du Centre du Viêt-Nam, 118 p.

NGUYEN, V.Q., 2010. *Les monuments de Champa dans la province Thua Thien-Hué (Các di tích văn hóa Champa ở Huế* [en ligne]. Université d'Ha Noi. [réf. du 7 mai 2011]. Disponible sur :

http://tainguyenso.vnu.edu.vn/jspui/bitstream/123456789/1089/1/Di%20tich%20van%20hoa%20Champa.pdf

NIELSON P., CHINO T., BROWN M.M., WIECZOREK-ZEUL H., JOHNSTON D.J., TÖPFER K., BENN H., ZHANG S., KABBAJ., 2003. *Pauvreté et changements climatiques Réduire la vulnérabilité des populations pauvres par l'adaptation* [en ligne]. 68 p. [réf. du 11 octobre 2013]. Disponible sur :

http://www.oecd.org/fr/env/cc/36214804.pdf

NRCS (Natural Resources Conservation Service)., 2009. *National Engineering*

Handbook : Part 630, Hydrology. Chapter 7 : Hydrologic Soil Groups. United States, Department of Agriculture, 13 p.

OLIVER C.S.V., TOSHIO K., DAWEN Y., CHO THANDA N., DUONG V.K., NGUYEN L.C., 2009. Flood simulation using different sources of rainfall in the Huong River, Vietnam /Simulation d'inondation à l'aide de différentes sources d'information pluviométrique dans le bassin de la Rivière Huong,Vietnam. *Hydrological Sciences Journal*, 54:5, p. 909-917.

OSBAHR, H., TWYMAN, C. *et al.*, 2008. Effective livelihood adaptation to climate change disturbance: Scale dimensions of practice in Mozambique [en ligne]. *Géoforum*, Vol 39, Issue 6, p. 1951–1964. [réf. du 20 mars 2013]. Disponible sur :

http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016718508001000

OVEREEM, I et SYVITSKI, J.P.M., 2009. *Dynamics and Vulnerability of Delta Systems*. Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ), Reports and Studies No. 35, 56 p.

PAEGELOW, M., 2004. *Géomatique et géographie de l'environnement. De l'analyse spatiale à la modélisation prospective-Tome 1*. Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Toulouse Le Mirail, 211 p.

PARDE, M., 1993. *Fleuves et Rivières*. Armand Colin, Paris, 224 p.

PASKOFF, R., 1998. *Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution*. Paris, Armand Colin, 260 p.

PAUL, M., 2012. *La procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement (Québec méridional*). Journée l'Evaluation environnementale, pour toute la santé publique (JASP 2012), 10 p.

PAYAN, J.L., 2007. *Prise en compte de barrages-réservoirs dans un mdèle global pluie-débit* [en ligne] sous la direction de Charles Perrin. ENGREF (Paris), CEMAGREF (Antony), Ecole doctorale Gestion des Ressources Naturelles, 257 p. [réf. du 4 mai 2013]. Thèse doctorat : Sciences de l'Eau. Disponible sur :

http://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00003555

PEETERS, J., 1998. *Les zones humides - une source de vie*. Etat des lieux de la conservation des zones humides au Sénégal, 38 p.

PERRIN, C., GÖRGEN, K., SAUQUET, K. *et al.*, 2010. *The RheinBlick2050 and imagine 2030 projects : a perspective on the hydrological impacts of climate change in two river basins in Europe*. In Euraqua Symposium, Koblenz DEU, 13 p.

PETTS G.E. et GURNELL A.M., 2005. Dams and geomorphology: research progress and future directions. *Geomorphology* 71, p. 27-47.

PHAM, X.T., 2008. *Étude climatique de la mousson vietnamienne et applications à la prévision saisonnière* [Ressource électronique] sous la direction de Bernard FONTAINE. – Bourgone : Université de bourgogne, 175 p. [réf. du 20 septembre 2011]. Thèse doctorat : Climatologie. Format pdf. Disponible sur :

http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/45/41/91/PDF/These_Finale_v3.pdf

PHAN, T.L et NGUYEN, H.X., 2010. Kinds of weather causing flooding rain in the Kon river basin in Binh Dinh province (Các hình thế thời tiết gây mưa sinh lũ trên lưu vực sông Kôn tỉnh Bình Định). *Journal scientifique*, l'Université de Quy Nhon. Vol.2, 12 p.

PHUNG, B., 2011. Étude des techniques de production des huîtres de Crassostrea gigas (Nghiên cứu kỹ thuật sản xuất giống bám đơn và thử nghiệm nuôi thương phẩm hàu Thái Bình Dương và hàu muỗng tại tỉnh Bình Định). *Journal Scientifique et Technologique de la province de Binh Dinh*, n°4.

PIACENTINI, A., THUAL, O., JONVILLE, G. *et al.*, 2009. *Assimilation de données en hydraulique, maquette pour le modèle MASCARET. Technical Report*

TR/CMGC/10/16. CERFACS-Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique. 135 p.

PIGEON, PATRICK (dir.)., ROBIN, M., THOURET, J.C., D'ERCOLE, R., LEONE, F., GAILLARD, J.C., VINET, F., TAMRU, B., 2002. Approches géographiques des risques "naturels". *Annales de Geographie*, no 627-628, p. 452-651.

PILARCZYK, K.W., NGUYEN, S.N., 2005. Experience and practices on flood control in Vietnam. *Water International*, No 30 (1), p. 114-122

PILON P. J., DENGO M., BREWSTER M., PEICHERT H., CHAUDHRY A., SAINIO M. *et al.*, 2002. *Guidelines for Reducing Flood Losses* [en ligne]. International Strategy for Disaster Reduction, United Nations, 87 p. [réf. du 5 septembre 2013]. Disponible sur :

http://www.unisdr.org/files/558_7639.pdf

PINTO MARTINS, D., 2008. *Aménagements hydroélectriques et impacts sur la dynamique des flux d'eau et de sédiments. Le cas du haut Paraná, Brésil* [Ressource électronique] sous la direction de Jean-Paul BRAVARD. Université Lumière Lyon 2, non paginé. [réf. du 19 novembre 2012]. Thèse doctorat : Géographie, Aménagement et Urbanisme. Disponible sur :

http://theses.univ-lyon2.fr/documents/lyon2/2008/pintomartins_d#p=2&a=TH.2

PITIE, C et PUECH, P., 2010. *Expertise complementaire des zones de solidarite delimitees en Vendee suite a la tempete Xynthia survenue dans la nuit du 27 au 28 fevrier 2010*, Rapport de la mission n° 007336-01 du 16 septembre 2010, Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, 58 p.

PONCE, V.M., 1981. *Development of an Algorithm for the Linearized Diffusion Method of Flood Routing.* San Diego State University Civil Engineering Series No. 81144.

PONCE, V.M., 1989. *Engineering Hydrology, Principles and Practices*, Prentice Hall, p. 223-226.

POUGET, F et MAYAGUEZZ, H., 2009. *Méthodologie de zonage du risque de submersion marine. Cas du risque de Tsunami à Padang (Sumatra-Indonésie)* [en ligne]. 9 p. [réf. du 10 novembre 2011]. Disponible sur :

http://www.uplc17.org/wp-content/uploads/2012/03/Pouget_M%C3%A9thodologie-de-zonage-du-risquebd.pdf

POULIOT, J., LACHANCE, B., BRISEBOIS, A., RABAUD, O. et KIRKWOOD, D., 2003. 3D geological modeling : Are GIS or CAD appropriate? *Proceedings of ISPRS Workshop, WG II/5, II/6, IV/1 and IV/2 Joint Workshop on Spatial, Temporal and Multi-Dimensional Data Modelling and Analysis*. Québec, Canada, 7 p.

PPRNi-Risques Naturels d'Inondation de l'Yzeron, Note de présentation., 2012. *Dossier soumis à consultation et enquête publique*. Service Planification Aménagement Risques Unité Prévention des Risques, 35 p.

Project de CARE (Allemand) – DIPECHO (Européen)., 2008. *Renforcement de la réponse et le renforcement de la prévention et de l'information d'alerte et ainsi l'atténuation des effets des inondations-typhons dans la province de Binh Dinh* (Dự Án Sẵn sàng Ứng phó-Tăng cường năng lực phòng ngừa và thông tin cảnh bảo sớm và giảm nhẹ các ảnh hưởng do bão lũ tại Bình Định) (Getting Prepared – DIPECHO2) [en ligne]. 16 p. [réf. du 3 septembre 2009]. Disponible sur :

http://www.ccfsc.gov.vn/resources/ccfsc/images/download/So%20tay%20Bao%20Lu%20Tieng%20Viet.pdf

Publication, vol.163, p. 1-13.

QUENTIN, H., 2012. *Simulation d'inondation à partir de la Base de Données Topographiques du Rhône : le cas du Rhône de Tournon-sur-Rhône*

(Ardèche) à Donzère (Drôme). Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), N° d'ordre: IGN/DTSI/12.055, Université Paris Diderot, p. 21-41.

RAOUF, G., 2006. *Aide à la calibration d'un modèle hydrologique distribué au moyen d'une analyse des processus hydrologiques: application au bassin versant de l'Yzeron* [Ressource en ligne] sous la direction de Chocat Bernard et Breil Pascal. INSA de Lyon, 412 p. Thèse doctorat : Environnement. Disponible sur :

http://docinsa.insa-lyon.fr/these/2006/gnouma/00_couverture.pdf

RAPPORT DE L'OFFICE DES PUBLICATIONS OFFICIELLES DES COMMUNAUTES EUROPEENNES., 1992. *Mangroves d'Afrique et de Madagascar* [en ligne]. Luxembourg, 273 p. [réf. du 17 juin 2013]. Disponible sur :

http://bookshop.europa.eu/fr/mangroves-d-afrique-et-de-madagascar-pbCF7391732/

RAPPORT MONDIAL SUR LE DÉVELOPPEMENT HUMAIN., 2007 et 2008. *Chocs climatiques : risques et vulnérabilité dans un monde marqué par l'inégalité* [en ligne]. p. 73-107. [réf. du 15 janvier 2012]. Disponible sur :

http://hdr.undp.org/en/media/HDR_20072008_FR_Chapter23.pdf

RAU, J.Y et CHENG, C.K., 2013. A cost-effective strategy for multi-scale photo-realistic building modeling and web-based 3-D GIS applications in real estate. *Computers, Environment and Urban Systems,* vol.38, p. 35-44.

REFSGAARD, J.C et STORM, B., 1995. MIKE SHE dans V.P Singh éditeur : Computer models of watershead hydrology. *Water resources publications*, p. 809-846.

REGAZZONI, C., PAYRAUDEAU S. et GREGOIRE, C., 2010. *Livrable I : Synthèse bibliographique des outils d'évaluation du ruissellement* [en ligne]. Projet ENRHY, p. 10-11. [réf. du 25 juillet 2013] Disponible sur :

http://enrhy.unistra.fr/Photos_logos/Synth%C3%A8se%20bibliographique%20des%20outils%20d'%C3%A9valuation%20du%20ruissellement_sept2010.pdf

REGHEZZA M., 2009. Géographes et gestionnaires face à la vulnérabilité métropolitaine. Quelques réflexions autour du cas francilien. *Annales de géographie*, 2009/5 n° 669, p. 459-477. DOI : 10.3917/ag.669.0459

REGHEZZA, M., 2006. La vulnérabilité, un concept problématique [en ligne] in F., LEONE, et F., VINET, *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Analyses géographiques*, Montpellier, PULM, coll. Géorisque, n◦ 1, p. 35-40. [réf. du 10 septembre 2013]. Disponible sur :

http://www.univ-montp3.fr/gcrn/images/stories/Documents_pdf/georisques_1_lv_part1.pdf

RICHARD A., 2009. *Modélisation tridimensionnelle des écoulements et du transport de sédiments*. Institut National Polytechnique de Toulouse, 57 p.

ROBEQUAIN, C., 1948. *L'Indochine française*. Paris, Armand Colin, 224 p.

ROCHE, Y et DE KONINCK, R., 2002. Les enjeux de la déforestation au Vietnam [en ligne]. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, DOI : 10.4000/vertigo.4113, Vol.3, No1. [réf. du 12 Octobre 2013]. Disponible sur :

http://vertigo.revues.org/4113

ROUX, H., LABAT D., GARAMBOIS P-A., MAUBOURGUET M-M., CHORDA J. et DARTUS D., 2011. A physically-based parsimonious hydrological model for flash floods in Mediterranean catchments. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*. 11 . p. 2567-2582. ISSN Nat. Hazards Earth Syst. Sci.

SADLER, B., 1996. *Étude internationale sur l'efficacité de l'évaluation environnementale*. Rapport final. L'évaluation environnementale dans un monde en évolution. Évaluer la pratique pour améliorer le rendement, Travaux

publics et Services gouvernementaux, Ottawa, 300 p.

SAFFOUR, M.H., 2007. *Présentation de documents d'urbanisme et de simulation paysagère en 3D. Application à la Région Urbaine Grenobloise* [en ligne] sous la direction de Dubois-Maury Jocelyne. L'Université Paris 12-Val de Marne-IUP, p. 180-183. Thèse doctorat : Urbanisme. Disponibles sur :

http://doxa.u-pec.fr/theses/th0252497.pdf

SANDERS, L., 1989. *L'analyse des données appliquées à la géographie*. Montpelier, RECLUS, Coll. « Alidade », 268 p.

SARDOII, E. R., ROSTAMI, N., SIGAROUDI, S.K. et TAHERI, S., 2012. Calibration of loss estimation methods in HEC-HMS for simulation of surface runoff (Case Study: Amirkabir Dam Watershed, Iran). *Advances in Environmental Biology*, 6(1), p. 343-348.

SAREWITZ, D et PIELKE, J.R.R., 2001. Extreme events: a research and policy framework for disasters in context. *Geol. Revue,* vol.43, p. 406–418.

SAUJOT, M., CRIQUI, P., LEFEVRE, B. et MENANTEAU, P., 2012. La modélisation urbaine au service de l'analyse économique des politiques climatiques. *Collection « RéférenceS » de la Direction de la recherche et de l'innovation (DRI) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD)*, p. 107-120.

SCARWELL, H.J et LAGANIER, R., 2004. *Risque d'inondation et aménagement durable des territoires.* Presses Universitaires du Septentrion, 81 p.

SCHARFFENBERG, W.A et FLEMING, M.J., 2010. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS : User's Manual.* United States Army Corp of Engineering (USACE), 318 p.

SCHMUDDE, T.H., 1968. "Floodplain" in R.W. Fairbridge (*ed*), *The Encyclopedia of Geomorphology*. New York: Reinhold, p. 359-362.

SCHULZE, R.E., SCHMIDT, E.J. et SMITHERS, J.C., 1992. *PC Based SCS Design Flood Estimates for Small Catchments in Southern Africa, SCS- SA User Manual*. Pietermaritzburg, South Africa, University of Kwa-Zulu-Natal, Department of Agricultural Engineering, Report No.40, 78 p.

SCHUMM, S.A., 1977. *The fluvial system*, New York: Wiley, 338 p.

SCS (Soil Conservation Service)., 1986. *Urban hydrology for small watersheds, Techical Report 55*. USDA, Springfield, VA, 164 p.

SECRETAN, Y., LECLERC, M., DUCHESNE, S. et HENICHE, M., 2001. Une méthode de modélisation numérique de terrain pour la simulation hydrodynamique bidimensuonnelle. *Revue des Sciences de l'eau,* vol.14/2, p. 187-212.

SENFT, A.R., 2009. *Species diversity patterns at ecotones* [Ressource électronique] sous la direction de Robert Peet. L'Université de North Carolina et Chapel Hill, 62 p. [réf. du 17 novembre 2012. Mémoire du master : l'environnement et de l'écologie.]. Disponible sur :

http://labs.bio.unc.edu/Peet/theses/Senft_MS_2009.pdf

SEPASKHAH, A.R et BONDAR, H., 2002. Estimation of Manning Roughness Coefficient for Bare and Vegetated Furrow. *Biosystems Engineering*, vol.82 (3), p. 351–357.

SETH, S.M., 2008. *Role of Remote Sensing and GIS inputs in physically based hydrological modeling* [en ligne]. GIS development, Water resources, non paginé. [réf. du 3 août 2013]. Disponible sur :

http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/water/overview/wato0006.htm

SEYLER, F., MULLER, F., COCHONNEAU, G. et GUYO, L.P., 1999. Délimitation de bassins versants à partir d'un modèle numérique de terrain. Comparaison de différentes méthodes pour le bassin du Rio Negro (Amazone). *Hydrological and Geochemical Processes in Large Scale River Basins*, p. 3-4.

SHAW, R., 2006. Critical Issues of Community Based Flood Mitigation: Examples from Bangladesh and Vietnam. *Journal of Science & Culture*, Vol. 72 (1-2), 17 p.

SHEPARD, D., 1986. *A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data*. Proceedings of the 1968 ACM National Conference, p. 517–524.

SILVER L. M., 1999. La stratégie vietnamienne et le plan d'action pour limiter les catastrophes hydrauliques. Actes du séminaire international sur la « protection contre les inondations et crues au Viêt-nam : les besoins et la contribution possible de nouvelles technologies avancées de modélisation », Hanoï, 16 novembre 1999.

SITAYEB, T et BENABDELI, K., 2008. Contribution to the study of land-use dynamics in the plains of Macta (Algeria) with the aid of remote sensing and GIS, *Comptes Rendus Biologies*, Vol.331, Issue 6, p. 466–474.

SMITH G et FRIEDMAN J., 2004. 3D GIS: A technology Whose Time Has Come. *Earth Observation Magazine*, novmbre 2004.

SKAGGS, R.W et KHALEEL, R., 1982. *Infiltration, Hydrologic modeling of small water sheds.* American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph ; MI, p. 4-166.

SKOULIKARIS, C., 2008. *Modélisation appliquée à la gestion durable des projets de ressources en eau à l'échelle d'un bassin hydrographique*. *Le cas du Mesta-Nestos* [Ressource électronique]. ParisTech, cotutelle internationale avec l'Université Aristote de Thessalonique, Grèce, 306 p. [réf. du 15 août]. Thèse doctorat : Hydrologie et Hydrogéologie Quantitatives. Ecole Nationale supérieure des mines de Paris. Disponible sur :

http://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00004775

SLATER, W., 1993. *Designing spatial information systems to manage biodiversity information.* Canberra, Australie, 5 p.

SOENARIO, I et SLUITER, R., 2010. *Optimization of Rainfall Interpolation.* Interne rapport, De Bilt, p. 4-31.

SOES et MAGNIER, C., 2012. *La population exposée à des risques d'inondation.* Commissariat général au développement durable Service de l'observation et des statistiques, Observatoire des territoires, France, 5 p.

ŞORMAN, A.A., 2005. *Use of Satellite Observed Seasonal Snow Cover in Hydrological Modeling and Snowmelt Runoff Prediction in Upper Euphrates Basin, Turkey* [Ressource électronique] sous la direction de Canan Özgen. Middle East Technical University (METU), 233 p. [réf. du 14 avril 2012]. Thèse doctorat: Génie Civil. Disponible sur:

http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12606248/index.pdf

SOULIS, K. X et VALIANTZAS, J. D., 2012. SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds – the two-CN system approach. *Hydrol. Earth Syst*. Sci, vol.16, p. 1001–1015.

SPNE-Strategy and Policy on Natural resources and Environment, Viet Nam-United Nations Environment Programme (UNEP)., 2009. VARCC-*Vietnam assessment report on climate change*. Institute of strategy and policy on natural resources and environment, Hanoi, ISBN: 0-893507-779124, 127 p.

STEENHUIS, T.S., WINCHELL, M., ROSSING, J. *et al.*, 1995. SCS Runoff equation revisited for variable-source runoff areas. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, p. 121, 234-238.

STRAHLER, A.N et STRAHLER, A.H., 1973. *Environmental Geoscience: Interaction between Natural Systems and Man.* Santa Barbara, California: Hamilton Publishing Co, 604 p.

SUEUR, J.P., SASSEN, S., PORTZAMPARC, C. *et al.*, 2011. *Villes*

du futur, futur des villes. Quel avenir pour les villes du monde ? Tome 1 : Enjeux. SENAT, Session ordinaire de 2010-2011, No 594, 321 p.

TACNET, J.M et BURNET, R., 2007. *Risques naturels Organisation de la gestion et de la prévention en France : Eléments pour une comparaison transfrontalière Version 1.3* [en ligne]. PRINAT-Action n°2-Panorama de l'organisation de la gestion des risques naturels en France, 55 p. [réf. du 26 août 2013]. Disponible sur :

http://www.risknat.org/projets/prinat/pdf/synthese_gestion_risques_france.pdf

TEXIER, P., 2007. Les inondations de février 2007 dans les kampung pauvres de Jakarta [en ligne]. *EchoGéo*, Sur le Vif, DOI : 10.4000/echogeo.905, 20 p. [réf. du 25 octobre 2013]. Disponible sur :

http://echogeo.revues.org/905#tocto1n2

THE WORLD BANK., 2009. *L'IDA EN ACTION : Changement climatique et développement*. 9 p.

TIBERGHIEN, B., 2008. Gouvernance territoriale et gestion des risques naturels : le management des territoires à dangerosité inhérente. *Vie & sciences de l'entreprise*, N° 178, p.76-89. DOI : 10.3917/vse.178.0076

TINKLER, K.J., 1997. Critical flow in rockbed streams with estimated values for Manning's n. *Geomorphology* vol.20, p. 147-164.

TISON, L.J., 1939. La lutte contre les inondations en Belgique. *Ciel et Terre*, Vol. 55, p. 47-56.

http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1939C%26T....55...47T&defaultprint=YES&filetype=.pdf

TOCKNER, K., BAUMGARTNER, C., SCHIEMER, F. et WARD, J.V. 2000, *Biodiversity of a Danubian floodplain : structural, functional and compositional aspects*, In Biodiversity in wetlands : assessment, function and conservation. (Eds B. Gopal, W.J. Junk et J.A. Davis), Backhuys Publishers, Leiden, 1, 141-159.

TRAMBLAY, Y., 2012. *Modélisation des crues dans le bassin du barrage Makhazine, Maroc*. Institut de Recherche pour le Développement Hydrosciences-Montpellier, France, 34 p.

TRAN T., 2009. Landscapes of Mangrove Forests and Littoral Dynamics in the South Viêt-Nam. *Journal of Coastal Conservation* : Planning and Management, Springer Science, vol. 13 (2-3), p. 66-75.

TRAN, D.D., 2002. *Les fronts pionniers des paysans du delta tonkinois sur les plateaux centraux du Vietnam*. Thèse de doctorat non publiée, Département de géographie, Université Laval, 339 p.

TRAN, D.L et NGUYEN, X.B., 1985. *Cartographie de Géologie du Viet Nam, l'échelle 1 :500 000 (Bản đồ địa chất Việt Nam, tỉ lệ 1 :500 000, năm 1985).* Presses Département de géologie du Viet Nam.

TRAN, P et R. SHAW., 2007. Towards an integrated approach of disaster and environment management: A case study of Thua Thien Hue province, central Vietnam. *Environnemental Hazard*, Vol. 7(1), p. 271-282.

TRAN, P., MARINCIONI, F. *et al.*, 2007. Flood risk management 111 Central Vietnam : chanllenges and potentials. *Natural Hazards* 46(1), p. 119-138.

TRAN, T., 2012. *Climate change scenarios for Vietnam*. WISDOM, Can Tho, Vietnam, 21-23 février 2012, 97 p.

TRAN, T., HOANG, M.T. et HUYNH, T.L.H., 2010. *Mise en oeuvre de MIKE 11 GIS pour réaliser des scénarios d'inondation en aval de la Rivière des Parfums* (Ứng dụng mô hình MIKE 11 GIS tính toán cảnh báo ngập lụt hạ du sông Hương). 10ème Colloque de Institut Hydrométéorologique du Vietnam, p. 385-393.

TRAN, T.K., 1919. *Histoire du Viêt-Nam* (Việt Nam sử lược) [en ligne]. Ha Noi. [réf. du 24 novembre 2011]. Disponible sur :

http://lmvn.com/truyen/?func=viewpost&id=20vSGIpMomRZpgQqIUoOXWwLAUCV7BM6

TRAN, T.T.H., VO, S.T., NGUYEN, T.L. *et al.,* 2005. *Recherche, d'enquête et de recouvrement des écosystèmes dans le delta des fleuves* Ha Thanh *et Kon à la lagune de Thi Nai-2005 (Điều tra khảo sát và nghiên cứu phục hồi hệ sinh thái, sử dụng hợp lý và bảo tồn nguồn lợi vùng cồn chim – dầm Thị Nại, tỉnh Bình Định).* Centre des Pêches de la province de Binh Dinh, Viet Nam, Quy Nhon, p. 14-30.

TRAN, V.Q., 2001. *L'Arpenteur général* (Trắc địa đại cương). Presse de Construction d'Ha Noi, Ha Noi, p. 90-163.

TRICART, J., 1960. Mise au point : les types de lits fluviaux. *L'Information Géographique,* n° 5, p. 210-214.

TRUONG, D,T., NGUYEN, Q.V. et DO, T.V.H., 2012. Assessment of potential soil erosion by MMF model (revised morgan – morgan – finney) in Dakrong district, Quang Tri province, Vietnam. *Journal Science*, Hue University, Issu 74A, vol 5, p. 173-184.

TRUONG, D.H., 2010. *Secteurs économiques clés dans le Centre du Vietnam : Économie maritime* (Vùng kinh tế trọng điểm miền Trung: Trục kinh tế biển hùng mạnh) [en ligne]. L'Académie des sciences et des technologies du Vietnam, Hanoi. [réf. du 20 janvier 2013]. Disponible sur :

http://www.baomoi.com/Vung-kinh-te-trong-diem-mien-Trung-Truc-kinh-te-bien-hung-manh/45/3820602.epi

UJJIE, T., 2001. *Commentary on environmental sustainability*. Program Commentary, Partnership to Mitigate Natural Disasters in Central Vietnam (NDM).

USACE (United States Army Corp of Engineering)., 2000. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS : Technical reference manual*. 148 p.

USACE (United States Army Corps of Engineers)., 1998. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*. Davis, CA, United States Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Technical Reference Manual, CPD-74B, p. 18-22.

USDA (United States Department of Agriculture)., 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Spring field, VA, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Services, Conservation Engineering Division, Technical Release TR-55, 164 p.

USDA (United States Department of Agriculture)., 2004. *Hydraulics and Hydrology - Technical References NRCS National Engineering Handbook-Parte 630, chapitre 9.* Natural Resources Conservation Service, p. 1-13.

USDA (United States Department of Agriculture)., 2007. *Hydraulics and Hydrology - Technical References NRCS National Engineering Handbook-Parte 630, chapitre 7.* Natural Resources Conservation Service, p. 1-5.

VALERIANO, O.C.S., KOIKE, T., YANG, D., NYUNT, C.T., DUONG, V.K. et NGUYEN, L.C., 2009. Flood simulation using different sources of rainfall in the Huong River, Vietnam/Simulation d'inondation à l'aide de différentes sources d'information pluviométrique dans le bassin de la Rivière Huong, Vietnam. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 54(5), p. 909-917.

VALERIE, C., 2008. *Amélioration de la représentation géométrique 2D et 3D des agrégations de poissons en support à l'étude de leur évolution spatio-temporelle* [Ressource électronique] sous la direction de Mostafavi Mir Abolfazl et Devillers Rodolphe. L'Université de Laval Québec, non paginé. [réf. du 10 novembre 2011]. Thèse doctorat. Disponible sur :

http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/25876/25876.html

VALERY, M., VIGUIE, V., ZIBOUCHE, K. *et al.,* 2009. *Modélisation urbaine et stratégies d'adaptation au changement climatique pour anticiper la demande et la production énergétique (MUSCADE).* ANR / VD -

Agence Nationale pour la Recherche / Villes Durables, p. 2-12.

VAN DER NAT, D., TOCKNER, K., EDWARDS, P.J., WARD, J.V. et GURNELL, A.M., 2002. Habitat change in braided floodplains (Tagliamento, NE Italy). Freshwater Biology, 48: 1799-1812.

VANNOTE, R.L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R. et CUSHING, C.E., 1980. The river continuum concept. Can. Journ. Fish. Aquat. Sci., 37 : 130-137.

VATN, J., 2004. *Risk Analysis*. SINTEF, November 2004, 80 p.

VEILLEUX, C., 1994. *The state of Vietnam's Forests: Historical Perspectives on a Contemporary Dilemma*, in De Koninck, Le Défi Forestier en Asie du Sud-Est, p. 67-88. Vietnam Forestry Sector Review, 1991, Tropical Forestry Action Programme : main report. Hanoi (Viet Nam), ministère des Forêts.

VENTO, O., ROBERT, Y. et REY, F., 2002. *Influence de la végétation forestière sur la formation de dépôts sédimentaires en terrains marneux*. Géomorphologie: relief, processus, environnement, n°1, p. 85-92.

VERGER, F., 1991. Les deltas et leur aménagement [en ligne]. *Annales de Géographie*, Vol 100, n° 561-562, p. 730-769. [réf. du 10 février 2011]. Disponible sur :

http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_0003-4010_1991_num_100_561_21658

VERMEIJ, M et ZLATANOVA, S., 2001. *Semi-automatic 3D building reconstruction using Softplotter*. International Symposium on "Geodetic, Photogrammetric and Satellite Technologies – Development and Integrated Applications", Sofia, 10 p.

VERNARD, C., DELAITRE, E., CALLOT, Y. *et al.*, 2010. Exploitation d'images satellitales à très haute résolution spatiale fournies par Google Earth. Exemple d'application à l'étude de l'ensablement d'oliveraies en Tunisie. *Revue Télédétection*, vol. 9, n° 1, p. 59-71.

VEYRET, Y. et MESCHINET DE RICHEMOND, N., 2004. *Géographie des risques naturels en France : de l'aléa à la gestion*. Hatier, 254 p.

VEYRET, Y. et REGHEZZA M., 2005. Aléas et risques dans l'analyse géographique. *Annales des Mines*, vol.40, p. 61-69.

VEYRET, Y. et REGHEZZA M., 2006. Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité. *Annales des Mines*, vol.43, p. 9-13.

VILAIN M, 2012. *Méthodes expérimentales en agronomie : Pratique et analyse*. 2e édition, Lavoisier, 432 p.

VILLEGAS, P., 2004. *Flood modelling in Perfume River basin, Hue Province, Vietnam* [Ressource électronique] sous la direction de A. Gieske et A.M. van Lieshout. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands, 2004, 86 p. Thèse doctorat. Disponible sur:

http://www.itc.eu/library/Papers_2004/msc/wrem/villegas.pdf

VO, Q.M et NGUYEN, T.B.V., 2010. Simulation of inland water inundation depth under changing of elevation using geostatistics and spatial interpolation techniques. *Jounal of Science-Can Tho University*, vol.17a, p. 110-117.

VÖRÖSMARTY, C.J., SYVITSKI, J.P.M., DAY, J. *et al.*, 2009. Battling to save the world's river deltas. *Bulletin of the Atomic Scientists* (65), p. 31-43.

WACKERMANN, G., BATTIAU, M., BONNET, J. *et al.*, 2005. *Dictionnaire de géographie*. Presse Ellipses, 432 p.

WADE, S., RUDANT, J.P., BAL, K. et NDOYE, B., 2008. Télédétection et gestion des catastrophes naturelles: applications à l'étude des inondations urbaines de saint louis et du ravinement lié à l'érosion hydrique à Nioro-du Rip (Sénégal). *Revue Télédétection*, vol. 8, n° 3, p. 203-210.

WALAMU, M., BALLAIS, J-M. et DELORME, V., 2013. L'applicabilité de la méthode hydrogéomorphologique au domaine aride du Xinjiang (Chine) : le cas du bassin versant du Karakash [en ligne]. *Physio-Géo* [En ligne], DOI : 10.4000/physio-geo.3633, Vol.7. [réf. du 24 septembre 2013]. Disponible sur : http://physio-geo.revues.org/3633

WAFO TABOPDA G., 2010. SIG et gestion des aires protégées : Le cas du Parc national de Waza dans le Nord Cameroun [en ligne]. *Conférence Francophone Esri 2*9 et 30 septembre – Versailles. Disponible sur :

http://sig2010.esrifrance.fr/parc_waza_cameroun.aspx

WASHINGTON, D.C., 1991. *Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning*. Department of Regional Development and Environment, Executive Secretariat for Economic and Social Affairs, Organization of American States, p. 245-248.

WATEAU, L., 2002. *Estimation de la population en zone inondable par la méthode dite « INSEE »*. Guide pratique d'estimation de la population en zone inondable Diren Languedoc-Roussillon. 26 p.

WEBBER, L.M et ISON, R.L., 1995. Participatory Rural Appraisal Design : Conceptual and process issues. *Agricultural Systems*, vol.47 (1), p. 107-131.

WEBSTER, P.J., HOLLAND, G.J. CURRY, J.A. et CHANG, H.R., 2005. Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment [en ligne]. *Science*, DOI: 10.1126/science.1116448, 309 no, p1844-1846. [réf. du 20 octobre 2013]. Disponible sur :

http://www.sciencemag.org/content/309/5742/1844.full

WELCOMME, R.L., 1975. *L'écologie des pêches dans les plaines inondables africaines*. Archives de documents de la FAO, Doc.Tech.CPCA, no3, 51 p.

WINCHELLE, M., SRINIVASAN, R., DI LUZIO, M. et ARNOLD, J., 2007. *ArcSWAT interface for SWAT 2005-User's Guide*. Blackland Research Center, p. 1-2.

WISNER, B., BLAIKIE, P., CANNON, T., DAVIS, I., 2004. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*. Routledge, London.

WU, W., 2003. *Application de la geomatique au suivi de la dynamique environnementale en zones Arides — Exemple de la région de Nouakchott en Mauritanie, du Ningxia nord et du Shaanxi nord en Chine du nord-ouest* [en ligne] sous la direction de M.F. COUREL. L'Université de Paris 1-Panthéon-Sorbonne et de l'Ecole Pratique des Hautes études, 229 p. [réf. du 14 avril 2012]. Thèse doctorat : Géomatique. Format pdf. Disponible sur :

http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/04/46/46/PDF/Wu-these.pdf

XIAJOIN ZHU et GOLDBERG, A.B., 2009. *Introduction to Semi-Supervised Learning Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning.* Morgan & Claypool, 130 p.

YANG, X., DAMEN, M.C.J. et ZUIDAM, R.A.V., 1999. Satellite remote sensing and GIS for the analysis of channel migration changes in the active Yellow River Delta, China, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol 1, Issue 2, p. 146-157.

YENER, M.K., 2006. *Semi-Distributed hydrologic modeling studies in Yuvacik basin* [Ressource électronique]. Middle East Technical University, 196 p. [réf. du 8 juin 2013]. Thèse doctorat: Génie civil. Disponible sur:

https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12607684/index

YIN, H et LI, C., 2001. Human impact on floods and flood disasters on the Yangtze River. *Geomorphology*, vol 41, p. 105–109.

YOUNG G. (ed.), PERILLO G.M.E. (ed.), AKSOY H. (collab.), BOGEN J. (collab.),

GELFAN A. (collab.), MAHÉ GIL (collab.), MARSH P. (collab.), SAVENIJE H. (collab.), 2013. Deltas, ecosystems and human activities, *IAHS*, 2013, 240 p. (IAHS Publication ; 358). ISBN 978-1-907-161-36-0

YUAN, F., SAWAYA, K.E., LOEFFELHOLZ, B.C. et BAUER M.E., 2005. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, vol.98 (2-3), p. 317-328.

ZANINETTI, J.M et COLTEN, C. E., 2012. Shrinking New Orleans. Post-Katrina population adjustments, *Urban Geography*, 2012, Vol.33(5), p. 675-699.

ZANINETTI, J.M., 2005. S*tatistique spatiale, méthodes et applications géomatiques*. Paris – Londres : Hermes Science Publishing Lavoisier. Collection application des SIG, 320 p. ISBN 2-7462-1203-X

Page : 366

ZANINETTI, J.M., 2013a. *Catastrophes et adaptation sur le littoral du Mississippi*. Annales de géographie, n°692, p. 444-465.

ZANINETTI, J.M., 2013b. Adaptation urbaine post-catastrophe : la recomposition territoriale de La Nouvelle Orléans [en ligne]. *Cybergeo : European Journal of Geography*, Espace, Société, Territoire, DOI : 10.4000/cybergeo.25805, document 636. [réf. du 22 mai 2013]. Disponible sur :

http://cybergeo.revues.org/25805

ZANINETTI, J.M., 2011. La réévaluation des wetlands de la Nouvelle Orléans. *Revue du Nord* Hors Série n°26 2011. p. 319-330.

ZANINETTI, J.M., 2009. New Orleans in dangerous waters in Zaninetti, J.M., Sustainable Development in the USA. London – New York : ISTE – J. Wiley. p. 177-202.

ZHANG, X., ZWIERS, F.W., HEGERL, G.C. *et al.,* 2007. Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature,* vol. 448, no 7152, p. 461-465.

ZHOU Changjin et GUAN Zhihua., 2001. Reconfirmation on Identification of True Source and Headwater of Lancang Jiang (Mekong River) [en ligne]. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences ; Geographical Research,* vol. 20, n° 2. [réf. du 12 novembre 2012]. Disponible sur :

http://www.shangri-la-river-expeditions.com/1stdes/mekong/mekongsource/IGSNRR2001.html

ZIENKIEWICZ, O.C et MORGAN, K., 1983. *Finite Elements and Approximation*. John Wiley and Sons, Toronto, 328 p.

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Tables des figures

Tables des tableaux

Tables des photographies

TABLES DES FIGURES

Première partie : Les cadres d'étude

Figure 1.1. Type de catastrophes survenues dans le monde de 1990 à 2007 en nombre de sinistrés.... 19
Figure 1.2. Exemple d'inondation dans la plaine deltaïque. 21
Figure 1.3. Trois types d'inondation au Viêt-Nam 21
Figure 1.4. Fonctionnement du bassin versant 26
Figure 1.5. Exemple de concepts fondamentaux de l'hydromorphologie appliqués à l'étude dynamique du risque d'inondation. 28
Figure 1.6. Morphologie théorique d'un delta 29
Figure 1.7. Illustration de l'augmentation du débit de pointe de crue due à l'urbanisation. 31
Figure 1.8. Influence de la topographie au Centre du Viêt-Nam sur le risque d'inondation. 33
Figure 1.9. Moyennes annuelles du niveau moyen de la mer dans le Monde (MM) 34
Figure 1.10. Changement des températures (scénario d'émission moyen (B2 dans le Viêt-Nam. 36
Figure 1.11. L'intensité des typhons en fonction de l'échelle de Saffir-Simpson dans le monde entre 1970-2004 37
Figure 1.12. Typhons et tempêtes tropicales au Viêt-Nam entre 1945-2006 38

Figure 2.1. Les ensembles régionaux du Viêt-Nam 53
Figure 2.2. Les provinces du Centre du Viêt-Nam 54
Figure 2.3. Villes moyennes côtières au Centre du Viêt-Nam 55
Figure 2.4. Réseau de communication de la région littorale du Centre du Viêt-Nam 57
Figure 2.5. Position stratégique de la province de Binh Dinh au Viêt-Nam 59
Figure 2.6. Projets de développement économique actuels programmés pour la province de Binh Dinh 60
Figure 2.7. Deux tours de l'ensemble de Banh It (XIe siècle), village de Phuoc Hiep, district de Tuy Phuoc, de la province Binh Dinh 60
Figure 2.8. Evolution démographique de la province de Binh Dinh (1910-2010) 61
Figure 2.9. Niveaux d'échelles administratives au Viêt-Nam 62
Figure 2.10. Répartition de la population des quartiers de Quy Nhon 64
Figure 2.11. Localisation des quartiers Nhon Binh et Dong Da de la ville de Quy Nhon 66
Figure 2.12. Les climats du Viêt-Nam. (Source: Atlas du Viêt-Nam, 2010, p.7) 68
Figure 2.13. Précipitations et températures moyennes du Viêt-Nam. 68
Figure 2.14. Relief, réseau hydrographique et principales villes du Viêt-Nam 70
Figure 2.15. Nombre de dépressions tropicales et typhons au Viêt-Nam sur la période 1945-1998) ... 71
Figure 2.16. Fréquence des typhons au Viêt-Nam (1963 – 2010) 72
Figure 2.17. Les principales plaines deltaïques du Viêt-Nam 75

Figure 2.18. Topographie et hydrologie de la province de Binh Dinh 77
Figure 2.19. Les lagunes dans la province de Binh Dinh 78
Figure 2.20. Evolution de la valeur économique représentée par l'agriculture dans la province de Binh Dinh (2000-2011) 80
Figure 2.21. Occupation du sol de la province de Binh Dinh en 2009 81
Figure 2.22. Géologie de la province de Binh Dinh 82
Figure 2.23. Températures moyennes annuelles dans la province de Binh Dinh 83
Figure 2.24. Diagramme ombrothermique de la station météorologique de Quy Nhon (1982-2003) .. 84
Figure 2.25. Précipitations moyennes dans la province de Binh Dinh (1987-1999) 84
Figure 2.26. Les vents dans la province de Binh Dinh (1977-2003) 85
Figure 2.27. Intensité des typhons dans la province de Binh Dinh (1970-2009) 85
Figure 2.28. Localisation de bassin versant du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013) 86
Figure 2.29. Relief du bassin versant du fleuve Ha Thanh 87
Figure 2.30. Coefficient mensuel de débits pour le fleuve Ha Thanh depuis 1982 88
Figure 2.31. Estimation des débits moyens par mois depuis 1982 88
Figure 2.32. Morphologie-type d'un typhon 89
Figure 2.33. Pédologie du bassin versant du fleuve Ha Thanh 90
Figure 2.34. Géologie sur le bassin versant du fleuve Ha Thanh 91
Figure 2.35. Différentes échelles spatiales abordées dans le chapitre 1 92

Figure 3.1. Les échelles spatio-temporelles de l'analyse géographique 93
Figure 3.2. Démarche méthodologique dans l'analyse des risques naturels 94
Figure 3.3. Apports des photographies aériennes obliques dans l'évolution du paysage de la lagune de Thi Nai 97
Figure 3.4. Apports des clichés anciens et actuels pour l'évolution de la ville de Quy Nhon de 1930 à 2010 98
Figure 3.5. Mosaïque des images satellitales à l'aide d'un logiciel de DAO 98
Figure 3.7. Géoréférencement d'un jeu de données raster du bassin versant Ha Thanh 100
Figure 3.6. Organisation du S.I.G à l'échelle moyenne 101
Figure 3.8. Transformation de données matricielles en données vectorielles : exemple de la cartographie des précipitations moyennes annuelles de la province de Binh Dinh 102
Figure 3.9. Différents types d'aménagements fluviaux et leur légende dans le SIG 103
Figure 3.10. Extrait du tableau d'attribution d'une couche topographique 103
Figure 3.11. Extrait du tableau d'attribution d'une couche thématique 104
Figure 3.12. Identification sous SIG des activités humaines dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 105
Figure 3.13. Extrait du tableau d'attribution d'une couche thématique de population de la ville de Quy Nhon en 1976 105

Figure 3.14. Quelques images satellitales utilisées pour le bassin versant du fleuve Ha Thanh : Landsat 1988, 2002 et QuickBird de 2011 106
Figure 3.15. Organigramme de la méthodologie en télédétection..... 107
Figure 3.16. Classification supervisée d'image satellitale en 2002 sous le logiciel MultiSpec© 108
Figure 3.17. Exemple de l'occupation du sol du bassin versant en 2011..... 109
Figure 3.18. Méthode de levés topographiques dans le lit mineur du fleuve Ha Thanh 112
Figure 3.19. Méthodologie des mesures topographiques..... 113
Figure 3.20. Localisation des profils en travers 114
Figure 3.21. Étalonnage de mesure 115
Figure 3.22. Différence de niveaux d'eau sur le fleuve Ha Thanh..... 115
Figure 3.23. Mesure d'altitude par le théodolite 116
Figure 3.24. Méthodologie pour obtenir l'altitude de la digue 116
Figure 3.25. Profil en travers (P5) du fleuve Ha Thanh..... 117
Figure 3.26. Schéma de principe de l'élaboration d'une cartographie du risque d'inondation 118
Figure 3.27. Exemples d'archives photographiques..... 119
Figure 3.28. Création du MNT bathymétrique à partir des profils transversaux du fleuve Ha Thanh 120
Figure 3.29. Caractérisation du MNT dans la plaine du fleuve Ha Thanh..... 121
Figure 3.30. Exemple d'assemblage en raster 3D des MNT bathymétrique et terrestre (5 m de résolution) de la plaine du fleuve Ha Thanh 121
Figure 3.31. Caractérisation des constructions du 1D à la 3D 122
Figure 3.32. Exemple de représentation géométrique plane en 2D et 2D½..... 123
Figure 3.33. Représentations géométriques plane, 2,5D ou 3D 123
Figure 3.34. Structure de la base de données des bâtiments 125
Figure 3.35. Schéma des étapes de la cartographie 3D – SIG..... 126
Figure 3.36. Caractérisation du bâtit et des arbres en 3D..... 126
Figure 3.37. Exemple de modélisation urbaine de l'espace de la ville de Quy Nhon..... 127
Figure 3.38. Caractérisation des trois méthodes pour modéliser un bâtiment..... 128
Figure 3.39. Reconstitutions des toits : une ligne de contour, une ligne de faîtage et une enveloppe 128
Figure 3.40. Différence de constructions dans la plaine inondable du fleuve Ha Thanh..... 129
Figure 3.41. Différents types de bâtiments dans la zone inondable 130
Figure 3.42. Identification des bâtiments de la ville de Quy Nhon..... 131
Figure 3.43. Démarche méthodologique pour les enquêtes auprès des populations du delta 132
Figure 3.44. Stations dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 134
Figure 3.45. Schéma général de la modélisation hydrologique..... 135
Figure 3.46. Modèle conceptuel de la relation Pluie-débit..... 136

Figure 4.1. Morphologie et styles fluviaux du fleuve Ha Thanh..... 139
Figure 4.2. Typologie des différents types de plaine du fleuve Ha Thanh..... 140
Figure 4.3. Relations topographiques entre les lits 141
Figure 4.4. Morphologie du lit moyen du fleuve Ha Thanh..... 143
Figure 4.5. Les lits mineur, moyen et majeur dans l'hydrosystème fluvial du fleuve Ha Thanh..... 144
Figure 4.6. Typologie du lit fluvial dans le delta du fleuve Ha Thanh..... 145
Figure 4.7. Evolution du lit fluvial dans le delta du fleuve Ha Thanh (1988-2011) 146
Figure 4.8. Exemple l'évolution de la zone II dans le delta du fleuve Ha Thanh 147
Figure 4.9. Relief d'une plaine d'inondation du fleuve 147
Figure 4.10. Largeurs de la plaine d'inondation de bassin versant du fleuve Ha Thanh 148
Figure 4.11. Vue en coupe de la morphologie de la plaine inondable du fleuve Ha Thanh..... 149
Figure 4.12. Typologie des zones humides de bassin versant..... 151
Figure 4.13. Coupe Sud Ouest – Nord Est dans le delta du fleuve Ha Thanh..... 152
Figure 4.14. Zones humides du delta du fleuve Ha Thanh en 2011..... 152
Figure 4.15. Exemple de zones humides dans le delta du fleuve Ha Thanh 153
Figure 4.16. Répartition des surfaces des zones humides dans le delta du fleuve Ha Thanh (en %).. 153
Figure 4.17. Coupes transversales de la distribution des cortèges floristiques 154
dans le delta du fleuve Ha Thanh..... 154
Figure 4.18. Relation végétation-topographie-sédimentation le long du profil I dans le delta du fleuve Ha Thanh..... 156
Figure 4.19. Relation végétation-topographie-sédimentation le long du profil II dans le delta du fleuve Ha Thanh..... 157
Figure 4.20. Relation végétation-topographie-sédimentation le long du profil III dans le delta du fleuve Ha Thanh..... 158
Figure 4.21. Relation végétation-topographie-sédimentation le long du profil IV dans le delta du fleuve Ha Thanh..... 159
Figure 4.22. Les mangroves dans le delta du fleuve Ha Thanh 161
Figure 4.23. La zone tampon du delta du fleuve Ha Thanh en 1967 162
Figure 4.24. La zone tampon du delta du fleuve Ha Thanh en 2009 162
Figure 4.25. Evolution de l'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh..... 164
Figure 4.26. Variation des classes d'occupation du sol de 1988 à 2002, de 2002 à 2011 et de 1988 à 2011 dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 166
Figure 4.27. Evolution spatio-temporelle des changements de la forêt dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh. Causes de la déforestation dans le bassin du fleuve Ha Thanh :..... 169
Figure 4.28. Les impacts environnementaux sur le fleuve Ha Thanh..... 171
Figure 4.29. Typologie des endiguements du delta du fleuve Ha Thanh..... 173
Figure 4.30. Exemple de barrage-seuil et de barrage-écluse dans le delta du fleuve Ha Thanh..... 174

Figure 4.31. Hameau de Binh Thai du village de Phuoc Thuan du district de Tuy Phuoc 176
Figure 4.32. Bac pour le transport des personnes dans le hameau de Diem Van..... 176
Figure 4.33. Extraction de sable dans la province de Binh Dinh 178
Figure 4.34. Extraction de sable dans le lit moyen du fleuve Ha Thanh..... 178
Figure 4.35. Exemple d'extraction de sable au hameau de Diem Van du village de Phuoc Thuan en aval du fleuve Ha Thanh en 2013..... 180

Figure 5.1. Port de Quy Nhon en 1795 183
Figure 5.2. La ville de Quy Nhon en 1930..... 184
Figure 5.3. La ville de Quy Nhon vue en 1967 185
Figure 5.4. Division et établissement des quartiers de la ville de Quy Nhon en 1997..... 187
Figure 5.5. Qualification urbaine du Viêt-Nam selon la Circulaire conjointe 31/TTLT du 20/11/1990 188
Figure 5.6. Population et variation de population des quartiers de la ville de Quy Nhon (1976-1999) 189
Figure 5.7. Emprise au sol du centre urbain de la ville de Quy Nhon en 2012..... 190
Figure 5.8. Qualification urbaine du Viêt-Nam selon le décret de 42/2009/NĐ-CP du 7/5/2009 191
Tableau 5.2. Evolution démographique de la ville de Quy Nhon entre 1976-1999 et 1999-2009..... 192
Figure 5.9. Etat et variation de population des quartiers de la ville de Quy Nhon (1999-2009)..... 193
Figure 5.10. Le site de la ville de Quy Nhon 194
Figure 5.11. Bloc-diagramme (2D et 3D) du projet urbain à l'horizon 2020 196
Figure 5.12. Centre-ville, banlieue et île de la ville de Quy Nhon en 2020..... 197
Figure 5.13. Centre industriel et économique de Nhon Hoi – Quy Nhon ville..... 198
Figure 5.14. Le nouveau port de Thi Nai dans le quartier de Nhon Hoi..... 199
Figure 5.15. Evolution des axes du transport dans la ville de Quy Nhon (2004-2020) 201
Figure 5.16. Localisation du projet An Phu Thinh dans les quartiers Nhon Binh et Dong Da de Quy Nhon 203
Figure 5.17. Plan masse du projet An Phu Thinh dans les quartiers de Nhon Binh et de Dong Da ... 203
Figure 5.18. Occupation du sol du quartier de Dong Da en 2011 204
Figure 5.19. Occupation du sol du quartier de Nhon Binh en 2011..... 205
Figure 5.20. MNT et coupe du quartier de Dong Da 206
Figure 5.21. MNT et coupe du quartier de Nhon Binh 206
Figure 5.22. Cartographie mentale des paysans visualisant leurs terres soumises aux inondations avant la réalisation du projet de la nouvelle zone urbaine 207
Figure 5.23. Carte mentale des paysans visualisant leurs terres pendant la réalisation du projet de la nouvelle zone urbaine en 2012..... 208
Figure 5.24. Les changements anthropogéniques programmés dans le delta 209
Figure 5.25. Evolution en coupe du nouveau quartier de la ville de Quy Nhon de 2010 à 2020..... 210

Figure 5.26. Réélaboration numérique de la carte participative dans le nouveau quartier..... 211
Figure 5.27. Zone de mangrove située dans le nouveau quartier en 2010 213

Troisième partie : Etudes des vulnérabilités

Figure 6.1. Trajectoire du typhon Mirinae du 26 octobre 2009 au 2 novembre 2009..... 216
Figure 6.2. Etendue du typhon Mirinae sur l'Asie du sud-est..... 217
Figure 6.3. Chronologie et intensité des précipitations générées lors du déplacement du typhon Mirinae 218
Figure 6.4. Précipitations et pics de niveaux d'eau dans les cours d'eau de la province de Binh Dinh du 2 novembre, à 7h00, au 3 novembre 2009, à 23h..... 219
Figure 6.5. Histogramme des précipitations et hauteurs de l'inondation relevées à la station météorologique de Van Canh et à la station hydrologique de Dieu Tri du 2 novembre à 7h00, au 3 novembre 2009 à 0h00 220
Figure 6.6. Hauteurs d'eau dans les hameaux du delta du fleuve Ha Thanh (2-3/11/2009) 222
Figure 6.7. Evolution des pics des niveaux d'eau maximum à la station de Dieu Tri du fleuve Ha Thanh (1994-2011)..... 223
Figure 6.8. Grille de l'enquête menée dans le delta du fleuve Ha Thanh 232
Figure 6.9. Répartition des échantillons de l'enquête dans le delta du fleuve Ha Thanh..... 233
Figure 6.10. Niveaux de crue relevés en novembre 2009 dans le delta du fleuve Ha Thanh..... 239
Figure 6.11. Chronologie de la crue du 2-3 novembre 2009 dans le delta du fleuve Ha Thanh 241
Figure 6.12. Complexité du système de gestion des inondations et des tempêtes dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 252
Figure 6.13. Dépression tropicale sur Quy Nhon, le 14 novembre 2010 254
Figure 6.14. Tempête tropicale Gaemi, le 6 octobre 2012 255
Figure 6.15. Dépression tropicale dans la province de Binh Dinh, le 14 novembre 2013 256

Figure 7.1. Schéma conceptuel du fonctionnement hydrologique selon le modèle HEC-HMS© pour le bassin versant du fleuve Ha Thanh 262
Figure 7.2. Résultat de l'extraction du bassin versant à partir du MNT 271
Figure 7.3. Schéma de bassin par les outils de *HEC-HMS*© 272
Figure 7.4. Précipitations mesurées aux stations pluviométriques de Van Canh et de Quy Nhon du 2 au 3 novembre 2009..... 273
Figure 7.5. Exemple d'interpolation IDW entre les deux stations pluviométriques (Quy Nhon et Van Canh) pour la tranche horaire 16-17 h du 2 novembre 2009..... 273
Figure 7.6. Précipitations dans les sous-bassins 2, 3, 4 et 5 par la méthode d'interpolation IDW à partir des données des stations pluviométriques de Van Canh et Quy Nhon pour la période du 2 au 3 novembre 2009 274

Figure 7.7. Estimation du coefficient de ruissellement (CN) dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 276
Figure 7.8. Exemple de choix des coefficients pour le sous-bassin 2 du bassin versant du fleuve Ha Thanh sous *HEC-HMS*© 278
Figure 7.9. Exemple de routage hydrologique sous *HEC-HMS*© au profil 17 (P-17), à l'amont du fleuve Ha Thanh 281
Figure 7.10. Exemple d'occupation de la strate arbustive dans le lit du fleuve Ha Thanh, à la saison de basses eaux 282
Figure 7.11. Débits calculés, niveaux d'eau et pluie mesurés à la station de Van Canh du 2 au 3 novembre 2009 283
Figure 7.12. Débits calculés niveaux d'eau mesurés à la station hydrologique de Dieu Tri et pluies mesurées à la station de Quy Nhon, les 2 et 3 novembre 2009 283
Figure 7.13. Exemple des vitesses d'écoulement à l'aval du fleuve Ha Thanh pendant d'inondation en 2009 284
Figure 7.14. Relation entre les débits simulés par *HEC-HMS*© et les niveaux d'eau observés à la station hydrologique de Van Canh, les 2 et 3 novembre 2009 285
Figure 7.15. Relation entre les débits simulés par *HEC-HMS*© et les niveaux d'eau observés à la station hydrologique de Dieu Tri le 2 novembre 2009 à 1h et le 3 novembre 2009 à 23h 285
Figure 7.16. Paramètres utilisés dans *HEC-HMS*© pour le sous-bassin Binh Tuong du bassin versant du fleuve Kon 286
Figure 7.18. Calage sous *HEC-HMS*© de l'évènement du 1er novembre 2009 au 30 novembre 2009, à la station de Binh Tuong sur le fleuve Kon 287
Figure 7.18. Validation sous *HEC-HMS*© de l'évènement du 1er novembre 2009 au 30 novembre 2009, à la station de Binh Tuong du fleuve Kon 287
Figure 7.19. Les paramètres utilisés dans *HEC-HMS*© pour la validation du sous-bassin Binh Tuong du bassin versant du fleuve Kon 288
Figure 7.20. Passage d'un limnigramme à un hydrogramme par l'intermédiaire de la courbe de tarage 291

Figure 8.1. Spatialisation élémentaire des risques 293
Figure 8.2. Caractéristiques de l'aléa d'inondation 294
Figure 8.3. Sites d'enquêtes et de mesures de la hauteur de l'inondation historique (novembre 2009) dans le delta du fleuve Ha Thanh 295
Figure 8.5. Surface de chaque classe des hauteurs de l'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh 295
Figure 8.4. Hauteur de l'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh en 2009 296
Figure 8.6. Zone tampon à proximité des chenaux d'écoulement dans le delta du fleuve Ha Thanh.. 298
Figure 8.7. Exemple de remblais et des hauteurs de route et voie ferrée dans le delta du fleuve Ha Thanh 299

Figure 8.8. Zone bâtie protégée par une digue 300
Figure 8.9. Cinétique de submersion 300
Figure 8.10. Exemple des zones dans et hors des "casiers " dans le delta du fleuve Ha Thanh 300
Figure 8.11. Indentification des zones hors des "casiers", dans le delta du fleuve Ha Thanh 301
Figure 8.12. Intersection des cartes thématiques pour réaliser une carte de l'aléa inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh 302
Figure 8.13. Carte de l'aléa inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh 302
Figure 8.14. Pourcentage de surface des niveaux de l'aléa d'inondation pour chaque quartier/village dans le delta du fleuve Ha Thanh 303
Figure 8.15. Schéma pour estimer une densité de population dans des zones inondables du delta 304
Figure 8.16. Emprise spatiale des zones inondables dans le delta 305
Figure 8.17. Densité de population en zone inondable dans le delta du fleuve Ha Thanh 306
Figure 8.18. Typologie de zone bâtie dans le delta du fleuve Ha Thanh 307
Figure 8.20. Superficie en pourcentage des zones de risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh 308
Figure 8.19. Carte des zones à risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh 309
Figure 8.21. Pourcentage de surface des niveaux du risque d'inondation pour chaque quartier/village dans le delta du fleuve Ha Thanh 310
Figure 8.22. Schématisation de la modélisation de la zone inondable 310
Figure 8.23. Caractéristiques de la zone sélectionnée 311
Figure 8.24. Vecteurs, Raster et MNT de la zone-test 312
Figure 8.25. Exemple d'une modélisation 3D du bâti de la zone inondable 313
Figure 8.26. Identification des bâtiments de la zone d'étude 314
Figure 8.27. Exemple de mesure des hauteurs atteintes lors de la crue historique de 2009 315
Figure 8.28. Cartographie 3D de l'évaluation du risque inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh 315
Figure 8.29. Exemple de maisons « dangereuses » et « trop dangereuses » dans la zone-test 316
Figure 8.30. Typologie de la vulnérabilité du bâti dans la zone inondée du delta du fleuve Ha Thanh 318
Figure 8.31. Représentation 3D de la typologie de la vulnérabilité dans la zone-test inondable 318
Figure 8.32. Evolution des conditions d'écoulement dans le delta du fleuve Ha Thanh 321
Figure 8.33. Phases de gestion du risque d'inondation dans la province de Binh Dinh 325
Figure 8.34. Procédures de réalisation d'un web-SIG pour le bassin versant du fleuve Ha Thanh 326
Figure 8.35. Exemple de page d'accueil du site Hydro-réel pour le bassin versant du fleuve Ha Thanh .. 327
Figure 8.36. Exemple de mise en page des données disponibles à la station hydrologique de Dieu Tri .. 328

TABLES DES TABLEAUX

Première partie : Les cadres d'étude

Tableau 1.1. Des inondations classées par continent de 1900 à 2013 22
Tableau 1.2. Typologie des catastrophes naturelles par région du Viêt-Nam 23
Tableau 1.3. Bilan des catastrophes naturelles au Viêt-Nam de 1900 à 2013 24
Tableau 1.4. Scénario de l'évaluation du niveau de la mer en 2100 au Viêt-Nam 35
Tableau 1.5. Changements des précipitations annuelles (%) pour le scénario d'émission moyen (B2) par rapport à la période 1980-1999 au Viêt-Nam 37
Tableau 1.6. Croissance des surfaces de mangrove entre 1940-2005 40

Tableau 2.1. Les régions du Viêt-Nam 54
Tableau 2.2. Evolution programmée des villes 58
Tableau 2.3. Les districts et la ville de Quy Nhon dans la province de Binh Dinh 62
Tableau 2.4. Données climatologiques les régions du Viêt-Nam (1998-2008) 69
Tableau 2.5. Caractéristiques des principaux bassins versants dans la province de Binh Dinh 79
Tableau 2.6. Occupation du sol dans la province de Binh Dinh 80
Tableau 2.7. Les types de sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 91

Tableau 3.1. Rasters utilisés 96
Tableau 3.2. Références des photographies anciennes 97
Tableau 3.3. Données vectorielles 99
Tableau 3.4. Récapitulatif des images satellites utilisées 107
Tableau 3.5. Classes thématiques appliquées pour la classification supervisée 108
Tableau 3.6. Données topographiques utilisées et créées dans la thèse 110
Tableau 3.7. Caractérisation des données sous le SIG 3D 124
Tableau 3.8. Comparaison des standards de modélisation 3D 128

Deuxième partie : Les caractéristiques physiques et humaines

Tableau 4.1. Caractérisation des axes fluviaux dans le delta du fleuve Ha Thanh (1988-2011) 146
Tableau 4.2. Classifications des zones humides 150
Tableau 4.3. Superficie et pourcentage de l'occupation du sol par le bassin versant Ha Thanh (1988-2011) 165
Tableau 4.4. Croissance d'occupation du sol par le bassin versant Ha Thanh (1988-2011) 165
Tableau 4.5. Evolution annuelle moyenne de la surface de mangrove dans le delta du fleuve Ha Thanh 180

Tableau 5.1. Evolution de la population et extension de la ville de Quy Nhon (1976-2009) 190
Tableau 5.3. Croissance de la superficie et de la population de trois villes du Viêt-Nam 195

Troisième partie : Etudes des vulnérabilités

Tableau 6.1. Niveaux d'alertes de crue dans les rivières de la province de Binh Dinh 218
Tableau 6.2. Bilan du passage du Typhon Mirinae dans les provinces touchées..... 224
Tableau 6.3. Représentation des données de la question 1.1 233
Tableau 6.4. Représentation des données de la question 1.2 234
Tableau 6.5. Représentation des données de la question 2.1 234
Tableau 6.6. Représentation des données de la question 2.2 235
Tableau 6.7. Représentation des données de la question 2.3 235
Tableau 6.8. Représentation des données de la question 2.4 235
Tableau 6.9. Représentation des données de la question 3.1 236
Tableau 6.10. Représentation des données de la question 3.2 236
Tableau 6.11. Représentation des données de la question 3.3 237
Tableau 6.12. Représentation des données de la question 3.4 238
Tableau 6.13. Représentation des données de la question 3.5 (niveau de l'eau) 239
Tableau 6.14. Représentation des données de la question 3.5 (vitesses des courants)..... 240
Tableau 6.15. Représentation des données de la question 3.5 (plusieurs courants)..... 240
Tableau 6.16. Représentation des données de la question 4.1 241
Tableau 6.17. Représentation des données de la question 4.2 242
Tableau 6.18. Représentation des données de la question 4.2 242
Tableau 6.19. Représentation des données de la question 4.2 243
Tableau 6.20. Représentation des données de la question 4.3 244
Tableau 6.21. Représentation des données de la question 4.4 245
Tableau 6.22. Représentation des données de la question 4.5 245
Tableau 6.23. Représentation des données de la question 4.5 246
Tableau 6.24. Représentation des données de la question 5.1 246
Tableau 6.25. Représentation des données de la question 5.2 247
Tableau 6.26. Représentation des données de la question 6.1 247
Tableau 6.27. Représentation des données de la question 6.2 248
Tableau 6.28. Représentation des données de la question 6.3 248
Tableau 6.29. Représentation des données de la question 6.4 249
Tableau 6.30. Représentation des données de la question 6.5 250
Tableau 6.31.Précipitations relevées aux stations météorologiques dans la province de Binh Dinh du 14 novembre à 7h, au 19 novembre 2010 à 24h..... 254
Tableau 6.32. Précipitations relevées aux stations météorologiques dans la province de Binh Dinh du 3 octobre au 8 octobre 2012 255

Tableau 6.33. Précipitations relevées aux stations météorologiques dans la province de Binh Dinh du 14 novembre au 15 novembre 2013 256

Tableau 7.1 : Le SCS groupes de sols et les taux d'infiltration 265
Tableau 7.2. Répartition de la pédologie dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 275
Tableau 7.3. Occupation du sol et de la superficie dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 275
Tableau 7.4. Estimation du CN moyen et les paramètres du modèle de transfert 276
pour chacun des sous bassins versants du fleuve Ha Thanh 276
Tableau 7.5. Paramètres de Snyder dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 277
Tableau 7.6. Débit de base constant dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 279
Tableau 7.7. Paramètres pour le modèle Muskingum – Cunge Routing 280
dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 280
Tableau 7.8. Vitesse moyenne de propagation du pic de crue entre les 2 stations hydrologiques dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 284
Tableau 7.9. Calage du modèle HEC-HMS© pour les débits simulés à la station de Binh Tuong sur le fleuve Kon 287

Tableau 8.1. Estimation de la densité de population en zone inondable dans le delta du fleuve Ha Thanh 306
Tableau 8.2. Caractérisation du bâti dans la zone-test 314
Tableau 8.3. Estimation des maisons « dangereuses » et du nombre de personnes résidant en zone à risque d'inondation 316
Tableau 8.4. Caractérisation des enjeux exposés en zone-test 317
Tableau 8.5. Répartition du nombre de bâtiments et d'habitants par type de vulnérabilité 318

TABLES DES PHOTOGRAPHIES

Première partie : Les cadres d'étude

Photographie 2.1. Dommages causés par le typhon Lekima en 2007 72
Photographie 3.1. Réunions communautaires et séance de cartographie participative dans le cadre du projet de la nouvelle zone urbaine 'An Phu Thinh', de Quy Nhon 134

Deuxième partie : Les caractéristiques physiques et humaines

Photographie 4.1. Exemple de lit mineur à l'aval du fleuve Ha Thanh 141
Photographie 4.2. Lit d'étiage du fleuve Ha Thanh dans la période de basses eaux 142
Photographie 4.3. De gauche à droite : lit mineur, chenal d'étiage, talus, lit moyen du fleuve Ha Thanh 142
Photographie 4.4. Exploitation des carrières dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh 169
Photographie 4.5. Ecobuage sur la colline de Bahoa de la ville de Quy Nhon en 2010 169
Photographie 4.6. Cultures vivrières (pieds de maniocs) à l'amont du fleuve Ha Thanh 170
Photographie 4.7. Exemple de digues le long du fleuve Ha Thanh 173
Photographie 4.8. Extraction de sable dans le lit mineur du fleuve Ha Thanh 177
Photographie 5.1. Front balnéaire de la ville de Quy Nhon 199
Photographie 5.2. Pont de Thi Nai de la ville de Quy Nhon 201
Photographie 5.3. Sables du lit du fleuve Ha Thanh pour la construction 212
Figure 5.27. Zone de mangrove située dans le nouveau quartier en 2010 213
Photographie 5.4. Résidus de mangrove le long des digues de pisciculture dans le nouveau quartier en 2012 213

Troisième partie : Etudes des vulnérabilités

Photographie 6.1. Exemple de maisons inondées lors de la tempête Mirinae 222
Photographie 6.2. Maisons inondées dans le quartier de Nhon Binh à Quy Nhon, 3 novembre 2009 225
Photographie 6.3. Dégats sur les voies de communication dans les districts de Nhon Binh et de Dong Da à Quy Nhon (4 novembre 2009) 226
Photographie 6.4. Endommagements sévères de l'unique voie ferrée, dans le quartier de Dong Da.. 227
Photographie 6.5. Rue de Tran Hung Dao du quartier de Tran Hung Dao (3 novembre 2009)..... 227
Photographie 6.6. Tank pour la recherche et le sauvetage de victimes dans la ville de Quy Nhon (3 novembre 2009) 230
Photographie 6.7. Exemple l'enquête sur les hauteurs crues dans le delta du fleuve Ha Thanh..... 234
Photographie 6.8. Exemple de dégât matériel causé par le typhon en 2009 237
Photographie 6.9. Digue en construction sur le fleuve Ha Thanh 244
Photographie 6.10. Barrage construit en bambous sur le fleuve Ha Thanh 244
Photographie 6.11. Inondation du village de Dieu Tri en aval du fleuve Ha Thanh 257
Photographie 6.12. Maison endommagée de Đồng Văn Cường du district de Phu My (en aval du fleuve Kon) 257

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS **1**

SOMMAIRE **3**

ACRONYMES **5**

INTRODUCTION GENERALE **7**

A. Contexte de recherche **8**

1. Les plaines côtières du centre du Viêt-Nam : des systèmes fluviaux mal connus 9

2. Les deltas : des milieux humanisés très vulnérables aux changements environnementaux. 10

3. De la définition de l'aléa à la gestion du risque hydrologique 12

4. L'évaluation environnementale 14

B. Organisation générale de la thèse **16**

PREMIERE PARTIE. LES CADRES DE L'ETUDE **17**

Chapitre 1 - Le cadre théorique **18**

1.1. De la définition de l'aléa à la gestion du risque d'inondation au Viêt-Nam 18

1.1.1. Le risque d'inondation et ses effets 18

1.1.2. Les apports de l'hydromorphologie dans l'étude intégrée des risques hydrologiques 25

1.1.3. Risque : aléa, enjeu et vulnérabilité 29

1.2. La gestion du risque d'inondation au Viêt-Nam 32

1.2.1. Les enjeux liés à la gestion du risque d'inondation au Viêt-Nam 32

1.2.2. La gestion des inondations au Viêt-Nam 44

1.3. L'évaluation environnementale par la géomatique dans l'étude des risques naturels 46

1.3.1. L'évaluation environnementale : histoire et définition 47

1.3.2. L'utilisation de la géomatique 50

Chapitre 2- Le cadre géographique **52**

2.1. Le Centre-Viêt-Nam : développement des villes moyennes côtières 52

2.1.1. Le fait urbain au Centre du Viêt-Nam 52

2.1.2. La province de Binh Dinh 58

2.1.3. La ville de Quy Nhon 63

2.2. Les conditions hydroclimatiques au Viêt-Nam 67

2.2.1. Caractéristiques générales du climat Viêt-Namien 67

2.2.2. Les risques hydroclimatiques et cycloniques 71

2.3. Les environnements deltaïques au Viêt-Nam 73

2.3.1. Caractéristiques générales des plaines deltaïques 73

2.3.2. Le cadre physique de la province de Binh Dinh 75

a). Topographie 76

b). Hydrographie 78

c). Occupation du sol 80

d). Géologie 81

e). Climats 82

f). Tempêtes et vents 84

2.3.3. Le fleuve Ha Thanh 86

a). Relief du bassin versant 86

b). Régime hydrologique du bassin versant 87

c). Pédologie/Géologie 89

Chapitre 3 - Le cadre méthodologique 93

3.1. Méthodologie à moyenne échelle : caractérisation et évolution des sites étudiés 94

3.1.1. Les objectifs de l'approche moyenne 94

3.1.2. Protocole d'élaboration du SIG 95

a). Les données du projet SIG 95

b). Méthodologie géomatique du projet 99

3.1.3. Développement et applications de la géomatique 106

a). Apports de la télédétection 106

b). Développement de l'analyse spatiale 107

3.1.4. Les données topographiques 109

3.2. Méthodologie à grande échelle : modélisations urbaine et hydrogéomorphologique et enquêtes auprès des populations 111

3.2.1. Les objectifs de la grande échelle 111

3.2.2. Les mesures topographiques 111

a). Les profils en travers *111*
b). Caractérisation du risque d'inondation..... *117*
c). Analyse spatiale par MNT..... *119*
3.2.3. La modélisation urbaine 121
3.2.4. Protocole des enquêtes sur la vulnérabilité sociale 130
a). Typologie de la vulnérabilité du site urbain (bâtiments, répartition…) *130*
b). Enquêtes le long du fleuve Ha Thanh..... *131*
c). Cartographie participative..... *132*
3.3. Méthodes employées pour la recherche des facteurs hydroclimatiques..... 134
3.3.1. Analyse des données hydrologiques du bassin du fleuve Ha Thanh..... 134
3.3.2. Modélisation hydrologique 135

DEUXIEME PARTIE. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET HUMAINES 137
Chapitre 4 – Caractérisation physique du lit fluvial..... 138
4.1. Les conditions d'écoulement dans le bassin versant 138
4.1.1. Morphologie du fleuve Ha Thanh 138
a) Morphologie des lits du fleuve Ha Thanh *140*
b) Evolution morphologique des lits fluviaux dans le delta du fleuve Ha Thanh..... *145*
c) Paramètres morphométriques : morphologie de la plaine d'inondation..... *147*
4.1.2. Caractérisation biogéographique des zones humides du delta 149
a). Typologie des zones humides..... *149*
b). Typologie et distribution des cortèges floristiques *153*
c). Vulnérabilité de l'écotone deltaïque..... *160*
4.1.3. Modification de l'occupation du sol du bassin versant du fleuve Ha Thanh (1988-2011) 162
a) Les changements d'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh.. *163*
b) L'évolution spatio-temporelle des changements de l'occupation du sol *165*
4.2. Aménagements et contraintes du lit fluvial..... 172
4.2.1. Typologie et conséquence des aménagements..... 172
4.2.2. L'utilisation du lit du fleuve 175
Chapitre 5 – Développement de la ville de Quy Nhon 182
5.1. Rythmes d'évolution de la ville 182

5.1.1. Situation avant 1975 182
5.1.2. Evolution 1975-2000 185
5.1.3. Evolution 1999-2013 189
5.2. Planification et projets de développement 193
5.2.1. Les projets de l'Etat et de la province 194
a) Le projet urbain 197
b) Aménagement touristique 199
c) Infrastructures de transport 200
5.2.2. Mutation sociale des quartiers 202
a) Mutation sociale des quartiers par le projet An Phu Thinh 202
b) Représentation des deux quartiers : Dong-Da et Nhon-Binh 204
c) Cartographie participative de la mutation sociale dans le nouveau quartier 206
5.2.3. Conflits d'usage et menaces sur l'environnement deltaïque 210

TROISIEME PARTIE. ETUDE DES VULNERABILITES 215
Chapitre 6 – Analyse de la vulnérabilité face au risque d'inondation 216
6.1. Etude du passage du Typhon Mirinae 216
6.1.1. Caractérisation de l'évènement 216
6.1.2. Conséquences et spatialisation des enjeux touchés 223
a) Conséquences dans la province de Binh Dinh 224
b) Spatialisation des enjeux touchés dans la province de Binh Dinh 224
6.1.3. Gestion de crise et perception de l'évènement 228
a) Avant l'évènement 228
b) Aux approches de l'évènement 228
c) Pendant l'évènement 229
d) Après l'événement 230
6.2. Etat des lieux actuel 231
6.2.1. Résultats des enquêtes et typologie de la perception du risque d'inondation 231
6.2.2. Identification des enjeux d'acteurs et des interactions 251
6.2.3. Analyse des phénomènes météorologiques (2010-2013) 253
Chapitre 7 - Essai de modélisation hydrologique dans le bassin du fleuve Ha Thanh 259

7.1. Vers une modélisation du bassin du fleuve Ha Thanh 259
7.1.1. Discussion sur quelques modèles disponibles et leurs applications 259
7.1.2. Considérations théoriques du modèle HEC-HMS© 262
7.1.3. Comportement du bassin versant 270
7.2. Résultats et limites des simulations 282
7.2.1. Résultats de la simulation sur la crue en 2-3 novembre 2009 282
7.2.2. Estimation du régime hydrologique et des valeurs de modules mensuels moyens (CMD) 289
7.2.3. Limites de la modélisation hydrologique sous HEC-HMS© 290
7.2.4. Les améliorations de la modélisation hydrologique 291
Chapitre 8 - Caractérisation de la vulnérabilité sociale dans le delta et interprétation des résultats 293
8.1. Spatialisation de la vulnérabilité sociale de la plaine inondable 293
8.1.1. Détermination des zones du risque d'inondation 293
8.1.2. Apports de la modélisation 3D des enjeux urbains situés en zone inondable 310
8.2. Applicabilités de la modélisation 3D en zone inondable 314
8.2.1. Critères de dangerosité du bâti 316
8.2.2. Exposition du bâti et de la population à l'aléa inondation 317
8.3. Interprétation des résultats 319
8.3.1. Intérêt de l'évaluation environnementale et de la recherche intégrée 319
8.3.2. Propositions de modes de gestion et d'accompagnement de la planification urbaine face aux enjeux environnementaux 322
CONCLUSION GENERALE 330
BIBLIOGRAPHIE 337
TABLES DES ILLUSTRATIONS 367
TABLES DES FIGURES 368
TABLES DES TABLEAUX 376
TABLES DES PHOTOGRAPHIES 379
TABLE DES MATIÈRES 380
ANNEXES 385

ANNEXES

Annexe 1. La classification des systèmes cycloniques

Annexe 2. Résultats des profils en travers du fleuve Ha Thanh

Annexe 3. Thèmes et changements d'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

Annexe 4. La pollution par les métaux lourds dans le fleuve Ha Thanh

Annexe 5. Evolution de la population dans la ville de Quy Nhon (1976-2009)

Annexe 6. Protocole d'enquête

Annexe 7. Résultats des précipitations dans les sous-bassins du fleuve Ha Thanh

Annexe 8. Identifier le coefficient de rugosité dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

Annexe 9. Résultats de la simulation sur la crue en 2-3 novembre 2009 dans les sous-bassins dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

Annexe 10. Relation entre les débits simulés par HEC-HMS et les niveaux d'eau observés

Annexe 11. Résultats de la simulation sur la crue en 1-30 novembre 2009 dans le bassin versant du fleuve Kon

Annexe 12. Débits moyens simulés par le modèle HEC-HMS dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh depuis 1982

Annexe 13. Mesures des hauteurs d'eau sur le delta du fleuve Ha Thanh

Annexe 14. Nombre d'habitant et d'étage, type de bâti, surface de bâti, et coordonnéess (x,y) du bâti dans la zone-test

Annexe 15. Les étapes d'intégration de la 3D dans le SIG et Google Sketchup

Annexe 16. Des maisons « dangereuses » en zone-test

Annexe 17. Hyétogramme des précipitations et hauteur des inondations relevées dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

Annexe 1

La classification des systèmes cycloniques

Tableau 1A. La vitesse du vent selon l'échelle de Saffir Simpson

Echelle de Saffir-Simpson (pour les ouragans)				
Catégorie	**Pression**	**Marée de tempête**	**Vents**	**Dégats potentiels**
	> ou = à 980 hPA	**1 - 1,7 m**	**118 à 153 km/h**	Peu ou pas de dommages aux habitations
				Dommages limités aux maisons mobiles, à la végétation et aux panneaux de signalisation
				Inondations côtières
				Dommages légers aux quais et jetées
	979 à 965 hPa	**1,8 - 2,6 m**	**154 à 177 km/h**	Dommages possibles aux toitures, portes et fenêtres des habitations
				Dommages importants aux maisons mobiles. Les panneaux de signalisation sont arrachés
				Dommages importants à la végétation. Les petits arbres sont déracinés
				Les routes et les plaines basses sont inondées avant l'arrivée de l'ouragan
				Dommages importants aux quais et jetées
				Les petites embarcations sont arrachées de leurs amarres
				Évacuation des habitations longeant les
	964 à 945 hPa	**2,7 - 3,8 m**	**178 à 209 km/h**	Dommages à la structure des bâtiments non-renforcés
				Les maisons mobiles sont détruites
				Dommages importants à la végétation. Les grands arbres sont déracinés
				Inondations importantes sur les terrains côtiers à moins de 1,50 mètres au-dessus du
				de la mer, jusqu'à plus de 15 km dans les
				Les habitations côtières sont endommagées par les vagues et les débris
				Évacuation des habitations situées dans les
	944 à 920 hPa	**3,9 - 5,6 m**	**210 à 249 km/h**	Dommages importants au rez-de-chaussée des habitations dus aux inondations
				Inondations importantes sur les zones côtières à moins de 3 mètres au-dessus du
				jusqu'à plus de 9 km dans les terres. Érosion importante sur les plages
				Évacuation des plain-pieds dans un rayon de 400 mètres des côtes, des habitations d'un
				dans un rayon de 3,2 km et des rivages
	- de 919 hPa	**5,7 - 19 m**	**> à 249 km/h**	Destruction des toitures, des portes et des fenêtres
				Dommages importants aux charpentes des bâtiments renforcés
				Destruction de certaines habitations non-renforcées
				Dommages importants aux premiers étages des habitations à moins de 500 mètres du
				dus aux inondations
				Évacuation des maisons dans un rayon de 8 à 16 km des côtes
NB : de 0 à 62 km/h c'est une dépression tropicale, de 63 à 117 km/h, c'est une tempête tropicale et > à 117 km/h c'est un ouragan de classe 1, 2, 3, 4 ou 5				

(Source : http://www.cyclonextreme.com/cyclonedicoclassification.htm)

Tableau 1B. La vitesse du vent selon l'échelle de Beaufort

Echelle de Beaufort		
Numéro	**Vitesse en km/h**	**Descriptif**
0	< 1	Calme
1	01-5	Très légère brise
2	06-11	Légère brise
3	12-19	Petite Brise
4	20 - 28	Jolie brise
5	29 - 38	Bonne brise
6	39 - 49	Vent frais
7	50 - 61	Grand frais
8	62 - 74	Coup de vent
9	75 - 88	Fort coup de vent
10	89 - 102	Tempête
11	103 - 117	Violente tempête
12	> 117	Ouragan

(Source : http://www.cyclonextreme.com/cyclonedicoclassification.htm)

Annexe 2

Résultats des profils en travers du fleuve Ha Thanh

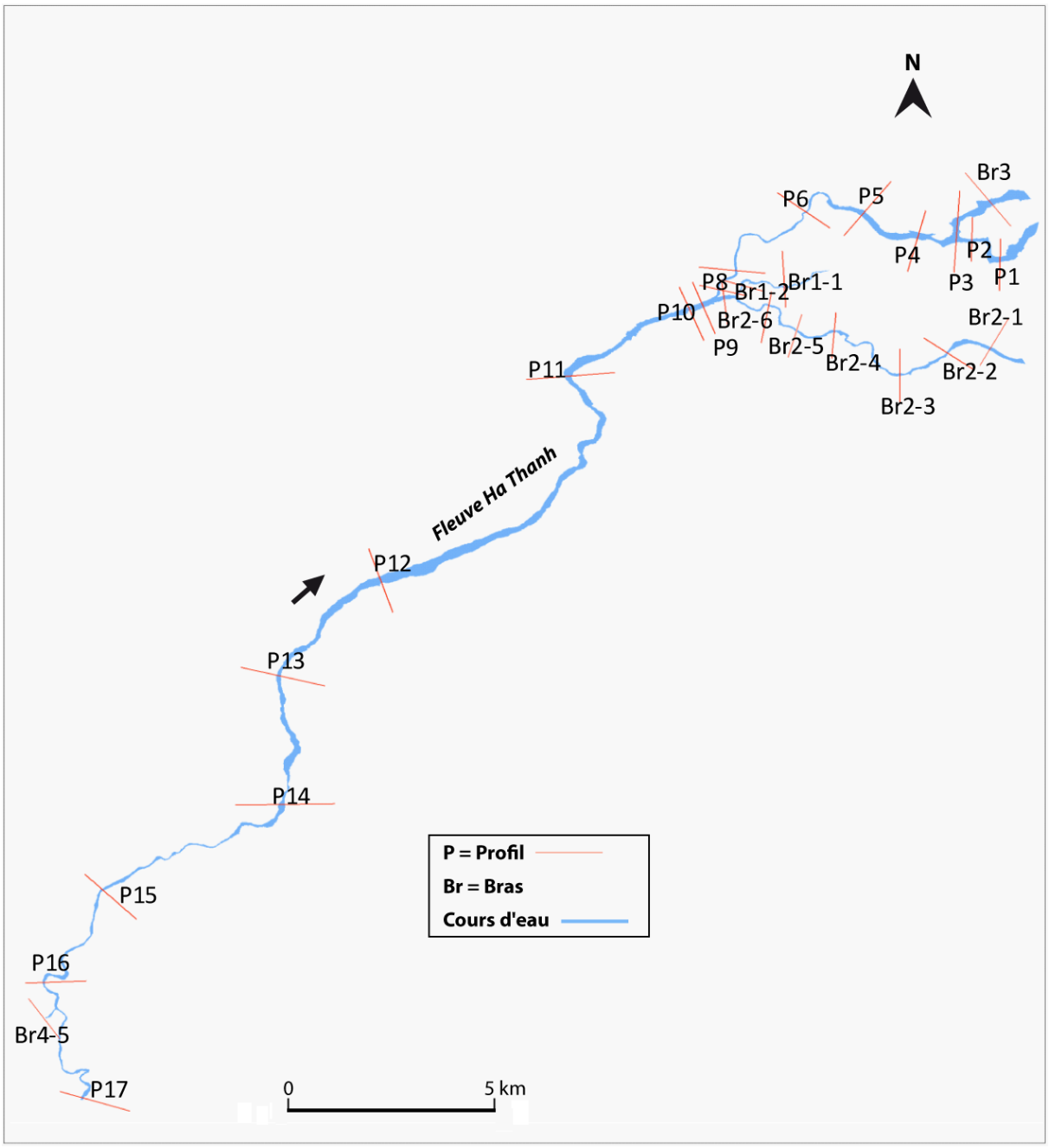


Figure 2A1 : Profils en travers du fleuve Ha Thanh (Ngo, Grivel, Truong, Nguyen, Phan : 2012)

A-Tableaux des données des profils en travers

Profil	1 Aval			Date : 11/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Stéphane Grivel + Anh tu Ngo				
Coordonées GPS :	13°48'43.31"	109°48'10.45"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	0.935	Haut de la digue RG
2	4.978	4.978	0.145	Niveau de l'eau le 11 juin 2012
3	19.205	24.183	0.132	Chenal
4	12.784	36.967	0.14	Chenal
5	12.052	49.019	0.13	Chenal
6	18.889	67.908	-0.045	Chenal
7	6.573	74.481	-0.225	Chenal
8	3.41	77.891	-0.3	Chenal
9	1.453	79.344	-0.35	Chenal
10	21.253	100.597	-1.75	Chenal
11	21.141	121.738	-2.433	Chenal
12	14.098	135.836	-1.955	Chenal
13	9.554	145.39	-4.855	Chenal
14	6.075	151.465	0.145	Niveau de l'eau le 11 juin 2012
15	1.95	153.415	0.98	la digue
16	3.224	156.639	1	Haut de la digue RD

Profil	2 Aval			Date : 10/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Stéphane Grivel + Anh tu Ngo				
Coordonées GPS :	13°48'59.77"	109°12'38.27"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	1.015	Haut de la digue RG
2	1.2	1.2	0.34	la digue
3	1.78	2.98	0.237	Niveau de l'eau le 10 juin 2012
4	17.64	20.62	-0.763	Chenal
5	8.09	28.71	-1.063	Chenal
6	12.9	41.61	-1.163	Chenal
7	7.9	49.51	-0.963	Chenal
8	4.85	54.36	-1.663	Chenal
9	12.96	67.32	-1.463	Chenal
10	13.81	81.13	-1.363	Chenal
11	15.2	96.33	0.237	Niveau de l'eau le 10 juin 2012
12	1.46	97.79	1.012	la digue
13	1.67	99.46	1.068	Haut de la digue RD

Profil	3 Aval			Date : 9+10/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Stéphane Grivel + Anh tu Ngo				
Coordonées GPS :	13°49'20.29"	109°12'26.87"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	1.5	Haut de la digue RG
2	3.51	3.51	1.5	la digue
3	1.31	4.82	1.012	la digue
4	1.084	5.904	0.536	Niveau de l'eau le 9 juin 2012
5	2.266	8.17	-0.664	Chenal
6	2.247	10.417	-1.066	Chenal
7	5.618	16.035	-2.464	Chenal
8	12.011	28.046	-1.964	Chenal
9	19.858	47.904	-0.764	Chenal
10	35.604	83.508	-1.464	Chenal
11	59.702	143.21	-1.764	Chenal
12	47.228	190.438	-0.964	Chenal
13	55.595	246.033	-1.264	Chenal
14	195.99	442.023	-0.864	Chenal
15	42.373	484.396	-1.764	Chenal
16	54.953	539.349	-1.064	Chenal
17	63.664	603.013	-2.864	Chenal
18	61.119	664.132	-1.864	Chenal
19	63.406	727.538	0.036	Chenal
19	4.196	731.734	0.536	Niveau de l'eau le 9 juin 2012
20	1.45	733.184	1.206	la digue
21	4.167	737.351	2.172	la digue
22	6.8	744.151	2.172	Haut de la digue RD

Profil	4 Aval			Date : 8/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Stéphane Grivel + Anh tu Ngo				
Coordonées GPS :	13°49'63.23"	109°11'53.24"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	1.432	Haut de la digue RG
2	1.62	1.62	1.432	la digue
3	1.94	3.56	0.835	la digue
4	1.76	5.32	0.523	la digue
5	1.92	7.24	0.357	Niveau de l'eau le 8 juin 2012 (digue)
6	2.672	9.912	-0.443	Chenal
7	14.139	24.051	-2.134	Chenal
8	23.474	47.525	-2.043	Chenal
9	39.781	87.306	-1.843	Chenal
10	45.862	133.168	-1.343	Chenal
11	53.477	186.645	-0.743	Chenal
12	1.194	187.839	0.357	Niveau de l'eau le 8 juin 2012 (digue)
13	3.586	191.425	0.836	la digue
14	29.66	221.085	0.88	la digue
15	56.98	278.065	1.04	Haut de la digue RD

Figure 2A2 : Données des profils en travers de P1 à P4 (P = Profil) (en aval du fleuve Ha Thanh)

Profil	5 Aval			Date : 8/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Stéphane Grivel + Anh tu Ngo				
Coordonées GPS :	13°49'25.42"	109°11'99.86"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	1.5	Haut de la digue RG
2	2.28	2.28	1.5	la digue
3	5.34	7.62	0.975	Chenal
4	6.03	13.65	0.4275	Niveau de l'eau le 8 juin 2012 (digue)
5	5.673	19.323	-0.0725	Chenal
6	3.865	23.188	-0.9725	Chenal
7	10.41	33.598	-1.3725	Chenal
8	10.712	44.31	-1.1725	Chenal
9	5.774	50.084	-0.8725	Chenal
10	15.398	65.482	-0.6725	Chenal
11	82.791	148.273	-0.1725	Chenal
12	3.013	151.286	-0.0725	Chenal
13	8.331	159.617	0.027	Chenal
14	9.611	169.228	0.4275	Niveau de l'eau le 8 juin 2012 (digue)
15	3.96	173.188	1.001	la digue
16	2.64	175.828	1.66	la digue
17	3.94	179.768	1.979	Haut de la digue RD

Profil	6 Aval			Date : 8/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Stéphane Grivel + Anh tu Ngo				
Coordonées GPS :	13°49'25.25"	109°10'20.64"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	2	Haut de la digue RG
2	2.1	2.1	2	la digue
3	1.27	3.37	0.521	la digue
4	0.58	3.95	0.249	Niveau de l'eau le 8 juin 2012 (digue)
5	4.07	8.02	-0.351	Chenal
6	7.31	15.33	-0.841	Chenal
7	3.94	19.27	-1.451	Chenal
8	4.26	23.53	-1.351	Chenal
9	3.21	26.74	-0.851	Chenal
10	4.83	31.57	0.099	Chenal
11	5.66	37.23	0.249	Niveau de l'eau le 8 juin 2012 (digue)
12	2.18	39.41	0.68	la digue
13	4.24	43.65	2.094	la digue
14	5.82	49.47	2.392	Haut de la digue RD

Profil	7 Aval			Date : 11/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Stéphane Grivel + Anh tu Ngo				
Coordonées GPS :	13°48'29.82"	109°9'22.36"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	2.779	Haut de la digue RG
2	6.462	6.462	2.768	la digue
3	4.063	10.525	1.765	la digue
4	1.44	11.965	0.743	Niveau de l'eau le 11 juin 2012 (digue)
5	12.662	24.627	0.443	Chenal
6	5.54	30.167	0.443	Chenal
7	14.31	44.477	-0.557	Chenal
8	10.523	55	-1.757	Chenal
9	5.668	60.668	-3.257	Chenal
10	5.89	66.558	0.743	Niveau de l'eau le 11 juin 2012 (digue)
11	3.09	69.648	1.59	la digue
12	3.856	73.504	2.743	la digue
13	6	79.504	2.851	Haut de la digue RD

Profil	8 Aval			Date : 11/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Stéphane Grivel + Anh tu Ngo				
Coordonées GPS :	13°48'10.19"	109°8'77.65"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	3.51	Haut de la digue RG
2	12.2	12.2	3.34	la digue
3	10.67	22.87	3.337	la digue
4	5.4	28.27	1.762	la digue
5	3.28	31.55	0.913	Niveau de l'eau le 11 juin 2012 (digue)
6	6.122	37.672	-0.563	Chenal
7	13.708	51.38	-0.687	Chenal
8	12.753	64.133	-0.387	Chenal
9	7.451	71.584	0.113	Chenal
10	13.007	84.591	0.613	Chenal
11	4.694	89.285	0.863	Chenal
12	10.003	99.288	0.913	Niveau de l'eau le 11 juin 2012 (digue)
13	5.868	105.156	1.756	la digue
14	0.832	105.988	3.054	la digue
15	6.16	112.148	3.15	la digue
16	5.13	117.278	3.521	Haut de la digue RD

Figure 2A2 : Données des profils en travers de P5 à P8 (P = Profil) (en aval du fleuve Ha Thanh)

Profil	9 Aval			Date : 11/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Stéphane Grivel + Anh tu Ngo				
Coordonées GPS :	13°48'13.69"	109°8'54.41"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	ltitude/Profonde	Observation
1	0	0	4.084	Haut de la digue RG
2	12.146	12.146	2.756	la digue
3	13.066	25.212	1.197	Niveau de l'eau le 11 juin 2012 (digue)
4	12.903	38.115	0.497	Chenal
5	13.736	51.851	-0.703	Chenal
6	36.128	87.979	-0.453	Chenal
7	34.244	122.223	-0.303	Chenal
8	16.2	138.423	-0.803	Chenal
9	17.928	156.351	1.097	Chenal
10	21.097	177.4481	1.197	Niveau de l'eau le 11 juin 2012 (digue)
11	11.494	188.9421	1.625	la digue
12	20.631	209.5731	1.98	la digue
13	29.316	238.8891	2.698	Haut de la digue RD

Profil	10 Aval			Date :1/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne :Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS :	13°47'59.48"	109°8'49.70"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	6.9	Haut de la digue RG
2	4.85	4.85	6.9	Chenal
3	8.41	13.26	4.07	Chenal
4	40.06	53.32	2.75	Chenal
5	4.01	57.33	1.36	Niveau de l'eau le 1 juillet 2012
6	19.84	77.17	0.86	Chenal
7	19.84	97.01	0.53	Chenal
8	21.84	118.85	-0.43	Chenal
9	19.49	138.34	-0.39	Chenal
10	22.65	160.99	-0.22	Chenal
11	21.25	182.24	0.82	Chenal
12	17.098	199.338	0.19	Chenal
13	19.52	218.858	0.71	Chenal
14	9.276	228.134	1.36	Niveau de l'eau le 1 juillet 2012
15	38.935	267.069	5.26	Chenal
16	7.26	274.329	6.9	Haut de la digue RD

Profil	11 amont			Date : 30/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS :	13°46'53.42"	109°7'14.91"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	6.66	Haut de la digue RG
2	16.325	16.33	6.28	Chenal
3	31.369	47.69	5.74	Chenal
4	42.48	90.17	5.42	Chenal
5	10.00	100.17	5.21	Niveau de l'eau le 30 juin 2012
6	2.20	102.37	5.17	Chenal
7	17.87	120.24	4.08	Chenal
8	24.53	144.77	2.77	Chenal
9	30.17	174.94	2.92	Chenal
10	27.16	202.10	3.55	Chenal
11	26.513	228.62	5.08	Chenal
12	40.435	269.05	5.21	Niveau de l'eau le 30 juin 2012
13	17.791	286.84	5.89	Chenal
14	14.485	301.33	6.41	Chenal
15	15.884	317.21	7.45	Heau de la digue RD (forêts)

Profil	12 amont			Date : 30/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS :	13°43'49.49"	109°4'28.86"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	15.254	Haut de la digue RG
2	8.724	8.72	15.014	Chenal
3	5.573	14.30	14.126	Chenal
4	7.707	22.00	13.75	Chenal
5	18.03	40.03	13.85	Chenal
6	18.82	58.85	13.03	Niveau de l'eau le 30 juin 2012
7	4.42	63.27	12.04	Chenal
8	9.99	73.26	12.13	Chenal
9	4.47	77.73	13.02	Chenal
10	3.698	81.43	13.03	Niveau de l'eau le 30 juin 2012
11	7.855	89.28	13.67	Chenal
12	14.43	103.72	13.44	Chenal
13	6.37	110.09	13.55	Chenal
14	3.85	113.94	13.67	Chenal
15	3.78	117.72	13.67	Chenal
16	10.304	128.02	14.603	Chenal
17	5.109	133.13	14.783	Chenal
18	23.175	156.30	15.168	Chenal
	33.636	189.94	15.25	Chenal
19	22.085	212.02	15.32	Heau de la digue RD (forêts)

Figure 2A3 : Données des profils en travers de P9 à P12 (P = Profil) (au milieu du fleuve Ha Thanh)

Profil	13 amont			Date : 30/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS : 13°42'18.1125"		109°03'01.7982"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	17.71	Heau de la digue RG
2	22.93	22.93	17.822	Chenal
3	17.456	40.39	17.128	Chenal
4	6.043	46.43	16.185	Niveau de l'eau le 30 juine 2012
5	2.85	49.28	16.012	Chenal
6	3.474	52.75	16.185	Niveau de l'eau le 30 juine 2012
7	9.95	62.70	16.635	Chenal
8	12.79	75.49	16.235	Chenal
9	3.82	79.31	16.224	Chenal
10	4.19	83.50	16.370	Chenal
11	4.01	87.51	16.850	Chenal
12	24.10	111.61	17.500	Chenal
13	25.33	136.94	18.05	Chenal
14	26.62	163.56	19.066	Heau de la digue RD (forêts)

Profil	14 amont			Date : 1/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS : 13°40'19.4656"		109°03'09.0773"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	24.496	Haut de la digue RG
2	32.21	32.21	24.213	Chenal
3	9.495	41.71	23.471	Chenal
4	22.259	63.96	23.144	Chenal
5	22.397	86.36	23.010	Chenal
6	21.634	108.00	22.844	Chenal
7	3.29	111.28	21.762	Chenal
8	1.33	112.61	21.805	Chenal
9	44.37	156.98	21.593	Niveau de l'eau le 01 juillet 2012
10	11.49	168.46	21.225	Chenal
11	7.69	176.15	21.400	Chenal
12	1.98	178.12	21.593	Niveau de l'eau le 01 juillet 2012
13	7.43	185.55	22.840	Chenal
14	3.843	189.39	23.264	Chenal
15	8.829	198.22	23.384	Chenal
16	46.092	244.31	23.930	Chenal
17	48.587	292.90	24.789	Heau de la digue RD (forêts)

Profil	15 amont			Date : 1/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS : 13°39'00.8319"		109°00'37.6700"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	34.404	Haut de la digue RG
2	4.22	4.222	34.185	Chenal
3	6.98	11.20	30.771	Chenal
4	5.63	16.83	28.42	Chenal
5	9.70	26.53	27.051	Chenal
6	9.11	35.65	26.862	Niveau de l'eau le 01 juillet 2012
7	4.95	40.59	26.62	Chenal
8	1.19	41.79	26.862	Niveau de l'eau le 01 juillet 2012
9	0.30	42.08	27.062	Chenal
10	15.758	57.84	28.466	Chenal
11	13.871	71.71	35.35	Chenal
12	18.739	90.45	35.714	Chenal
13	19.44	109.89	35.951	Haut de la digue RD

Profil	16 amont			Date : 1/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS : 13°37'33.7200"		108°59'49.6372"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	44.27	Haut de la digue RG
2	4.94	4.94	44.225	Chenal
3	3.673	8.61	44.225	Chenal
4	8.471	17.08	42.599	Chenal
5	4.731	21.82	42.158	Niveau de l'eau le 01 juillet 2012
6	4.474	26.289	42.052	Chenal
7	12.271	38.56	42.158	Niveau de l'eau le 01 juillet 2012
8	5.882	44.44	42.402	Chenal
9	2.509	46.95	44.339	Chenal
10	4.34	51.29	44.367	Haut de la digue RD (forêts)

Figure 2A4 : Données des profils en travers de P13 à P16 (P = Profil) (en amont du fleuve Ha Thanh)

Profil	17 amont			Date : 01/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS : 13°35'49.6529"		109°00'21.2481"		Rive gauche vers Rive droite =67m
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	55.395	Haut de la digue RG
2	34.076	34.076	55	Chenal
3	10.408	44.484	51.047	Chenal
4	10.111	54.595	50.75	Chenal
5	23.63	78.225	50.492	Chenal
6	12.734	90.959	50.442	Niveau de l'eau le 01 juillet 2012
7	1.729	92.688	50.092	Chenal
8	1.465	94.153	50.442	Niveau de l'eau le 01 juillet 2012
9	0.73	94.883	50.655	Chenal
10	3.52	98.403	53.491	Chenal
11	5.45	103.853	56.043	Chenal
12	3.291	107.144	57.533	Chenal
13	7.201	114.345	57.543	Haut de la digue RD (forêts)

Profil	Br1-1 Aval			Date : 20/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS : 13°48'16.23"		109°10'25.52"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	1.55	Haut de la digue RG
2	2.34	2.34	0.95	la digue
3	1.83	4.17	0.59	Niveau de l'eau le 20 juillet 2012
4	1.7	5.87	0.29	Chenal
5	7.98	13.85	0.41	Chenal
6	10.66	24.51	-0.11	Chenal
7	5.47	29.98	0.14	Chenal
8	2.21	32.19	0.59	Niveau de l'eau le 20 juillet 2012
9	2.63	34.82	1.597	la digue
10	4.89	39.71	1.612	la digue
11	7.37	47.08	1.626	Haut de la digue RD

Profil	Br1-2 Aval			Date : 20/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS : 13°48'18.01"		109°9'27.64"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	3.405	Haut de la digue RG
2	15.36	15.36	3.386	la digue
3	4.48	19.84	3.3	la digue
4	4.17	24.01	2.78	la digue
5	3.12	27.13	1.231	la digue
6	4.28	31.41	0.921	Niveau de l'eau le 20 juillet 2012
7	3.87	35.28	0.421	Chenal
8	6.52	41.8	-0.379	Chenal
9	7.83	49.63	0.621	Chenal
10	11.21	60.84	0.571	Chenal
11	7.24	68.08	-0.075	Chenal
12	4.87	72.95	0.921	Niveau de l'eau le 20 juillet 2012
13	7.98	80.93	1.061	la digue
14	3.66	84.59	3.544	Haut de la digue RD

Profil	Br2-1 Aval			Date : 21/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS : 13°47'20.12"		109°12'54.17"		Rive gauche vers Rive droite
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	1.483	Haut de la digue RG
2	3.76	3.76	1.483	la digue
3	2.9	6.66	0.759	la digue
4	4.22	10.88	0.317	Niveau de l'eau le 21 juillet 2012 (digue)
5	7.69	18.57	-0.683	Chenal
6	24.54	43.11	-2.983	Chenal
7	21.1	64.21	-1.783	Chenal
8	19.34	83.55	-0.363	Chenal
9	7.53	91.08	0.317	Niveau de l'eau le 21 juillet 2012 (digue)
10	2.19	93.27	1.247	la digue
11	2.73	96	2.042	la digue
12	3.2	99.2	2.108	Haut de la digue RD

Figure 2A5 : Données des profils en travers de P17, Br1-1, Br1-2, et Br2-1 (P = Profil) (Br = Bras)

Profil	Br2-2 Aval			Date : 21/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS :	13°47'15.84"	109°12'17.76"	Rive gauche vers Rive droite	
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	4.548	Haut de la digue RG
2	1.86	1.86	4.548	la digue
3	1.96	3.82	2.321	la digue
4	2.23	6.05	0.55	Niveau de l'eau le 21 juillet 2012 (digue)
5	1.68	7.73	0.15	Chenal
6	13.65	21.38	-1.01	Chenal
7	12.05	33.43	-1.75	Chenal
8	9.29	42.72	-0.2	Chenal
9	2.32	45.04	0.55	Niveau de l'eau le 21 juillet 2012 (digue)
10	1.56	46.6	2.124	la digue
11	1.3	47.9	6.032	la digue
12	1.19	49.09	6.29	Haut de la digue RD

Profil	Br2-3 Aval			Date :21/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS :	13°46'56.09"	109°11'38.42"	Rive gauche vers Rive droite	
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	2.3	Haut de la digue RG
2	6.13	6.13	2.228	la digue
3	2.22	8.35	1.452	la digue
4	2.54	10.89	0.52	Niveau de l'eau le 21 juillet 2012 (digue)
5	3.6	14.49	0.015	Chenal
6	11.23	25.72	-0.948	Chenal
7	19.03	44.75	-0.18	Chenal
8	11.23	55.98	-0.68	Chenal
9	11.08	67.06	0.02	Chenal
10	4.12	71.18	0.52	Niveau de l'eau le 21 juillet 2012 (digue)
11	2.48	73.66	1.748	la digue
12	1.48	75.14	2.123	la digue
13	3.4	78.54	2.16	Haut de la digue RD

Profil	Br2-4 Aval			Date : 20/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS :	13°47'35.88"	109°10'43.94"	Rive gauche vers Rive droite	
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	3.175	Haut de la digue RG
2	6.39	6.39	3.157	la digue
3	5.12	11.51	1.763	la digue
4	6.16	17.67	0.819	Niveau de l'eau le 20 juillet 2012 (digue)
5	5.36	23.03	0.319	Chenal
6	13.35	36.38	-1.281	Chenal
7	16.58	52.96	-0.681	Chenal
8	16.74	69.7	0.319	Chenal
9	4.2	73.9	0.819	Niveau de l'eau le 20 juillet 2012 (digue)
10	7.06	80.96	3.421	la digue
11	8.02	88.98	3.46	la digue
12	23.28	112.26	3.482	Haut de la digue RD

Profil	Br2-5 Aval			Date : 20/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS :	13°47'59.71"	109°9'50.18"	Rive gauche vers Rive droite	
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	3.061	Haut de la digue RG
2	3.84	3.84	3.013	la digue
3	3.29	7.13	1.92	Niveau de l'eau le 20 juillet 2012 (digue)
4	1.04	8.17	1.42	Chenal
5	7.95	16.12	-0.401	Chenal
6	9.02	25.14	0.17	Chenal
7	8.33	33.47	1.27	Chenal
8	9.33	42.8	1.92	Niveau de l'eau le 20 juillet 2012 (digue)
9	3.06	45.86	2.349	la digue
10	2.44	48.3	2.849	la digue
11	11.48	59.78	2.812	la digue
12	9.92	69.7	2.762	Haut de la digue RD

Figure 2A6 : Données des profils en travers de Br2-2 à Br2-5 (Br = Bras)

Profil	Br2-6 Aval			Date : 20/07/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS :	13°48'69.33"	109°9'11.33"	Rive gauche vers Rive droite	
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	2.757	Haut de la digue RG
2	9.208	9.208	2.683	la digue
3	7.52	16.728	2.6	la digue
4	3.34	20.068	1.35	la digue
5	9.86	29.928	0.83	Niveau de l'eau le 20 juillet 2012 (digue)
6	14.259	44.187	-0.17	Chenal
7	17.05	61.237	-0.47	Chenal
8	32.683	93.92	-0.67	Chenal
9	11.835	105.755	-0.47	Chenal
10	13.636	119.391	0.83	Niveau de l'eau le 20 juillet 2012 (digue)
11	7.695	127.086	2.626	la digue
12	7.376	134.462	2.67	la digue
13	8.237	142.699	3.34	Haut de la digue RD

Profil	Br3-aval			Date : 11/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Stéphane Grivel + Anh tu Ngo				
Coordonées GPS :	13°49'35.52"	109°12'52.35"	Rive gauche vers Rive droite	
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	0.548	Haut de la digue RG
2	1.82	1.82	0.553	la digue
3	3.82	5.64	0.35	Niveau de l'eau le 11 juin 2012
4	0.37	6.01	-0.45	Chenal
5	1.39	7.4	-1.05	Chenal
6	3.17	10.57	-1.15	Chenal
7	7.76	18.33	-0.85	Chenal
8	23.06	41.39	-0.35	Chenal
9	43.84	85.23	-1.75	Chenal
10	58.44	143.67	-1.65	Chenal
11	26.43	170.1	-0.45	Chenal
12	4.22	174.32	0.35	Niveau de l'eau le 11 juin 2012
13	1.69	176.01	0.42	Haut de la digue RD

Profil	Br4 - amont			Date : 30/06/2012
Nom de la rivière : Ha Thanh (Viêt-Nam)				
Nom personne : Anh Tu Ngo + Quang Hien Truong + Huu Xuan Nguyen				
Coordonées GPS : 13°37'33.7200"		108°59'49.6372"	Rive gauche vers Rive droite	
	Angle visée : SSE			
	Départ Haut de la digue de rive gauche vers la digue de rive droite			
n°	Distance	Distance cumulée	Altitude/Profondeur	Observation
1	0	0	46.576	Haut de la digue RG
2	13.64	13.64	46.803	Chenal
3	3.025	16.67	42.083	Niveau de l'eau le 30 juin 2012
4	6.437	23.10	41.547	Chenal
5	5.799	28.90	42.083	Niveau de l'eau le 30 juin 2012
6	7.713	36.61	43.909	Chenal
7	6.371	42.99	47.52	Chenal
8	3.132	46.12	47.709	Haut de la digue RD

Figure 2A7 : Données des profils en travers de Br2-6, Br3, et Br4 (Br = Bras)

B-Graphiques des profils en travers

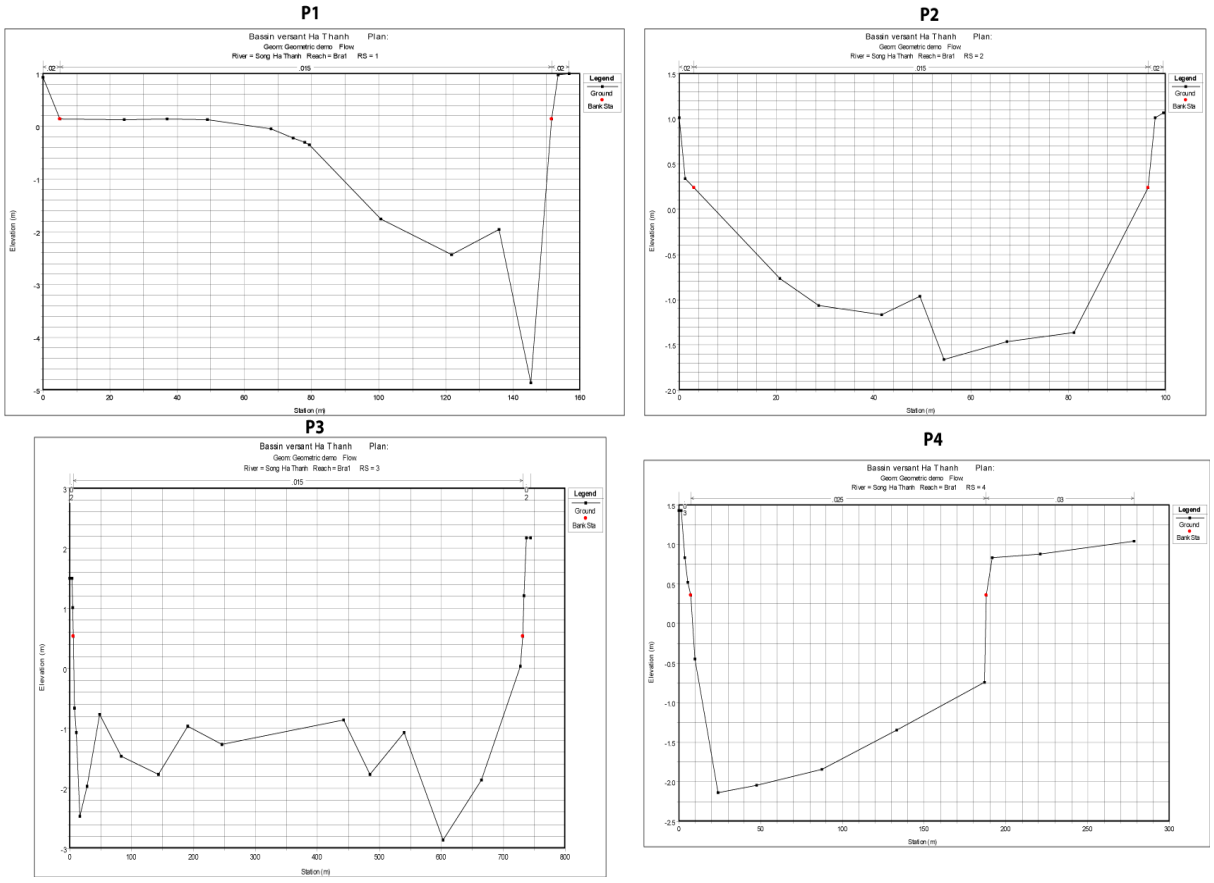


Figure 2A8 : Profils en travers de P1 à P4 (P = Profil)

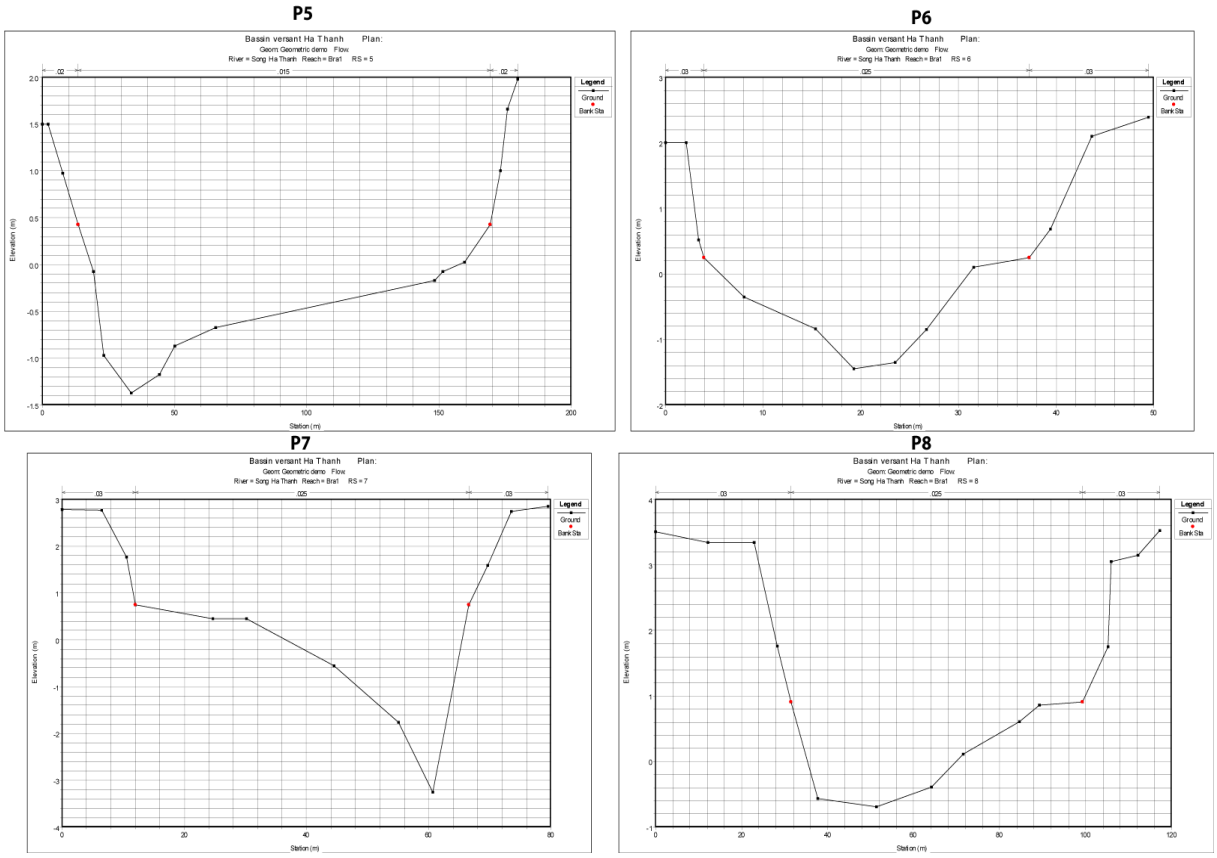


Figure 2A9. Profils en travers de P5 à P8 (P = Profil)

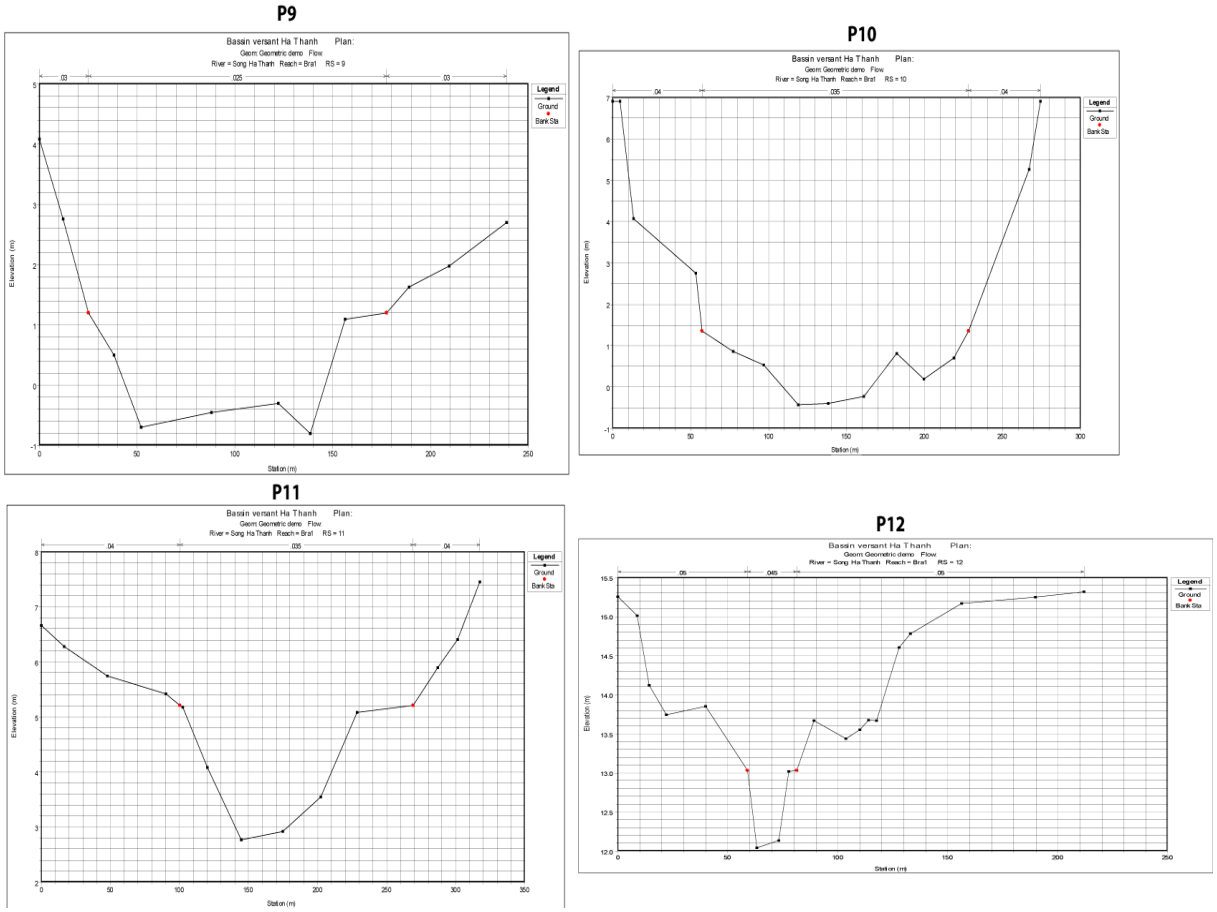


Figure 2A10. Profils en travers de P9 à P12 (P = Profil)

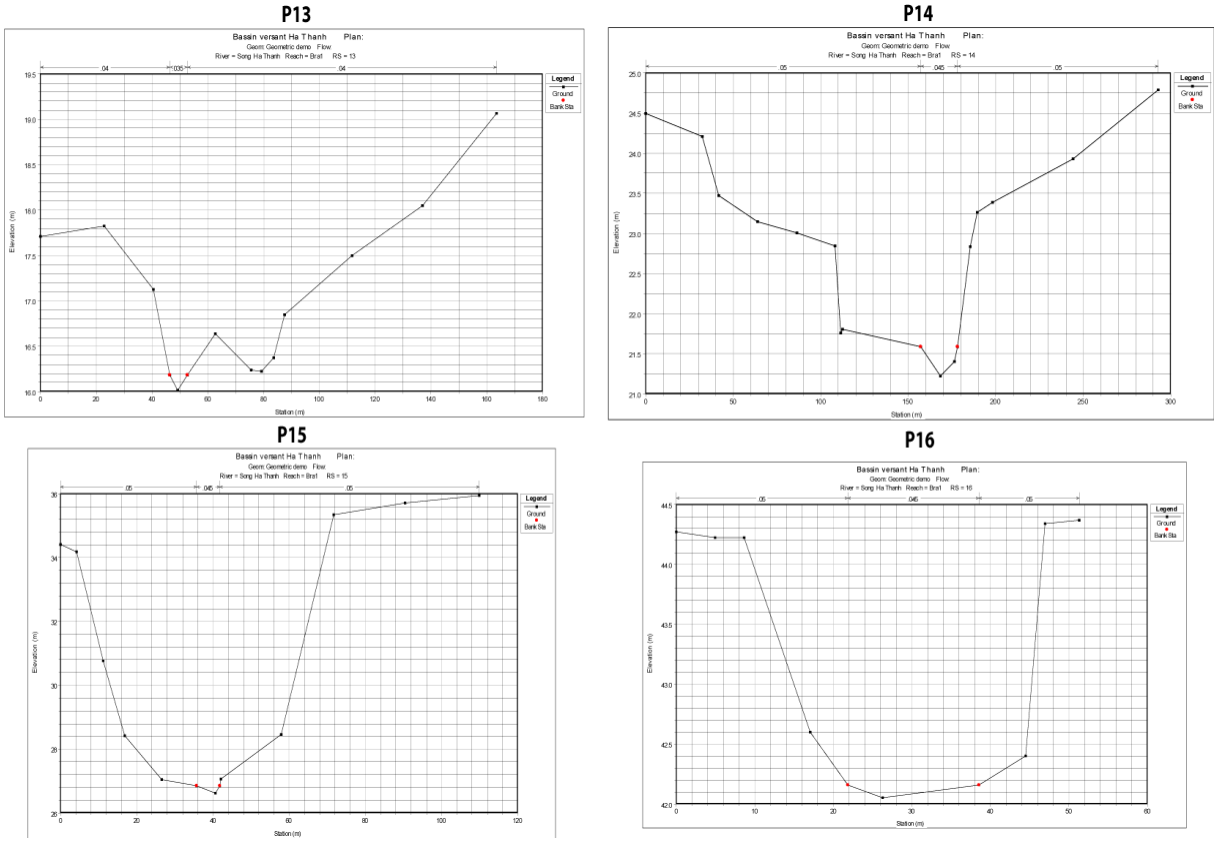


Figure 2A11. Profils en travers de P13 à P16 (P = Profil)

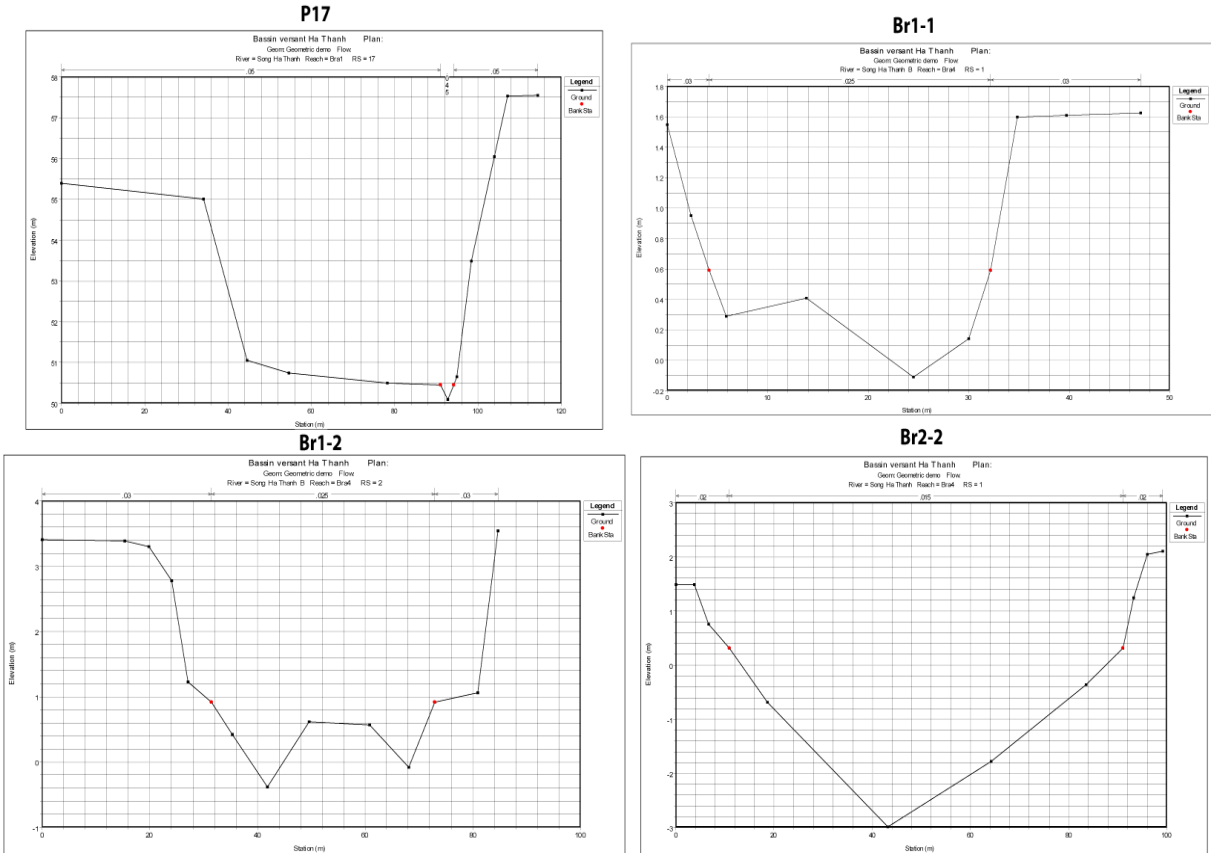


Figure 2A12. Profils en travers de P17, Br1-1, Br1-2 et Br2-2 (P = Profil, Br = Bras)

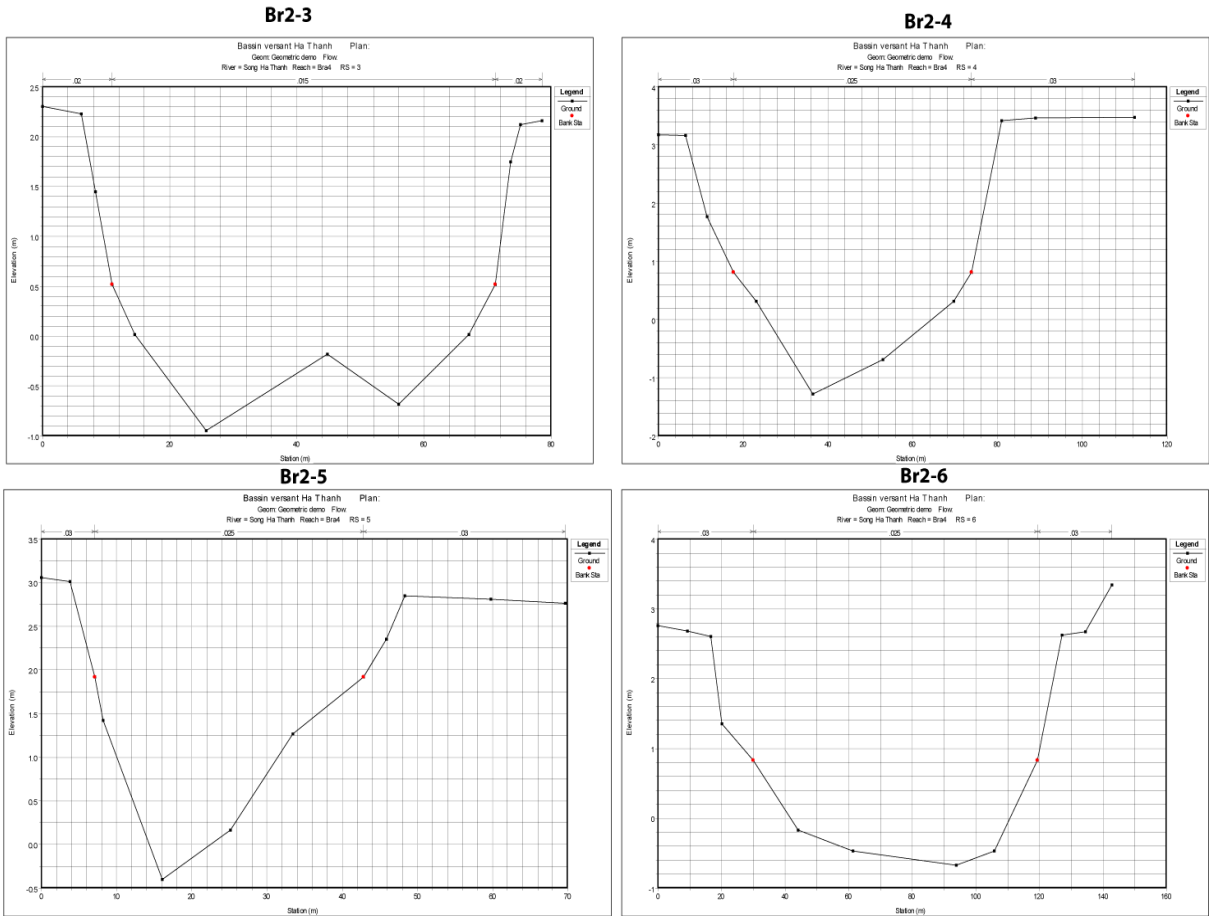


Figure 2A13. Profils en travers de Br2-3 à Br2-6 (Br = Bras)

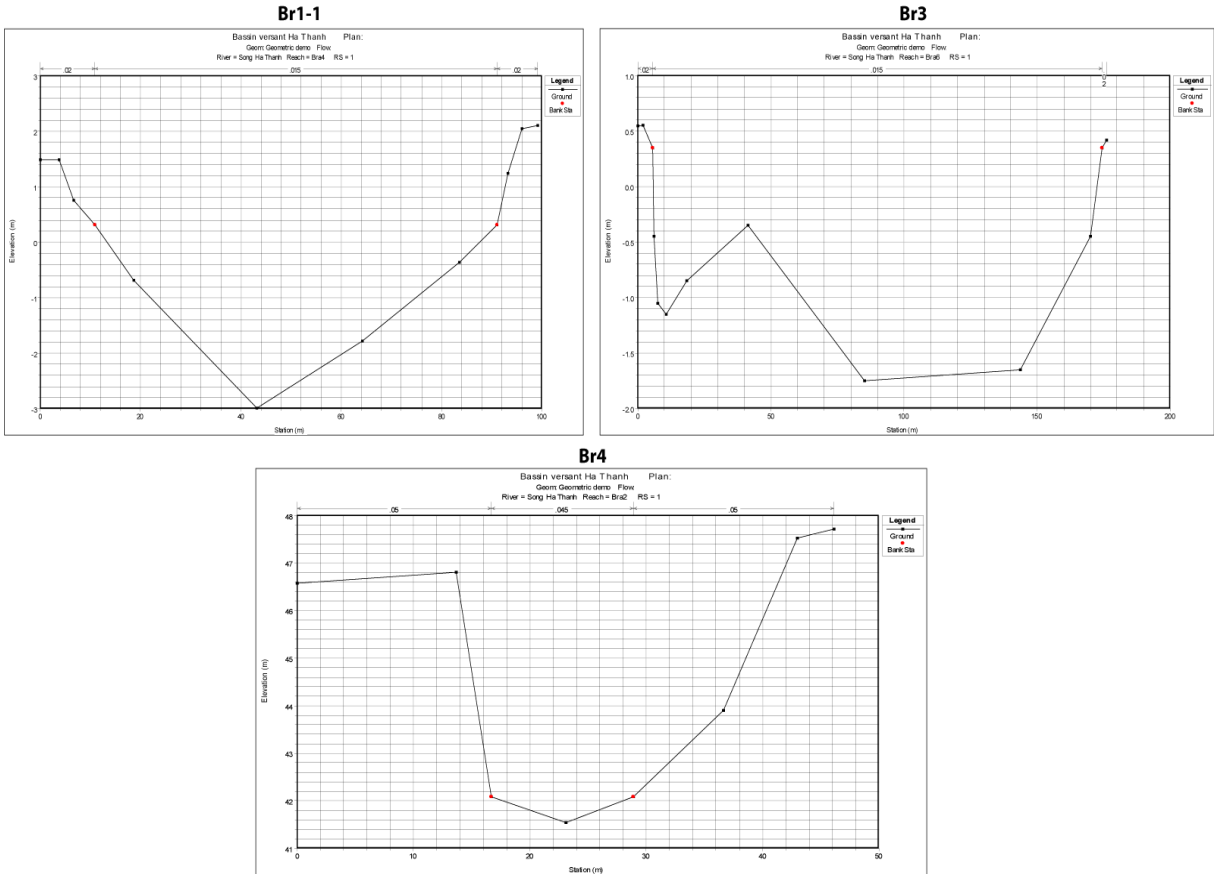


Figure 2A12. Profils en travers de Br1-1, Br3 et Br4 (Br = Bras)

C- Données d'altitude par le théodolite sur les digues (hauteur et largeur)

Tableau 2A. Altitudes mesurées par théodolite sur les digues

DGSurvey par TRUONG Quang-Hien, NGO Anh-Tu, PHAN Thai-Le, LAM Nguyen-Phuc
Date 30/09/2012
Fleuve Ha Thanh - Diem do cao (altitude)

No	Z	X_VN2000	Y_VN2000	X (WS84)	Y (WS84)	No	Z	X_VN2000	Y_VN2000	X (WS84)	Y (WS84)
1	55	284246,6524	1504053,8762	109,00589928	13,5971240356	46	13,015	291831,4639	1518675,5846	109,074900834	13,7298132791
2	55,395	284215,8091	1504068,3779	109,005613236	13,5972528028	47	13,031	291832,9217	1518672,1846	109,07491456	13,7297826584
3	51,047	284256,3843	1504049,0847	109,005989551	13,5970814557	48	50,75	284265,5027	1504044,7099	109,006074123	13,5970425959
4	50,492	284287,6658	1504036,4963	109,006279498	13,5969700106	49	57,533	284315,6201	1504026,3059	109,006538526	13,5968799897
5	53,491	284307,4178	1504029,2516	109,006462525	13,5969060022	50	46,803	283400,8705	1506330,7093	108,997912514	13,6176364834
6	50,442	284298,7348	1504030,1954	109,006382236	13,5969138896	51	42,083	283401,2076	1506327,7025	108,997915857	13,6176093369
7	50,092	284301,4666	1504031,4008	109,006407383	13,5969249842	52	43,909	283402,9243	1506307,8233	108,99793323	13,6174298218
8	50,442	284304,2256	1504032,54	109,006432785	13,5969354835	53	41,547	283401,7816	1506321,2897	108,997921648	13,6175514288
9	46,576	283399,4649	1506344,28	108,997898495	13,6177590139	54	42,083	283402,3609	1506315,5176	108,997927439	13,6174993115
10	47,52	283403,43	1506301,4711	108,997938385	13,6173724565	55	47,709	283404,0611	1506298,4021	108,99794445	13,6173447693
11	44,27	283331,7164	1507262,5525	108,997202672	13,6260521434	56	2,8489	301510,7749	1526316,6055	109,16384093	13,7995506459
12	42,599	283348,6982	1507264,2626	108,997359448	13,6260688622	57	2,3489	301512,215	1526318,5858	109,163854106	13,7995686419
13	42,158	283353,4	1507264,7963	108,99740285	13,6260740346	58	1,9199	301513,4114	1526321,4111	109,16386497	13,7995942585
14	42,052	283357,8173	1507265,5129	108,997443609	13,6260808387	59	3,0610	301524,7604	1526362,1583	109,163967037	13,7999632947
15	42,158	283369,7854	1507268,2351	108,997553982	13,6261063299	60	3,0132	301522,9608	1526358,7577	109,163950636	13,7999324374
16	42,402	283375,0772	1507270,8061	108,997602681	13,6261299571	61	1,9199	301521,9648	1526355,6189	109,163941648	13,7999040011
17	44,339	283377,4846	1507271,5161	108,997624871	13,626136552	62	0,9210	300850,6525	1526923,8095	109,157693497	13,8049925215
18	17,128	289222,5237	1515942,3311	109,050987613	13,7049237574	63	1,6119	301886,0123	1526827,3351	109,167274816	13,8041922663
19	16,185	289228,2516	1515940,4005	109,0510407	13,7049067277	64	1,5970	301887,5182	1526831,9881	109,167288413	13,8042344217
20	16,012	289231,0264	1515939,7107	109,051066399	13,7049006961	65	0,5899	301888,6233	1526834,3816	109,167298464	13,8042561295
21	16,185	289234,4942	1515939,4908	109,051098468	13,7048989619	66	0,5899	301898,3338	1526860,6916	109,167386404	13,8044945758
22	16,635	289242,9838	1515934,2617	109,051177327	13,7048523257	67	1,5499	301900,0221	1526864,5194	109,167401747	13,8045292863
23	16,224	289258,9477	1515929,1556	109,051325262	13,7048073449	68	4,5479	305942,4886	1524977,8813	109,204915354	13,7877545262
24	16,37	289262,3079	1515926,9706	109,051356483	13,7047878434	69	0,5500	305945,6319	1524975,1256	109,204944611	13,7877298337
25	16,85	289266,3669	1515926,0373	109,051394069	13,7047797049	70	0,8190	303130,154	1525554,0775	109,178869359	13,7927707124
26	17,5	289288,7436	1515917,1371	109,05160156	13,7047009041	71	0,8190	303132,2093	1525610,2381	109,178884428	13,7932784083
27	18,05	289314,6397	1515912,7731	109,051841242	13,7046633533	72	3,1570	303134,5348	1525621,2828	109,178905158	13,7933783846
28	13,746	291812,6104	1518728,013	109,074722683	13,7302857185	73	3,4600	303130,6851	1525538,8255	109,178875339	13,7926329085
29	13,849	291818,6584	1518711,0269	109,074779845	13,7301326499	74	3,4820	303129,627	1525515,562	109,178867185	13,792422591
30	13,031	291825,4017	1518693,4539	109,074843476	13,7299743282	75	3,4210	303130,1101	1525547,0118	109,178869448	13,7927068533
31	12,042	291826,8688	1518689,2865	109,074857346	13,7299367723	76	6,0320	305980,8052	1524952,535	109,205271421	13,7875280406
32	12,134	291829,7713	1518679,7214	109,074884882	13,729850542	77	0,9210	300886,9366	1526904,9025	109,158030376	13,8048241669
33	13,669	291834,5384	1518664,4966	109,074930073	13,729713298	78	1,0609	300894,2262	1526901,6503	109,158098018	13,8047952813
34	13,439	291838,8409	1518650,2524	109,074970896	13,729584882	79	3,5439	300897,4781	1526899,955	109,15812821	13,8047801854
35	13,554	291839,5393	1518643,9202	109,074977818	13,7295277079	80	3,2999	300839,7187	1526927,5505	109,157592122	13,8050255723
36	13,672	291839,6339	1518640,0701	109,074978977	13,7294929216	81	1,068	306579,3811	1528066,0863	109,210591908	13,8157077459
37	14,669	291840,4651	1518636,3832	109,074986933	13,7294596624	82	0,249	302460,6042	1528976,0572	109,172436982	13,8236509499
38	14,603	291841,7068	1518626,1525	109,074999165	13,7293672968	83	0,249	302481,6584	1528950,2563	109,172633517	13,8234192249
39	14,783	291843,4275	1518621,3406	109,075015427	13,7293239352	84	0,68	302482,9427	1528948,4927	109,172645519	13,8234033745
40	15,168	291846,806	1518598,4094	109,075048349	13,7291169476	85	0,4275	303941,745	1528965,1073	109,186135842	13,8236536594
41	15,25	291854,3703	1518565,6302	109,07512069	13,7288212653	86	0,4275	303831,4837	1528855,3251	109,185123791	13,8226539537
42	15,32	291859,0396	1518544,041	109,075165446	13,7286264988	87	1,66	303826,7301	1528850,7261	109,18508015	13,8226120645
43	15,014	291809,8789	1518741,008	109,074696475	13,730402958	88	0,835	305241,7056	1528369,8303	109,198199778	13,8183623691
44	44,225	283336,585	1507263,3946	108,997247592	13,626060116	89	1,432	305241,9616	1528371,7583	109,198202012	13,8183798106
45	44,225	283340,2363	1507263,834	108,997281295	13,6260643583	90	0,357	305241,2406	1528366,169	109,198195732	13,8183292473

(X : Longitude; Y : Latitude VN2000 = Viêt-Nam, 2000 ; WS84 = WGS 84)

No	Z	X_VN2000	Y_VN2000	X (WS84)	Y (WS84)	No	Z	X_VN2000	Y_VN2000	X (WS84)	Y (WS84)
91	0,357	305217,3706	1528187,1422	109,197987418	13,8167096477	136	2,228	304759,6214	1524378,9479	109,194018962	13,7822614913
92	2,756	299845,1451	1526433,164	109,148430098	13,8004884422	137	0,317	306992,2174	1525030,0695	109,214618696	13,7882968598
93	1,197	299848,6025	1526420,5618	109,148462968	13,8003747922	138	0,317	307039,1751	1525093,9402	109,215048533	13,7888772594
94	1,197	299889,6162	1526273,9719	109,148852682	13,7990528583	139	2,042	306989,3859	1525026,0352	109,21459279	13,7882602089
95	0,237	306579,5475	1528069,1822	109,210593234	13,8157357368	140	1,483	307040,8078	1525100,786	109,215063161	13,7889392398
96	0,237	306584,1473	1528162,4692	109,210629337	13,8165791465	141	3,337	300242,1898	1526690,7692	109,152083344	13,8028441704
97	0,96	307247,3805	1527502,0614	109,216808474	13,8106552031	142	1,98	299896,2774	1526242,5558	109,14891652	13,7987694027
98	0,536	306167,8676	1528071,2521	109,206785802	13,8157266567	143	2,698	299900,6434	1526213,5636	109,148958959	13,7985076929
99	2,172	306169,069	1528065,8359	109,206797288	13,8156777875	144	2,626	300399,8396	1526497,6504	109,153554926	13,8011098367
100	2,172	306169,1608	1528059,0298	109,206798607	13,815616283	145	3,34	300404,8263	1526483,0024	109,153602081	13,8009778029
101	0,536	306250,0477	1528792,21	109,207495977	13,8222479951	146	2,757	300345,6493	1526612,3357	109,153045653	13,8021425294
102	1,012	306250,1635	1528793,2885	109,207496974	13,82225775	147	2,683	300351,202	1526604,9882	109,153097524	13,8020765126
103	1,5	306250,5792	1528798,1036	109,207500485	13,8223012956	148	3,15	300324,8569	1526657,7882	109,152850144	13,8025518562
104	0,42	307106,6873	1529115,5352	109,215396303	13,8252278738	149	3,521	300329,5741	1526655,7708	109,15289391	13,8025339521
105	0,35	307105,7883	1529116,9693	109,215387889	13,8252407747	150	3,51	300220,1765	1526696,8953	109,151879342	13,8028980028
106	0,35	307016,1611	1529259,9428	109,214549115	13,8265268955	151	3,4	300231,7638	1526693,064	109,151986767	13,8028641839
107	0,716	307014,1274	1529263,187	109,214530082	13,8265560788	152	2,851	300761,3102	1527282,5515	109,156841828	13,8082284298
108	0,913	300250,7147	1526689,1036	109,152162296	13,8028297103	153	2,779	300682,1463	1527289,5982	109,156109251	13,8082866183
109	3,054	300318,9771	1526659,6354	109,15279564	13,8025681415	154	1,765	300692,6203	1527288,553	109,156206185	13,8082778993
110	1,756	300318,1455	1526659,674	109,152787947	13,8025684328	155	1,59	300751,4754	1527282,8076	109,156750862	13,8082300617
111	0,913	300312,8624	1526662,2295	109,152738911	13,8025911602	156	2	302458,0476	1528979,0732	109,172413126	13,823678031
112	2,6	300354,0179	1526598,014	109,153124059	13,8020136793	157	0,521	302460,2058	1528976,4798	109,172433268	13,8236547417
113	0,83	300359,5988	1526586,0476	109,153176519	13,8019059227	158	2,094	302485,8354	1528945,3801	109,172672491	13,8233754442
114	0,83	300397,2785	1526504,9076	109,153530727	13,8011752456	159	2,392	302489,5521	1528940,8944	109,17270718	13,8233351599
115	2,67	300403,1856	1526491,0757	109,153586335	13,8010506515	160	1,001	303828,7144	1528852,4826	109,185098378	13,8226280748
116	0,743	300694,0605	1527288,5268	109,156219505	13,8082777625	161	1,979	303824,1612	1528847,7295	109,185056602	13,8225848064
117	0,743	300748,3842	1527282,9461	109,156722266	13,808231099	162	0,975	303946,2128	1528969,1686	109,186176877	13,8236906693
118	2,743	300755,3075	1527282,3709	109,156786331	13,8082263815	163	1,5	303951,3371	1528974,7945	109,186223876	13,8237418639
119	5,423	296430,675	1524355,3695	109,117006469	13,7814709301	164	1,04	305170,3485	1528110,2247	109,197557896	13,8160113021
120	5,173	296442,4648	1524358,4347	109,11711526	13,7814994661	165	0,88	305201,6818	1528157,8282	109,197844362	13,8164436538
121	5,207	296608,7909	1524365,6591	109,118652647	13,7815765218	166	1,432	305242,2209	1528373,3666	109,198204298	13,8183943633
122	5,893	296626,5833	1524365,5052	109,118817174	13,7815763887	167	0,523	305241,4552	1528368,0792	109,198197584	13,8183465257
123	0,145	307263,415	1527649,4827	109,21694663	13,8119886347	168	1,5	306250,3595	1528794,5927	109,207498696	13,8222695498
124	0,145	307247,5457	1527504,0084	109,216809869	13,810672811	169	1,012	306579,6929	1528067,7293	109,210594679	13,8157226157
125	1,5	303949,6309	1528973,2788	109,186208202	13,8237280497	170	0,34	306584,2011	1528164,2538	109,210629711	13,8165952783
126	1,652	299892,4962	1526262,84	109,148880108	13,798952456	171	1,015	306584,3121	1528165,4543	109,210630655	13,8166061362
127	4,228	300032,9172	1526259,0566	109,15017888	13,798928043	172	1	307247,1988	1527498,8418	109,216807015	13,8106260929
128	5,207	296440,4099	1524357,6547	109,117096316	13,7814922714	173	0,716	307012,8203	1529264,4594	109,214517906	13,8265674903
129	2,768	300688,5704	1527288,8902	109,156168709	13,8082806658	174	1,231	300846,6625	1526925,3713	109,157656489	13,8050063589
130	2	302459,3662	1528977,4355	109,172425436	13,8236633208	175	2,78	300843,7673	1526926,5491	109,157629633	13,805016803
131	0,836	305215,8639	1528183,8871	109,19797371	13,8166801268	176	3,386	300835,3945	1526928,7596	109,157552048	13,8050361991
132	0,935	307264,4087	1527654,361	109,216955484	13,8120327901	177	3,405	300820,4159	1526932,1764	109,157413291	13,8050660394
133	0,52	304763,0425	1524314,0161	109,194055106	13,7816748933	178	2,762	301503,6183	1526296,4301	109,163776177	13,7993678164
134	2,123	304763,3709	1524310,0595	109,194058417	13,7816391569	179	2,812	301506,8363	1526305,8157	109,163805272	13,799452861
135	0,52	304759,3787	1524374,1934	109,194017048	13,7822185052	180	1,763	303133,4019	1525616,2849	109,178895032	13,7933331385

No	Z	X_VN2000	Y_VN2000	X (WS84)	Y (WS84)	No	Z	X_VN2000	Y_VN2000	X (WS84)	Y (WS84)
181	3,175	303136,3547	1525627,4153	109,178921556	13,7934339321	230	21,805	289347,8934	1512302,3341	109,052417143	13,6720383412
182	2,3	304759,7116	1524385,0841	109,194019369	13,7823169539	231	21,593	289359,3806	1512302,4161	109,052523299	13,6720399169
183	1,452	304759,6487	1524376,7201	109,194019369	13,7822413587	232	21,225	289367,0664	1512302,5023	109,052594323	13,6720412543
184	2,16	304763,8558	1524306,6909	109,194063135	13,781608746	233	21,4	289369,026	1512302,2531	109,052612451	13,6720391442
185	1,748	304763,2468	1524311,5381	109,194057167	13,7816525117	234	21,593	289376,1637	1512304,3205	109,052678262	13,6720583457
186	0,55	305978,1391	1524953,5892	109,205246694	13,7875373879	235	23,264	289383,0044	1512303,8263	109,052741519	13,6720543765
187	6,29	305981,8372	1524951,9403	109,205281005	13,7875227358	236	22,84	289380,0071	1512304,3602	109,052713779	13,6720589836
188	2,124	305979,576	1524952,9787	109,205260023	13,7875319676	237	23,471	289234,02	1512305,3432	109,051364535	13,6720572608
189	2,321	305944,085	1524976,7378	109,204930195	13,7877442994	238	24,213	289224,609	1512306,6151	109,051277467	13,6720680715
190	4,548	305940,9246	1524978,8972	109,204900821	13,7877636023	239	24,496	289192,4827	1512308,9607	109,050980391	13,6720869334
191	2,108	306987,2357	1525023,6572	109,21457307	13,7882385732	240	23,384	289391,8345	1512303,9174	109,052823117	13,6720558407
192	1,483	307042,5306	1525104,139	109,215078862	13,7889696587	241	24,789	289486,2865	1512297,2068	109,053696514	13,6720020546
193	0,759	307040,7093	1525097,8792	109,21506245	13,7889129622	242	23,93	289437,7829	1512300,1881	109,053248036	13,6720254755
194	1,247	306990,9808	1525028,2518	109,214607386	13,7882803495	243	34,185	284788,8432	1509922,4717	109,010464714	13,6501973646
195	6,143	296641,0521	1524366,2405	109,118950904	13,7815840566	244	28,42	284794,7486	1509911,3613	109,010520125	13,6500973999
196	7,453	296656,8729	1524367,682	109,119097084	13,7815982031	245	26,862	284806,5762	1509896,9459	109,010630511	13,6499680078
197	6,662	296341,0243	1524346,1528	109,116178195	13,7813812905	246	26,62	284810,0834	1509893,4531	109,010663185	13,6499367039
198	6,281	296357,3468	1524346,5467	109,116329091	13,781386006	247	26,862	284810,7911	1509892,4946	109,010669797	13,649928094
199	5,743	296388,4709	1524350,4935	109,116616588	13,7814238773	248	27,062	284810,9285	1509892,2305	109,010671087	13,6499257175
200	15,254	291808,5506	1518749,6324	109,07468356	13,7304808018	249	28,466	284820,4794	1509879,6924	109,010760293	13,6498131217
201	14,126	291811,1804	1518735,5882	109,074708906	13,7303540729	250	27,051	284799,8724	1509903,1239	109,010568096	13,6500233396
202	19,066	289339,4378	1515903,0689	109,052071174	13,7045774628	251	35,35	284829,7345	1509869,357	109,010846598	13,6497204079
203	17,822	289205,6439	1515946,7901	109,050831262	13,7049628233	252	35,714	284842,5647	1509855,6939	109,010966192	13,6495978884
204	17,71	289183,938	1515954,3863	109,050630067	13,7050298881	253	35,951	284856,2264	1509841,4931	109,01109351	13,6494705701
205	44,367	283381,7978	1507272,0089	108,997664685	13,6261413263	254	30,771	284792,5077	1509916,5325	109,010499026	13,6501439644
206	56,043	284312,4231	1504027,0917	109,00650893	13,596886854	255	34,404	284786,2017	1509925,4271	109,010440081	13,6502238765
207	57,543	284322,6049	1504024,5486	109,006603187	13,5968646253	256	242	297864,5295	1524218,1788	109,130274306	13,780332223
208	51,249	284305,7029	1504030,1418	109,006446616	13,59691392	257	104,3	296979,4965	1524246,1393	109,12208896	13,7805225799
209	1,36	299712,9193	1526194,1906	109,147224423	13,7983195281	258	19	301495,348	1525201,2251	109,163777117	13,7894693533
210	1,36	299709,5127	1526364,6793	109,147180756	13,7998600638	259	3	301500,3383	1525854,1414	109,163777117	13,7953704165
211	5,26	299713,2784	1526155,2532	109,14723052	13,7979676613	260	3,8	302399,6157	1525559,1294	109,172113643	13,7927662287
212	6,9	299712,7162	1526148,0059	109,147225839	13,7979021249	261	28	305721,0946	1524546,7616	109,202897919	13,7838432499
213	2,75	299709,3567	1526368,6904	109,147179027	13,799896303	262	54	302826,0432	1528764,6943	109,17583155	13,8217659097
214	4,07	299711,125	1526409,2729	109,147192484	13,8002631856	263	1,8	303389,4513	1528842,6906	109,181036621	13,8225094912
215	6,9	299715,2284	1526421,6727	109,147229544	13,8003755336	264	1,8	304045,7225	1528442,7915	109,18713399	13,8189402997
216	6,9	299712,6654	1526417,5486	109,147206138	13,8003380843	265	56	284125,5117	1504044,1231	109,004780855	13,597026936
217	1,762	300247,458	1526689,5445	109,152132148	13,8028334682	266	38	284990,5014	1510523,981	109,012282629	13,6556480036
218	0,95	301899,1035	1526862,3589	109,167393405	13,804509697	267	29	289448,7748	1511625,2955	109,053399716	13,6659272752
219	1,626	301882,9264	1526820,6335	109,167246752	13,8041314878	268	30	290130,4934	1516270,961	109,059355602	13,7079595972
220	1,206	306168,5349	1528069,9693	109,206792063	13,8157151077	269	25	289749,398	1517558,605	109,055737298	13,7195683212
221	0,514	307107,4	1529114,6051	109,215402958	13,8252195159	270	17	291968,3285	1517657,613	109,076241018	13,7206236598
222	0,709	307015,8795	1529260,291	109,214546487	13,8265300233	271	20	291161,4356	1518731,7505	109,068702886	13,7302724693
223	1,35	300355,4452	1526594,9958	109,153137473	13,8019865021	272	10	300485,3335	1525630,5061	109,154407137	13,7932790231
224	4,084	299841,6408	1526444,6585	109,148396873	13,8005920785	273	5,32	300473,1325	1526164,4248	109,154256375	13,7981034279
225	16,235	289255,3405	1515930,2353	109,05129184	13,7048168389	274	9,61	299712,8289	1526937,6563	109,14717053	13,8050385098
226	21,762	289303,5286	1512303,1513	109,052007076	13,6720425036	275	26,8	299668,3022	1527505,192	109,146718242	13,8101644399
227	22,844	289300,2393	1512303,2237	109,051976672	13,6720429187	276	2,55	300188,8045	1527351,0382	109,151542647	13,808807576
228	23,01	289278,6074	1512302,7291	109,051776793	13,6720368775	277	5	297233,9869	1524754,844	109,12440537	13,7851378401
229	23,144	289256,2402	1512303,963	109,05156999	13,6720464026						

Annexe 3

Thèmes et changements d'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

Tableau 3A1: Classes thématiques appliquées pour la classification (Ngo, 2013 d'après Hoang *et al.*, 2007)

Classes thématiques	Groupes	Description
Type de sol 1	Surfaces artificialisées	Urbain à forte densité (centre ville ou ville des districts)
Type de sol 2		Urbain à faible densité (incluent des jardins et villages)
Type de sol 3		Constructions, zones industrielles et routes
Rizières	Surfaces agricoles	Rizières
Milieu humide 1		Milieu agricole très humide
Milieu humide 2		Milieu agricole humide
Milieu sec		Milieu agricole sec, terres agricole en friche, sans récolte, etc.
Forêt	Forêt	Feuillus, plantations d'acacia, de pin, d'eucalyptus, de bambou
Eau	Surfaces en eau	Rivières, lacs, lagune et zones inondées

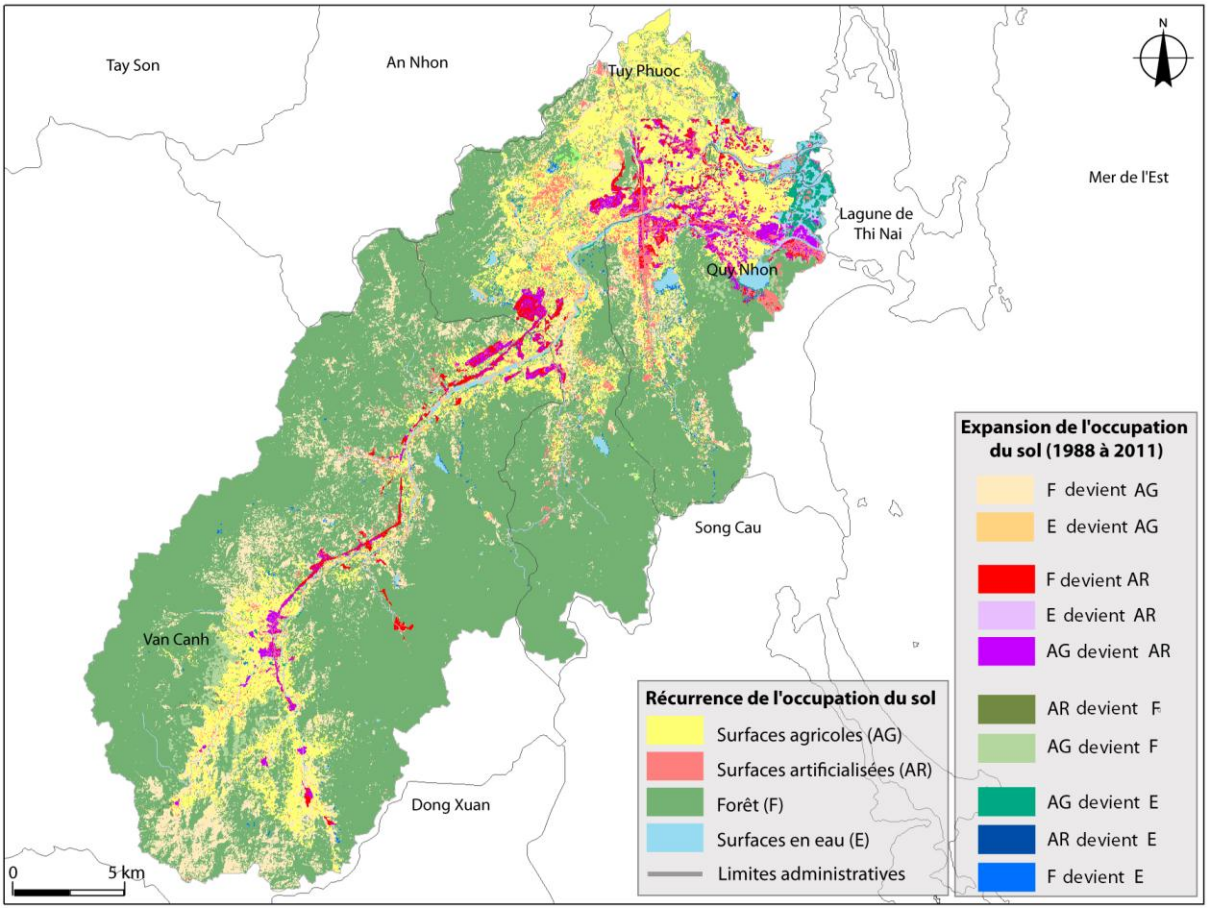


Figure 3A2 : Changement de l'occupation du sol entre 1988-2011. Réalisation : Ngo, 2012

Tableau 3A3 : Changement d'occupation du sol dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh entre 1988-2011

	Occupation du sol (*Moy.* 1988-2011)	
Classes thématiques	**Récurrence (km^2)**	**Expansion (Km^2)**
Forêt (F)	395.67	-
F provient AR	-	5.79
F provient E	-	0.85
F provient AG	-	68.7
E provient AR	-	0.78
Surfaces en eau (E)	13.01	-
E provient AG	-	1.04
AG provient F	-	2.76
AG provient AR	-	16.9
AG provient E	-	2.49
Surfaces agricoles (AG)	90.09	-
AR provient F	-	0.02
Surfaces artificialisées (AR)	21.9	-
Total	**520.66**	**99.33**

Annexe 4

La pollution par les métaux lourds dans le fleuve Ha Thanh

Tableau 4A1 : Analyse des matières transportées en suspension par le fleuve Ha Thanh.

Matière En Suspension - MES (tonne)	**$NH_{3,4}$-N (kg)**	**NO_2-N (kg)**	**NO_3-N (kg)**	**N (kg)**	**PO_4-P (kg)**	**P (kg)**	**Zn (kg)**	**Fe (kg)**	**Cu (kg)**	**Pb (kg)**
Hautes eaux										
51.21	22.75	6.65	37.38	401.53	5.6	44.08	6.06	749.38	713	875
Basses eaux										
5.98	15.25	1.43	40.69	224.93	5.7	29.73	3.13	186.75	308	354
Année										
57.2	38	8.08	78.06	626.45	11.3	73.81	9.19	936.13	1021	1229

(Source : Le *et al.*, 2010)

Annexe 5

Evolution de la population dans la ville de Quy Nhon (1976-2009)

Tableau 5A. Population et croissance démographique de la ville de Quy Nhon (1976-2009)

N°	Quartier et village	Population (personne)			Annuelle brute		
		1976	1999	2009	1976 - 1999	1999 - 2009	*Moy*, 1976 - 2009
1	Bui Thi Xuan	-	12869	15556	560	269	471
2	Dong Da	13863	20283	30074	279	979	491
3	Ghenh Rang	-	5954	10562	259	461	320
4	Hai Cang	14767	19471	17573	205	-190	85
5	Le Hong Phong	16816	14087	14290	-119	20	-77
6	Le Loi	16825	13197	13058	-158	-14	-114
7	Ly Thuong Kiet	-	5369	5658	233	29	171
8	Ngo May	12520	19362	23297	297	394	327
9	Nguyen Van Cu	-	12497	15366	543	287	466
10	Nhon Binh	20025	15569	18806	-194	324	-37
11	Nhon Chau	1826	2522	1922	30	-60	3
12	Nhon Hai	4282	5366	5643	47	28	41
13	Nhon Hoi	-	3030	3402	132	37	103
14	Nhon Ly	6275	8861	9002	112	14	83
15	Nhon Phu	-	16097	19709	700	361	597
16	Phuoc My	-	4748	5010	206	26	152
17	Quang Trung	7097	9274	22450	95	1318	465
18	Thi Nai	-	10475	11387	455	91	345
19	Tran Hung Dao	13436	10188	9431	-141	-76	-121
20	Tran Phu	15020	20989	11391	260	-960	-110
21	Tran Quang Dieu	-	14833	17355	645	252	526

Annexe 6

Protocole d'enquête

Perception et représentation du risque dans le delta du fleuve Ha Thanh

Questionnaire à destination des habitants :

1. Connaissances des risques

1.1 Pensez-vous que votre habitation est exposée à des risques ?

□ Oui □ Non □ Je ne sais pas

Si vous avez répondu « non » ou « je ne sais pas », passez à la question 2.

1.2 Parmi les risques suivants, quels sont les risques que vous craignez le plus ? Indiquez les deux risques que vous craignez le plus :

Type de risque	Choix 1	Choix 2
Risques d'inondation		
Risques de rupture de digue		
Risques de typhon		

2. Mémoires d'événements hydrologiques

2.1 Avez-vous vécu personnellement des inondations ?

□ Oui □ Non □ Je ne sais pas

2.2 Avez-vous entendu parler d'inondations ailleurs que dans votre province (au Viêt-Nam, dans le monde) ?

□ Oui □ Non □ Je ne sais pas

2.3 Pouvez-vous en citer trois et les dater ?

Lieu de l'inondation :	Date :

2.4 Ces inondations vous ont marqué, pour quelles raisons ? (une réponse)

□ Je les ai vécus personnellement

□ J'en ai beaucoup entendu parler par les médias

□ J'ai de la famille qui a été impliquée dans un tel évènement

□ Autres (à déterminer) :……

3. Typhon Mirinae (novembre 2009)

3.1 Avez-vous vécu le passage du typhon Mirinae (novembre 2009) ? (une réponse)

□ Je l'ai vécu personnellement

□ J'en ai beaucoup entendu parler par les médias

□ J'ai de la famille qui a été impliquée dans un tel évènement

□ Autres (à déterminer) :……

3.2 Pour vous, qu'est ce qui est le plus dangereux ?

□ Les vents

□ La remontée de la mer

□ La crue de la rivière Ha Thanh

3.3 Qu'est ce qui a fait le plus de dégâts ?

□ Les vents

Précisez les conséquences pour la personne interviewée (ex. : toiture arrachée, arbres arrachés…)

……

□ La remontée de la mer

Précisez les conséquences pour la personne interviewée (ex. : toiture arrachée, arbres arrachés…)

……

□ La crue de la rivière Ha Thanh

Précisez les conséquences pour la personne interviewée (ex. : maison inondée, culture détruite…)

……

3.4 Comment viviez-vous pendant l'inondation ?

Précisez :

……

3.5 Notez le vécu de l'inondation de la rivière au point d'enquête (niveau de l'eau, vitesse des courants, plusieurs courants ?…)

……

4. Gestion et adaptation au risque d'inondation

4.1 Vous sentez-vous en sécurité dans votre habitation par rapport au risque d'inondation ?

□ Très en sécurité □ Plutôt en sécurité □ Plutôt pas en sécurité □ Pas du tout en sécurité

4.2 Quelles sont les mesures d'aide et de prévention prises par les autorités **?**

……

4.3. Que faudrait-il faire pour limiter le risque d'inondation ? (Laisser répondre la personne)

……

4.3. Que faudrait-il faire pour limiter le risque d'inondation ? (Choisir 2 possibilités)

□ Construire des barrages □ Améliorer les digues □ Améliorer les habitations
□ Entretenir la rivière

4.4 Y a t-il plus de typhons et d'inondations depuis que vous vivez ici

□ Oui □ Non □ Je ne sais pas

4.5 Combien par an ?

……

5. Aménagements du delta

5.1 Que pensez-vous de l'aménagement dans le delta ?

……

5.2 Souhaiteriez-vous vivre dans ces nouveaux quartiers ?

□ Oui □ Non □ Je ne sais pas

5.3. Sinon, pourquoi ?

……

5.4. Quels sont les changements en cours ?

……

6. Renseignements personnels :

6.1. Vous êtes :

□ Un homme □ Une femme

6.2 Vous avez :

□ Moins de 20 ans □ Entre 21 ans et 30 ans □ Entre 31 ans et 40 ans

□ Entre 41 ans et 50 ans □ Entre 51 ans et 60 ans □ Entre 61 ans et 70 ans

□ Plus de 71 ans

6.3. Quelle profession exercez-vous ?

……

6.4. Où travaillez-vous :

……

6.5. Depuis quand vivez-vous ici ?

……

Merci d'avoir répondu à ce questionnaire.

Annexe 7

Résultats des précipitations dans les sous-bassins 2, 3, 4 et 5 par la méthode d'interpolation IDW et les deux sous-bassins 1, 6 et 7 par les deux stations Quy Nhon et Van Canh dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

Les deux tableaux 7A1 et 7A2 représentent des corrélations importantes entre les cumuls par l'interpolation IDW dans les différents sous-bassins (2, 3, 4 et 5) avec les deux stations pluviométriques (Quy Nhon et Van Canh).

Tableau 7A1. Matrice de corrélation (Pearson) des cumuls de précipitations d'interpolation avec la station pluviométrique de Quy Nhon.

	Quy Nhon	**Sous-bassin 2**	**Sous-bassin 3**	**Sous-bassin 4**	**Sous-bassin 5**
Quy Nhon	1	0.84	0.98	0.58	0.48
Sous-bassin 2	0.84	1	0.87	0.90	0.84
Sous-bassin 3	0.98	0.87	1	0.62	0.52
Sous-bassin 4	0.58	0.90	0.62	1	0.98
Sous-bassin 5	0.48	0.84	0.52	0.98	1

Tableau 7A2. Matrice de corrélation (Pearson) des cumuls de précipitations d'interpolation avec la station pluviométrique de Van Canh.

	Van Canh	**Sous-bassin 2**	**Sous-bassin 3**	**Sous-bassin 4**	**Sous-bassin 5**
Van Canh	1	0.75	0.42	0.95	0.98
Sous-bassin 2	0.75	1	0.87	0.90	0.84
Sous-bassin 3	0.42	0.87	1	0.62	0.52
Sous-bassin 4	0.95	0.90	0.62	1	0.98
Sous-bassin 5	0.98	0.84	0.52	0.98	1

Tableau 7A3. Estimation de la pluie moyenne du bassin versant du fleuve Ha Thanh

Sous-bassin	**Superficie (km^2)-w**	**Précipitation total (mm) - P**	**$w_i * P_i$**
1	44.3	361.6	16018.9
2	102.7	472.7	48546.3
3	93.4	370.2	34561.5
4	105.5	629.6	66422.8
5	76.8	716.0	54988.8
6	94.6	851.0	80546.5
7	102.6	851.0	87333.2
Précipitations moyennes du bassin versant-P_{moy} (mm)			**626.4**

Tableau 7A4. Estimation la précipitation dans les sous-bassins du fleuve Ha Thanh

Temps (heure)	Précipitation pour les sous-bassins (mm)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3.5	2.7	3.0	1.6	1.0	0.0	0.0
3	15.7	12.0	15.0	7.2	4.2	0.0	0.0
4	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1.0	0.8	1.0	0.5	0.3	0.0	0.0
6	0.8	0.6	0.8	0.4	0.2	0.0	0.0
7	3.2	4.7	3.2	6.9	8.3	10.0	10.0
8	12.9	9.8	12.8	5.8	3.3	0.0	0.0
9	3.9	3.0	3.9	1.7	0.9	0.0	0.0
10	21.4	21.5	21.4	21.7	21.8	22.0	22.0
11	13.8	10.4	13.0	6.0	3.7	0.0	0.0
12	11.6	8.9	10.0	5.0	2.7	0.0	0.0
13	9.6	17.2	12.3	27.0	33.1	42.0	42.0
14	12.1	9.2	12.1	5.3	2.9	0.0	0.0
15	25.7	19.1	25.7	11.4	6.4	0.0	0.0
16	32.0	42.4	33.1	56.2	65.6	76.0	76.0
17	21.2	33.7	23.0	52.4	61.7	77.0	77.0
18	17.1	27.6	17.1	42.5	51.7	63.0	63.0
19	20.1	26.8	20.1	36.0	41.5	49.0	49.0
20	10.4	20.6	10.0	35.4	44.2	56.0	56.0
21	31.1	37.4	31.1	46.7	52.4	59.0	59.0
22	23.3	30.1	23.3	39.0	44.8	52.0	52.0
23	23.4	25.6	23.4	28.7	30.5	33.0	33.0
24	9.6	14.5	9.6	21.8	24.4	32.0	32.0
25	8.6	20.6	8.6	37.4	44.3	62.0	62.0
26	5.0	9.4	5.0	16.3	18.4	23.0	23.0
27	12.9	17.7	14.2	23.5	26.0	32.0	32.0
28	3.3	10.6	4.5	20.5	26.0	34.0	34.0
29	1.8	1.3	1.8	0.8	0.4	0.0	0.0
30	1.9	1.4	1.9	0.9	0.4	0.0	0.0
31	2.3	13.7	4.1	27.2	38.4	51.0	51.0
32	0.4	0.3	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0
33	1.6	1.2	1.5	0.7	0.4	0.0	0.0
34	0.1	9.1	3.0	22.4	27.7	40.0	40.0
35	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
36	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
37	0.0	4.7	0.0	10.7	15.0	20.0	20.0
38	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40	0.0	1.2	0.0	2.8	3.7	5.0	5.0
41	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
42	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
43	0.0	0.9	0.0	2.2	3.0	4.0	4.0
44	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
46	0.0	2.1	0.0	5.0	6.5	9.0	9.0
47	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
48	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	**361.6**	**472.7**	**370.2**	**629.6**	**716**	**851.0**	**851.0**

Annexe 8

Identifier le coefficient de rugosité dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

Le coefficient de rugosité de Manning (ou coefficient Manning-Gauckler), noté n (inverse du Strickler K=1/n) est un coefficient empirique, qui dépend de nombreux facteurs, dont la rugosité de surface (nature de la couverture végétale et des surfaces nues) et la sinuosité (Tinkler, 1997 ; Chanson, 2004).

Tableau 8A. Valeurs usuelles des Strickler (K) en fonction du type de cours d'eau (Tinkler, 1997 ; Sepaskhah et Bondar, 2002)

Type de cours d'eau	**Valeurs usuelles de K ($m^{1/3}/s$)**
Canal en béton, très lisse	75 à 100
Canal bétonné, état moyen	50 à 75
Canal en terre	30 à 50
Cours d'eau à galet, rectiligne et section uniforme	40 à 50
Cours d'eau avec méandre, sinuosité	30 à 40
Cours d'eau avec embâcles	20 à 30

Annexe 9

Résultats de la simulation sur la crue en 2-3 novembre 2009 dans les sous-bassins dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

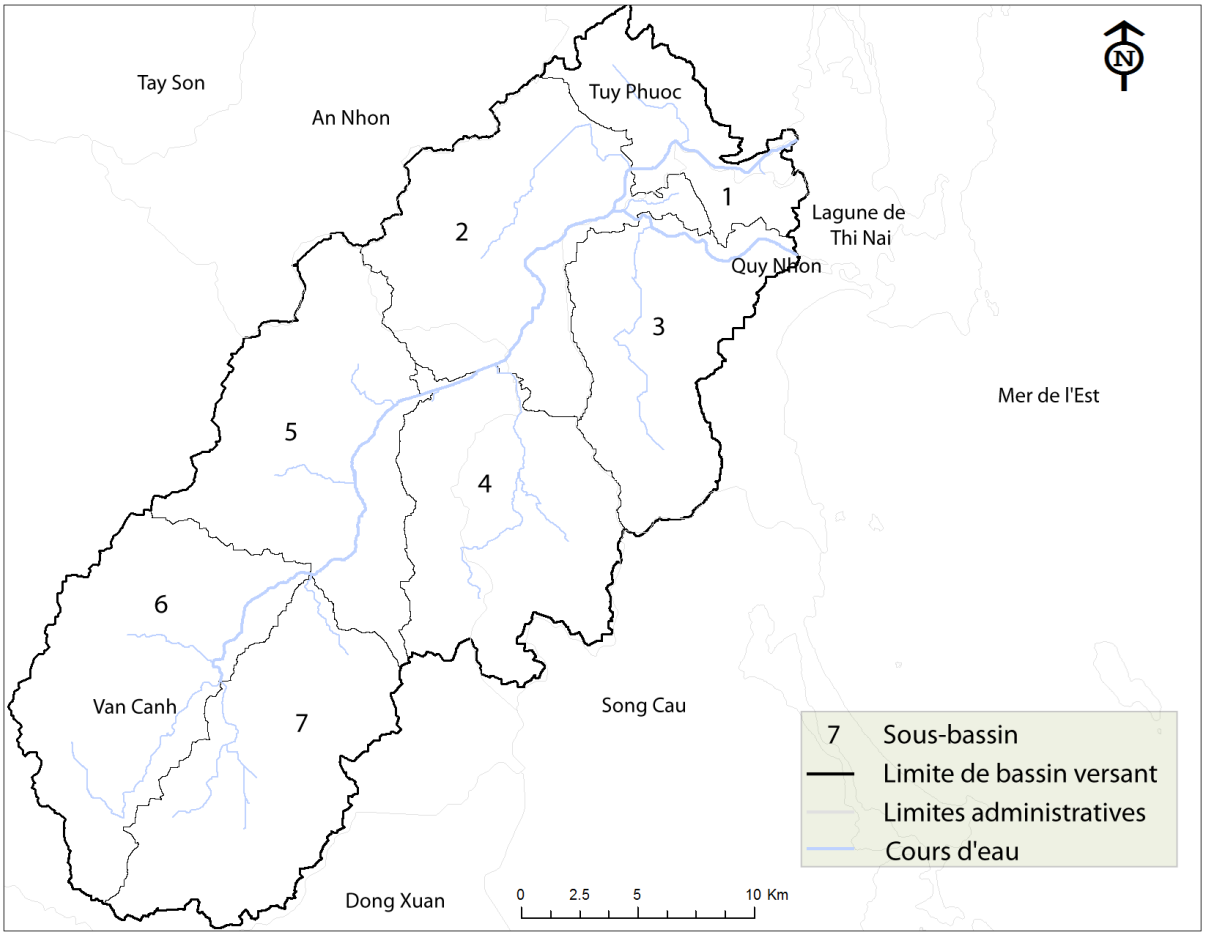


Figure 9A. Sous-bassins du bassin versant du fleuve Ha Thanh (Ngo, 2013)

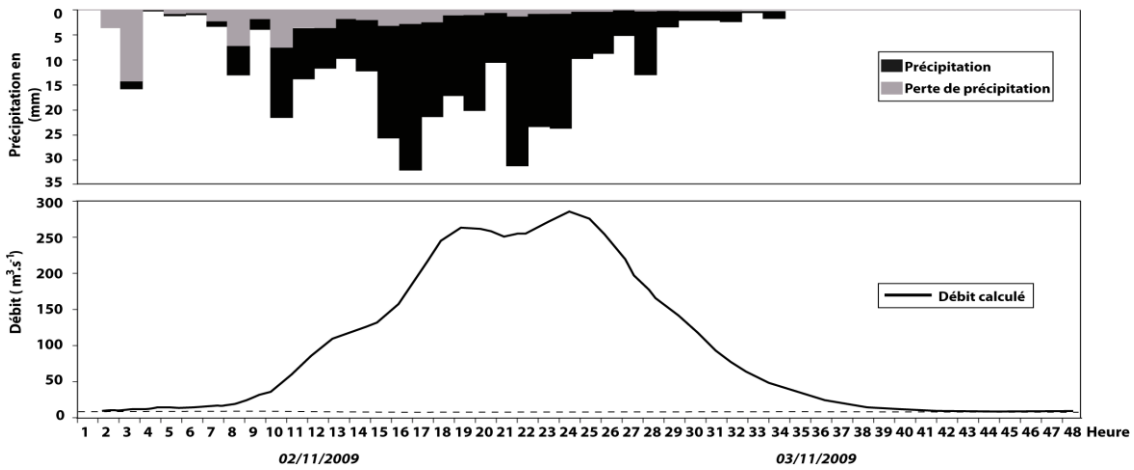


Figure 9A1. Débit simulé pour le sous bassin 1

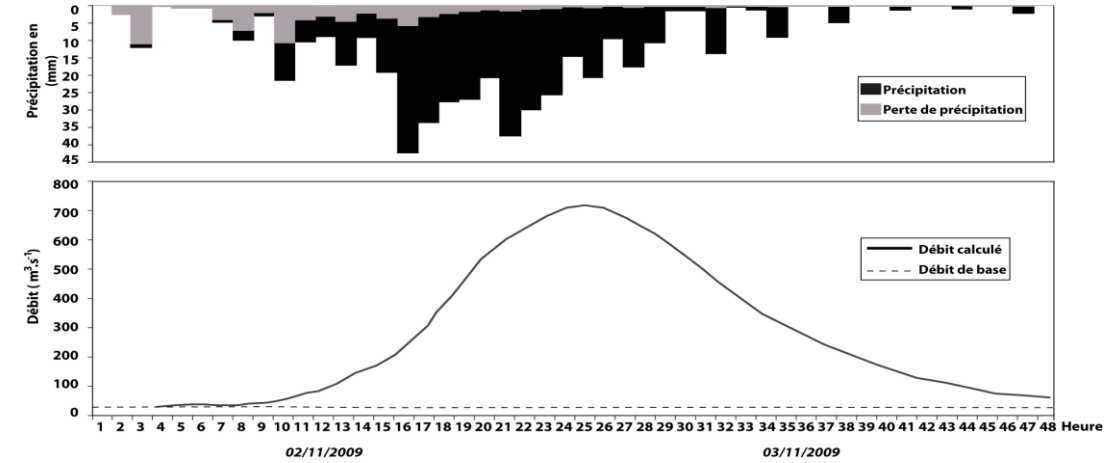


Figure 9A2. Débit simulé pour le sous bassin 2

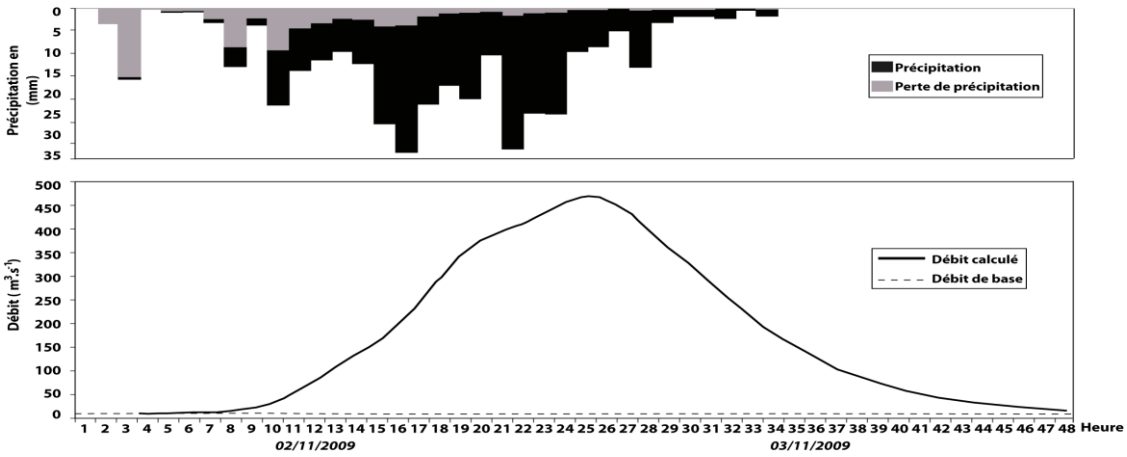


Figure 9A3. Débit simulé pour le sous bassin 3

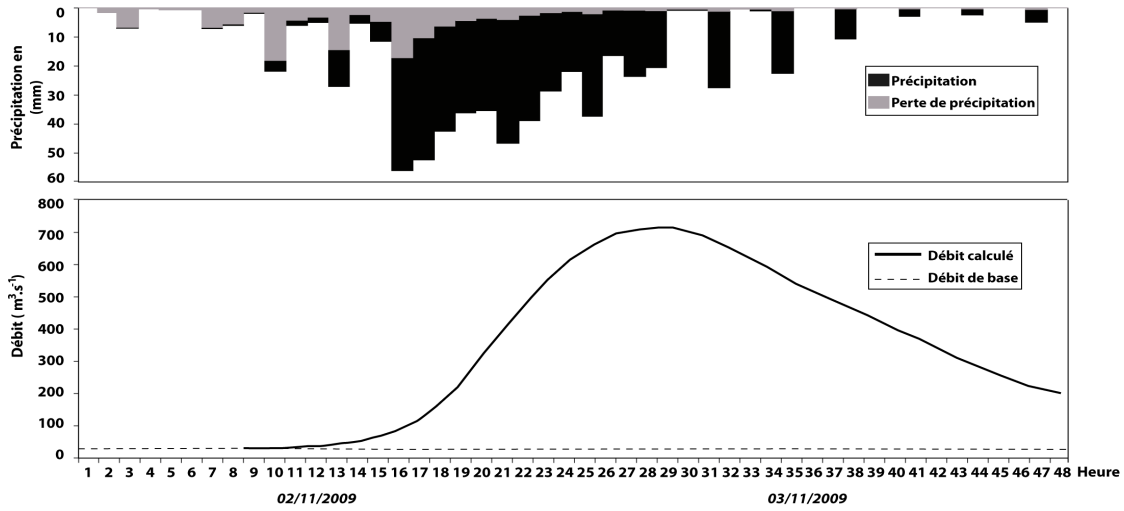


Figure 9A4. Débit simulé pour le sous bassin 4

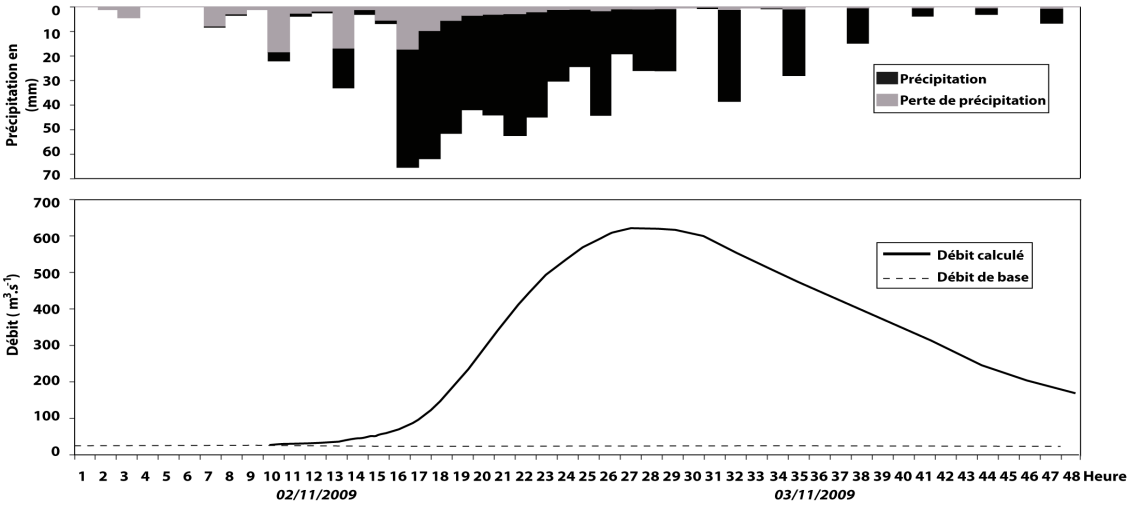


Figure 9A5. Débit simulé pour le sous bassin 5

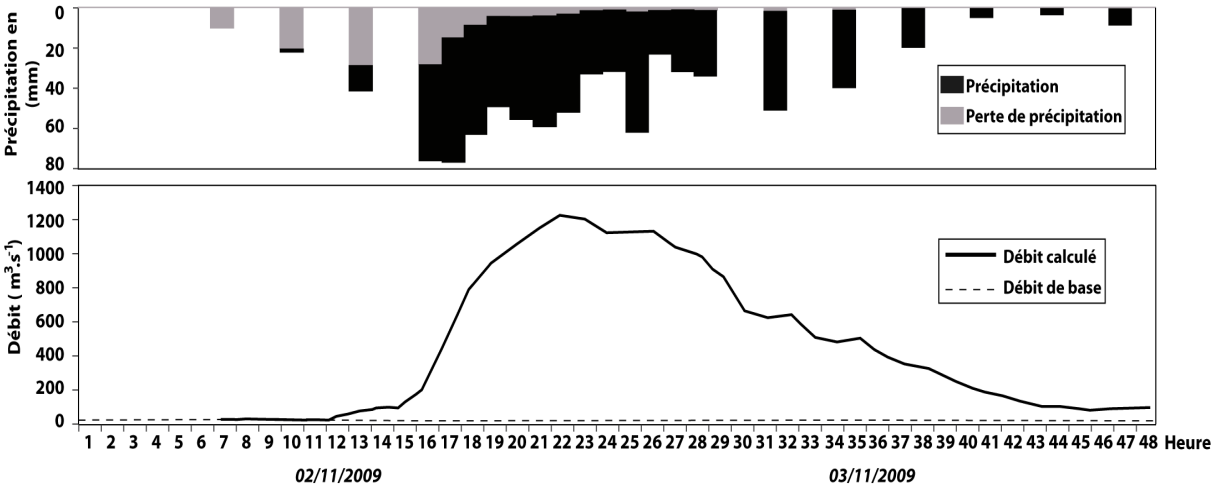


Figure 9A6. Débit simulé pour le sous bassin 6

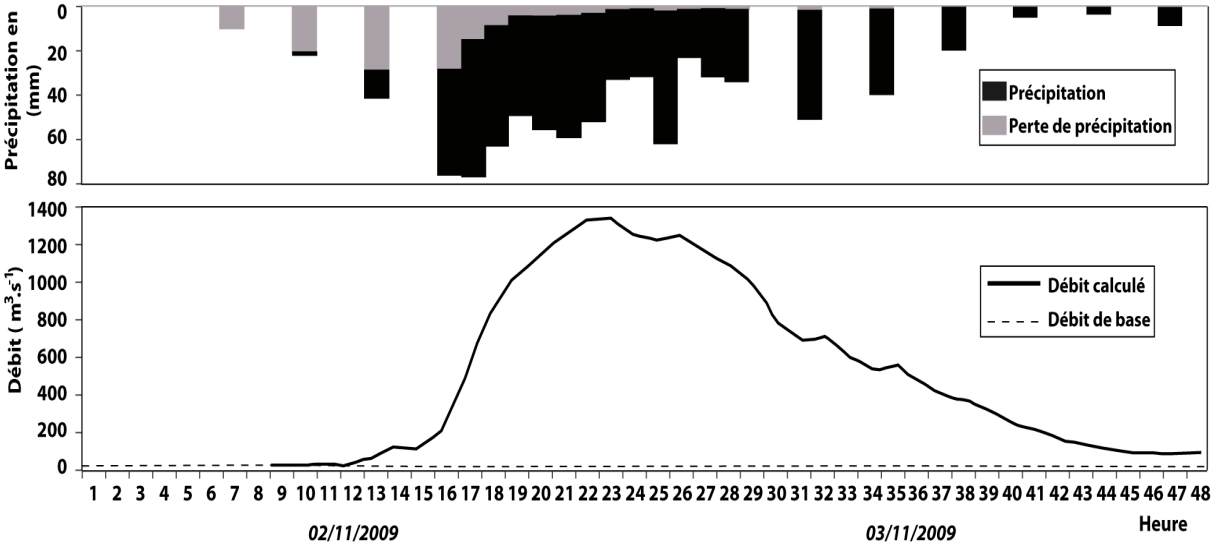


Figure 9A7. Débit simulé pour le sous bassin 7

Annexe 10

Relation entre les débits simulés par HEC-HMS et les niveaux d'eau observés

STATION DE VAN CANH (Altitude 40 m)

Date	Heure	Débit calculé $m^3.s^{-1}$	Niveau d'eau (m)
02nov.2009	01:00	117.6	40.10
02nov.2009	02:00	117.6	40.20
02nov.2009	03:00	117.6	40.20
02nov.2009	04:00	117.6	40.20
02nov.2009	05:00	117.6	40.20
02nov.2009	06:00	117.6	40.20
02nov.2009	07:00	120	40.39
02nov.2009	08:00	123	40.39
02nov.2009	09:00	122.8	40.39
02nov.2009	10:00	128.7	40.45
02nov.2009	11:00	136.8	40.45
02nov.2009	12:00	135.9	40.45
02nov.2009	13:00	202.1	41.24
02nov.2009	14:00	288.6	42.64
02nov.2009	15:00	282.8	42.82
02nov.2009	16:00	479.7	42.99
02nov.2009	17:00	1050.3	44.87
02nov.2009	18:00	1658.8	45.88
02nov.2009	19:00	2033.8	46.90
02nov.2009	20:00	2245.5	47.53
02nov.2009	21:00	2443.8	47.84
02nov.2009	22:00	2603.7	48.05
02nov.2009	23:00	2598.5	47.97
03nov.2009	00:00	2444.4	47.71
03nov.2009	01:00	2421.5	47.64
03nov.2009	02:00	2431.6	46.52
03nov.2009	03:00	2280	45.73
03nov.2009	04:00	2150.1	45.18
03nov.2009	05:00	1928.4	44.84
03nov.2009	06:00	1530.4	44.63
03nov.2009	07:00	1395.8	44.32
03nov.2009	08:00	1416.5	44.08
03nov.2009	09:00	1195.8	43.79
03nov.2009	10:00	1099.3	43.68
03nov.2009	11:00	1118.6	43.49
03nov.2009	12:00	947	43.36
03nov.2009	13:00	820.1	43.24
03nov.2009	14:00	771.9	43.08
03nov.2009	15:00	643.6	42.87
03nov.2009	16:00	525.2	42.76
03nov.2009	17:00	449.3	42.69
03nov.2009	18:00	371.1	42.64
03nov.2009	19:00	319.9	42.6
03nov.2009	20:00	291.8	42.58
03nov.2009	21:00	253.6	42.57
03nov.2009	22:00	258.2	42.56
03nov.2009	23:00	283.8	42.54

Le coefficient de Pearson : il est défini par le rapport de la variation expliquée à la variation totale (McCuen, 1993). il presente la formule suivante :

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})(S_i - \overline{S})}{\left[\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})^2\right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^{n} (S_i - \overline{S})^2\right]^{0.5}} \right]$$

Corrélation	Négative	Positive
Faible	de −0.5 à 0.0	de 0.0 à 0.5
Forte	de −1.0 à −0.5	de 0.5 à 1.0

Où R^2 est le coefficient de Pearson, S_i et O_i sont les débits calculés et les niveaux d'eau observés du jour i ; $\overline{s}$et $\overline{o}$sont la moyenne de S_i et O_i sur les n jours servant au calcul du coefficient.

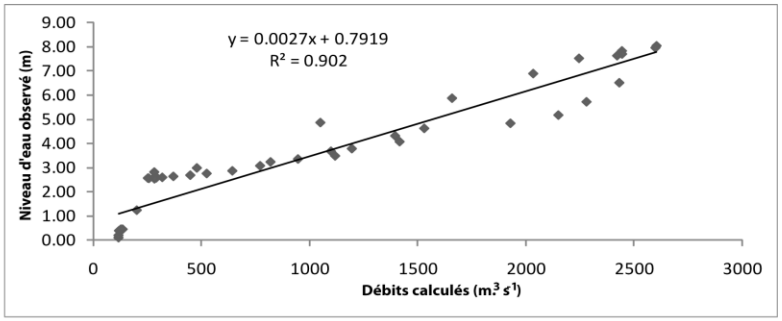


Figure 10A1. Relation entre les débits simulés et les niveaux d'eau observés à la station hydrologique de Van Canh du bassin versant du fleuve Ha Thanh, les 2 et 3 novembre 2009

STATION DE DIEU TRI (Altitude 9 m)

Date	Heure	Débit calculé $m^3.s^{-1}$	Niveau d'eau (m)
02nov.2009	01:00	294	1.00
02nov.2009	02:00	294.1	1.00
02nov.2009	03:00	294.9	1.00
02nov.2009	04:00	296.7	1.00
02nov.2009	05:00	299	1.00
02nov.2009	06:00	301.1	1.00
02nov.2009	07:00	303.3	1.20
02nov.2009	08:00	307.2	1.20
02nov.2009	09:00	312.8	1.20
02nov.2009	10:00	325.1	1.20
02nov.2009	11:00	349.4	1.20
02nov.2009	12:00	381.9	1.20
02nov.2009	13:00	441.3	1.38
02nov.2009	14:00	543	1.40
02nov.2009	15:00	640.5	1.40
02nov.2009	16:00	808.1	1.75
02nov.2009	17:00	1289.2	2.71
02nov.2009	18:00	2045.5	3.75
02nov.2009	19:00	2758.3	4.78
02nov.2009	20:00	3293.3	5.86
02nov.2009	21:00	3733.1	6.36
02nov.2009	22:00	4106.4	6.86
02nov.2009	23:00	4336.6	7.16
03nov.2009	00:00	4397	7.29
03nov.2009	01:00	4443	7.33
03nov.2009	02:00	4483.6	7.33
03nov.2009	03:00	4400.8	7.29
03nov.2009	04:00	4252.2	7.23
03nov.2009	05:00	4021.7	7.13
03nov.2009	06:00	3639.4	7.03
03nov.2009	07:00	3325.2	6.94
03nov.2009	08:00	3148.4	6.79
03nov.2009	09:00	2901.6	6.68
03nov.2009	10:00	2668.9	6.56
03nov.2009	11:00	2529.2	6.44
03nov.2009	12:00	2342.7	6.31
03nov.2009	13:00	2132.7	6.27
03nov.2009	14:00	1963	6.11
03nov.2009	15:00	1785.1	5.93
03nov.2009	16:00	1595.1	5.73
03nov.2009	17:00	1423.1	5.58
03nov.2009	18:00	1267.4	5.44
03nov.2009	19:00	1132.4	5.31
03nov.2009	20:00	1022.9	5.19
03nov.2009	21:00	928.3	5.09
03nov.2009	22:00	859	5.00
03nov.2009	23:00	821.6	4.90

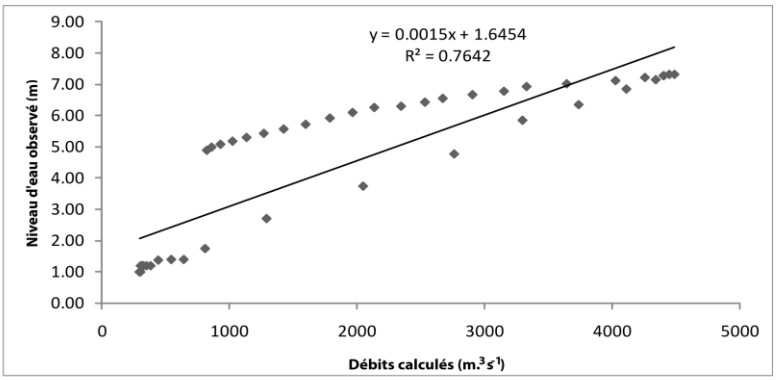


Figure 10A2. Relation entre les débits simulés et les niveaux d'eau observés à la station hydrologique de Dieu Tri du bassin versant du fleuve Ha Thanh les 2 et 3 novembre 2009

Annexe 11

Résultats de la simulation sur la crue en 1-30 novembre 2009 dans le bassin versant du fleuve Kon

Figure 11A. Les précipitations observées, les niveaux d'eaux observés, les débits observés et les débits simulés à la station hydrologique de Binh Tuong du bassin versant du fleuve Kon, du 1 novembre 2009 au 30 novembres 2009

STATION DE BINH TUONG (Altitude 15 m)

Date	Temps	Précipitations (mm)	Niveau d'eau (m)	Débits simulés ($m^3.s^{-1}$)	Débits observés ($m^3.s^{-1}$)
01nov.2009	00:00	0	5.09	91.1	106
02nov.2009	00:00	151	5.67	768.3	649
03nov.2009	00:00	169	8.77	2364.3	2330
04nov.2009	00:00	17	7.26	1770.2	1097
05nov.2009	00:00	12	6.75	485.6	649
06nov.2009	00:00	11	6.67	430.7	604
07nov.2009	00:00	10	6.49	312.6	514
08nov.2009	00:00	9	6.27	294.3	418
09nov.2009	00:00	8	6.08	275.9	345
10nov.2009	00:00	8	5.91	266.8	290
11nov.2009	00:00	7	5.78	257.6	252
12nov.2009	00:00	7	5.68	248.4	228
13nov.2009	00:00	6	5.58	239.1	204
14nov.2009	00:00	3	5.59	201.6	207
15nov.2009	00:00	3	5.44	173.4	171
16nov.2009	00:00	3	5.37	173.4	156
17nov.2009	00:00	16	5.33	296	149
18nov.2009	00:00	16	5.30	418.7	143
19nov.2009	00:00	16	5.25	419.3	133
20nov.2009	00:00	2	5.21	287.2	126
21nov.2009	00:00	2	5.19	154.9	122
22nov.2009	00:00	2	5.18	154.9	121
23nov.2009	00:00	2	5.16	154.9	117
24nov.2009	00:00	2	5.03	154.9	95
25nov.2009	00:00	2	4.97	154.9	87
26nov.2009	00:00	2	4.95	154.9	84
27nov.2009	00:00	2	4.87	154.9	71
28nov.2009	00:00	2	4.75	154.9	56
29nov.2009	00:00	2	4.70	154.9	57
30nov.2009	00:00	0	4.70	80	55

Annexe 12

Débits moyens simulés par le modèle HEC-HMS dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh depuis 1982

Tableau 12A. Régime hydrologique dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh depuis 1982

Année	Mois												Débit moyen annuel
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
1982	47.35	28.94	20.35	12.71	20.09	26.51	14.84	31.83	40.80	150.19	103.84	54.62	**46**
1984	46.82	29.17	20.15	13.14	23.94	49.14	21.22	30.04	45.00	137.18	252.93	84.06	**62.73**
1985	48.26	23.93	21.90	21.95	56.99	25.02	24.35	24.15	69.00	113.23	222.94	111.40	**63.59**
1986	46.10	32.32	20.78	12.26	21.94	25.74	24.28	43.53	42.93	131.85	126.76	154.81	**56.94**
1987	46.56	29.83	24.41	12.33	14.94	30.60	13.81	28.62	44.05	82.59	288.90	54.07	**55.89**
1988	47.97	29.21	20.74	12.54	12.66	32.70	31.22	28.53	54.57	219.54	156.80	71.38	**59.82**
1989	46.65	29.10	44.62	11.96	24.37	32.27	31.96	35.86	49.85	122.25	157.89	69.24	**54.67**
1990	47.11	28.82	21.53	19.36	28.09	46.55	29.15	42.33	37.47	222.02	150.86	85.95	**63.27**
1991	47.05	31.47	28.56	28.52	21.87	38.78	20.65	29.94	69.05	167.95	148.63	75.32	**58.98**
1992	54.12	28.89	20.13	17.29	17.90	39.03	27.57	41.16	30.40	192.33	114.91	55.29	**53.25**
1993	45.98	27.96	20.41	12.49	21.96	27.48	17.41	29.33	56.35	180.66	144.17	155.38	**61.63**
1994	46.40	28.23	21.22	12.01	35.72	31.74	23.50	33.09	67.55	119.61	95.00	88.28	**50.2**
1995	46.05	28.30	22.52	12.07	21.54	20.58	17.55	32.63	85.75	147.79	132.00	83.88	**54.22**
1996	49.25	34.00	23.63	25.07	38.85	34.86	18.64	26.74	68.57	149.54	274.12	153.94	**74.77**
1997	46.19	28.55	20.15	19.46	25.45	24.24	16.48	24.43	76.05	96.90	137.05	65.77	**48.39**
1998	47.97	29.21	20.98	12.82	12.66	32.26	31.63	27.81	53.96	219.65	155.67	73.68	**59.86**
1999	47.62	37.44	22.30	26.07	28.83	27.65	18.09	33.93	36.66	174.68	202.01	164.64	**68.33**
2000	52.98	29.37	25.23	25.09	51.59	41.86	32.59	40.83	25.22	158.16	184.78	97.03	**63.73**
2001	46.38	28.29	34.79	18.34	24.25	21.86	20.81	36.90	37.10	122.16	124.62	76.63	**49.34**
2002	46.22	30.74	20.37	13.77	23.79	26.49	16.45	51.19	84.54	103.40	207.53	98.11	**60.22**
2003	46.09	28.09	20.27	12.34	26.35	55.87	21.06	37.39	37.77	206.35	163.39	66.26	**60.1**
2004	46.95	27.95	20.20	12.62	26.68	62.38	21.16	32.18	60.98	96.82	122.33	59.99	**49.19**
2005	45.92	28.11	27.02	13.85	19.84	24.70	19.03	32.25	75.35	217.00	173.14	184.51	**71.73**
2006	49.96	32.59	38.78	15.13	27.78	27.54	22.30	31.13	81.61	88.09	99.84	85.78	**50.04**
2007	54.74	27.98	28.98	13.36	34.48	37.28	13.97	64.46	43.07	199.05	259.32	53.65	**69.19**
2008	72.35	34.21	24.58	17.89	40.53	27.02	26.37	34.88	73.25	127.95	281.99	100.99	**71.83**
2009	47.47	30.28	21.47	37.84	64.67	29.23	20.18	34.88	88.74	132.22	263.00	51.65	**68.47**
2010	56.75	29.59	22.58	14.09	16.88	36.87	60.21	55.00	36.77	150.47	284.98	67.91	**69.34**
2011	46.28	28.34	25.61	18.22	28.20	29.71	26.89	35.34	81.02	136.77	147.10	72.98	**56.37**
2012	49.03	32.35	21.23	39.07	23.35	31.67	29.34	36.57	70.90	78.47	115.34	61.69	**49.08**
Débit moyen par mois	**48.95**	**29.77**	**24.18**	**17.79**	**27.87**	**33.25**	**23.76**	**35.57**	**57.48**	**148.16**	**176.39**	**89.30**	

Annexe 13

Mesures des hauteurs d'eau sur le delta du fleuve Ha Thanh

Tableau 13A. Mesures des hauteurs d'eau dans le delta du fleuve Ha Thanh après l'inondation historique de novembre 2009

(Ngo, Do, Nguyen, Truong, Hoang-Université de Quy Nhon)

N°	Haut d'eau (en m)	Elevation (en m)	X	Y	Profondeur (en m)	N°	Haut d'eau (en m)	Elevation (en m)	X	Y	Profondeur (en m)	N°	Haut d'eau (en m)	Elevation (en m)	X	Y	Profondeur (en m)
HI09_1	2.20	1.50	109.21449	13.82657	0.70	HI09_37	1.70	1.30	109.18681	13.82305	0.40	HI09_73	2.10	1.90	109.22348	13.79118	0.20
HI09_2	2.10	1.20	109.21577	13.8274	0.90	HI09_38	2.54	1.32	109.19788	13.81579	1.22	HI09_74	2.12	1.90	109.2217	13.78984	0.22
HI09_3	2.10	1.10	109.21599	13.82716	1.00	HI09_39	2.46	1.40	109.1979	13.81591	1.06	HI09_75	2.00	1.80	109.22203	13.7898	0.20
HI09_4	2.40	1.06	109.21661	13.82711	1.34	HI09_40	2.14	1.30	109.1982	13.81577	0.84	HI09_76	2.18	1.74	109.22013	13.79489	0.44
HI09_5	1.90	1.40	109.2168	13.82723	0.50	HI09_41	2.00	1.30	109.19807	13.81588	0.70	HI09_77	2.20	1.77	109.21972	13.79491	0.43
HI09_6	2.25	0.95	109.21357	13.80963	1.30	HI09_42	2.22	1.90	109.19674	13.81596	0.32	HI09_78	2.03	1.60	109.2192	13.79526	0.43
HI09_7	2.30	1.17	109.21365	13.80984	1.13	HI09_43	1.68	1.30	109.19821	13.81845	0.38	HI09_79	1.70	1.50	109.21907	13.79603	0.20
HI09_8	2.10	1.10	109.21441	13.81023	1.00	HI09_44	1.80	1.30	109.1986	13.81835	0.50	HI09_80	2.26	1.44	109.21927	13.79591	0.82
HI09_9	2.00	1.20	109.21458	13.81029	0.80	HI09_45	1.94	1.20	109.20012	13.81841	0.74	HI09_81	1.94	1.60	109.219	13.79459	0.34
HI09_10	3.10	1.00	109.20662	13.82204	2.10	HI09_46	2.10	1.30	109.20022	13.81794	0.80	HI09_82	2.07	1.63	109.21891	13.79448	0.44
HI09_11	1.70	1.30	109.20748	13.82235	0.40	HI09_47	1.90	1.40	109.19981	13.81811	0.50	HI09_83	1.95	0.80	109.20728	13.82231	1.15
HI09_12	1.70	1.20	109.20741	13.82232	0.50	HI09_48	2.50	0.80	109.21036	13.81573	1.70	HI09_84	2.15	1.70	109.20717	13.82224	0.45
HI09_13	2.50	1.86	109.14894	13.80091	0.64	HI09_49	2.05	1.00	109.21043	13.81572	1.05	HI09_85	2.50	0.80	109.20935	13.82343	1.70
HI09_14	2.00	1.19	109.15071	13.79842	0.81	HI09_50	2.25	0.70	109.21057	13.81567	1.55	HI09_86	1.70	1.20	109.2088	13.823	0.50
HI09_15	2.10	1.50	109.14988	13.79879	0.60	HI09_51	2.05	0.90	109.21056	13.8156	1.15	HI09_87	1.90	1.10	109.208	13.82254	0.80
HI09_16	2.10	0.68	109.15152	13.79932	1.42	HI09_52	1.90	1.00	109.21053	13.81558	0.90	HI09_88	1.83	1.05	109.2152	13.82502	0.78
HI09_17	2.20	1.20	109.15681	13.80836	1.00	HI09_53	2.20	1.20	109.21045	13.81557	1.00	HI09_89	1.95	1.50	109.21555	13.82507	0.45
HI09_18	2.52	2.30	109.17295	13.82341	0.22	HI09_54	2.00	1.30	109.21043	13.81552	0.70	HI09_90	1.67	1.10	109.21536	13.82508	0.57
HI09_19	2.91	1.98	109.17245	13.82322	0.93	HI09_55	2.00	1.50	109.20703	13.81581	0.50	HI09_91	1.63	1.20	109.21454	13.82451	0.43
HI09_20	2.35	2.08	109.17296	13.82303	0.27	HI09_56	2.20	1.00	109.20721	13.81582	1.20	HI09_92	2.16	1.15	109.21448	13.82452	1.01
HI09_21	2.90	2.30	109.17336	13.82371	0.60	HI09_57	2.00	1.00	109.21678	13.81055	1.00	HI09_93	2.77	1.10	109.21013	13.81659	1.67
HI09_22	2.80	2.30	109.17345	13.82392	0.50	HI09_58	2.20	1.00	109.21674	13.81045	1.20	HI09_94	2.20	1.30	109.21062	13.8167	0.90
HI09_23	3.10	1.20	109.17243	13.82375	1.90	HI09_59	1.70	1.10	109.21684	13.81034	0.60	HI09_95	1.90	1.60	109.21097	13.81675	0.30
HI09_24	3.40	1.20	109.17244	13.82391	2.10	HI09_60	1.70	1.50	109.22255	13.79459	0.20	HI09_96	2.40	1.40	109.21027	13.81687	1.00
HI09_25	2.24	1.21	109.17202	13.82372	1.03	HI09_61	2.50	1.50	109.22312	13.79431	1.00	HI09_97	2.30	1.20	109.15685	13.80788	1.10
HI09_26	3.20	1.22	109.17214	13.82381	1.98	HI09_62	2.10	1.50	109.22321	13.79448	0.60	CCI09_1	3.3	1.25	109.15104	13.81734	2.05
HI09_27	2.70	1.20	109.17186	13.82354	1.50	HI09_63	2.50	1.58	109.22274	13.79433	0.92	CCI09_2	4.1	1.5	109.19206	13.77864	2.6
HI09_28	2.14	1.65	109.1851	13.82244	0.49	HI09_64	2.50	1.63	109.22359	13.79517	0.87	CCI09_3	2.9	1.7	109.19161	13.77828	1.2
HI09_29	2.10	1.70	109.18501	13.82237	0.40	HI09_65	1.80	1.63	109.22458	13.79522	0.17	CCI09_4	3.2	1.3	109.18083	13.79132	1.9
HI09_30	2.10	1.60	109.18459	13.82271	0.50	HI09_66	1.60	1.57	109.22168	13.7954	0.03	CCI09_5	3.1	1.2	109.19046	13.79766	1.9
HI09_31	2.00	1.70	109.18447	13.82274	0.30	HI09_67	1.80	1.65	109.21776	13.79226	0.15	CCI09_6	3.25	0.77	109.16289	13.80469	2.48
HI09_32	1.60	1.00	109.18649	13.82334	0.60	HI09_68	1.67	1.49	109.21686	13.79347	0.18	CCI09_7	2.9	1.17	109.19614	13.81217	1.73
HI09_33	1.85	1.10	109.18652	13.82341	0.75	HI09_69	2.40	1.89	109.21935	13.79149	0.51						
HI09_34	1.85	1.00	109.1864	13.82359	0.85	HI09_70	2.50	1.90	109.22215	13.79069	0.60						
HI09_35	1.70	1.20	109.18631	13.82372	0.50	HI09_71	2.30	1.90	109.22261	13.79091	0.40						
HI09_36	1.75	1.10	109.1862	13.82382	0.65	HI09_72	2.10	1.80	109.22343	13.7909	0.30						

Annexe 14

Nombre d'habitant et d'étage, type de bâti, surface de bâti, et coordonnéess (*x*,*y*) du bâti dans la zone-test

Tableau 14A. Nombre d'habitant et d'étage dans la zone de modélisation 3D

N°	Numéro d'étage	Type de bâti	Habitant (personne)	X	Y	Surface (m^2)	N°	Numéro d'étage	Type de bâti	Habitant (personne)	X	Y	Surface (m^2)
1	1	S	5	109.17217	13.82308	42.11	71	0	S	3	109.17316	13.82275	31.96
2	0	T	4	109.17220	13.82304	27.26	72	0	S	2	109.17319	13.82272	31.01
3	0	T	3	109.17224	13.82308	20.24	73	0	S	3	109.17259	13.82305	22.02
4	1	T	4	109.17227	13.82316	56.77	74	0	S	3	109.17270	13.82298	19.56
5	0	S	3	109.17219	13.82298	17.14	75	0	S	3	109.17277	13.82290	22.08
6	0	S	2	109.17214	13.82303	32.04	76	0	S	4	109.17282	13.82283	20.12
7	1	S	3	109.17237	13.82326	29.83	77	0	S	4	109.17292	13.82276	19.17
8	1	S	3	109.17243	13.82323	26.80	78	0	S	4	109.17263	13.82293	38.31
9	2	S	3	109.17246	13.82325	34.31	79	0	S	4	109.17270	13.82284	38.88
10	0	S	4	109.17247	13.82331	26.04	80	0	S	3	109.17275	13.82277	38.64
11	0	S	3	109.17231	13.82324	28.38	81	0	S	3	109.17281	13.82270	41.08
12	0	S	3	109.17235	13.82319	18.44	82	0	S	2	109.17256	13.82287	44.84
13	0	S	3	109.17239	13.82316	26.77	83	0	S	2	109.17261	13.82278	44.43
14	0	S	4	109.17241	13.82320	23.12	84	0	S	4	109.17267	13.82271	42.17
15	0	S	4	109.17235	13.82313	25.54	85	0	S	5	109.17273	13.82264	42.54
16	0	T	4	109.17255	13.82324	30.85	86	0	S	4	109.17255	13.82272	43.94
17	0	T	4	109.17253	13.82327	28.01	87	0	S	3	109.17260	13.82266	34.31
18	1	S	2	109.17286	13.82337	41.61	88	0	S	3	109.17265	13.82259	41.51
19	1	S	2	109.17292	13.82328	44.37	89	0	S	3	109.17251	13.82266	24.84
20	0	S	2	109.17276	13.82321	36.68	90	0	S	3	109.17243	13.82297	24.99
21	1	S	4	109.17279	13.82318	38.97	91	0	S	3	109.17235	13.82285	34.43
22	1	S	4	109.17285	13.82313	28.71	92	0	S	4	109.17232	13.82290	18.73
23	0	S	3	109.17282	13.82316	25.08	93	0	S	4	109.17240	13.82277	45.80
24	0	S	3	109.17290	13.82308	56.59	94	0	S	4	109.17348	13.82351	47.16
25	0	S	3	109.17289	13.82317	21.25	95	0	T	4	109.17352	13.82338	35.19
26	1	S	2	109.17292	13.82321	41.74	96	0	T	4	109.17355	13.82342	28.75
27	1	S	4	109.17298	13.82326	22.25	97	0	S	4	109.17333	13.82359	30.94
28	1	S	4	109.17305	13.82332	50.04	98	0	T	3	109.17327	13.82358	57.65
29	0	S	4	109.17308	13.82338	24.89	99	0	T	4	109.17320	13.82360	46.31
30	0	T	3	109.17306	13.82344	60.94	100	0	T	4	109.17335	13.82370	113.68
31	0	T	3	109.17318	13.82340	31.87	101	1	S	3	109.17337	13.82378	37.07
32	0	T	4	109.17320	13.82344	34.75	102	0	T	4	109.17352	13.82390	38.09
33	0	T	2	109.17296	13.82340	33.14	103	0	T	4	109.17346	13.82392	35.21
34	0	S	3	109.17298	13.82334	20.43	104	0	T	4	109.17351	13.82396	42.23
35	0	T	4	109.17320	13.82313	42.36	105	1	S	4	109.17348	13.82424	53.89
36	0	S	5	109.17330	13.82315	36.14	106	0	S	4	109.17348	13.82448	18.61
37	0	T	3	109.17327	13.82310	17.53	107	0	T	3	109.17365	13.82419	26.26
38	0	T	4	109.17342	13.82319	55.13	108	0	T	2	109.17364	13.82415	31.14
39	0	T	4	109.17348	13.82322	31.38	109	0	S	2	109.17367	13.82423	18.92
40	0	T	5	109.17338	13.82299	33.60	110	0	S	2	109.17383	13.82426	19.53
41	0	S	3	109.17352	13.82303	35.11	111	1	S	5	109.17369	13.82465	58.44
42	1	S	2	109.17356	13.82310	25.12	112	0	S	2	109.17371	13.82470	71.75
43	0	T	3	109.17350	13.82290	65.79	113	0	T	3	109.17366	13.82455	42.09
44	0	S	5	109.17368	13.82305	24.65	114	0	S	3	109.17364	13.82450	37.59
45	1	S	3	109.17374	13.82314	41.21	115	0	S	4	109.17363	13.82444	43.70
46	1	S	2	109.17379	13.82319	60.77	116	0	T	4	109.17402	13.82471	52.97
47	0	S	4	109.17367	13.82322	34.80	117	0	T	4	109.17409	13.82468	48.99
48	1	T	5	109.17362	13.82329	35.55	118	0	S	4	109.17395	13.82434	79.77
49	0	T	3	109.17368	13.82331	21.31	119	0	S	4	109.17385	13.82445	51.80
50	1	S	4	109.17316	13.82292	62.69	120	0	S	4	109.17384	13.82438	26.40
51	0	S	4	109.17291	13.82299	23.65	121	0	S	3	109.17395	13.82444	39.02
52	0	T	4	109.17296	13.82303	31.85	122	0	S	3	109.17389	13.82459	52.54
53	0	S	3	109.17301	13.82305	29.36	123	0	S	4	109.17389	13.82451	22.63
54	0	S	4	109.17295	13.82311	35.11	124	0	T	2	109.17372	13.82453	23.76
55	0	T	3	109.17303	13.82325	28.92	125	0	S	4	109.17370	13.82446	34.81
56	0	T	2	109.17284	13.82326	28.87	126	0	S	4	109.17373	13.82477	25.19
57	0	T	2	109.17282	13.82331	18.78	127	0	S	3	109.17379	13.82475	25.79
58	0	T	3	109.17293	13.82334	17.68	128	0	S	3	109.17397	13.82465	43.91
59	0	T	4	109.17329	13.82337	61.16	129	0	S	4	109.17396	13.82452	53.61
60	0	S	3	109.17331	13.82343	28.16	130	0	T	3	109.17376	13.82489	68.07
61	0	T	4	109.17337	13.82341	24.58	131	0	T	3	109.17384	13.82487	47.28
62	0	T	4	109.17344	13.82340	35.41	132	0	S	3	109.17397	13.82484	61.57
63	1	T	5	109.17311	13.82309	57.74	133	0	T	3	109.17411	13.82477	43.62
64	1	S	4	109.17313	13.82316	47.77	134	0	T	4	109.17424	13.82497	73.43
65	1	S	4	109.17320	13.82321	98.03	135	0	T	4	109.17396	13.82503	43.28
66	0	S	3	109.17332	13.82278	54.92	136	0	S	4	109.17408	13.82499	48.36
67	0	T	2	109.17310	13.82285	64.67	137	1	S	4	109.17391	13.82414	102.42
68	0	S	3	109.17320	13.82280	19.44	138	0	S	4	109.17389	13.82406	24.93
69	0	S	4	109.17310	13.82272	24.98	139	1	S	5	109.17389	13.82424	27.16
70	0	T	5	109.17314	13.82279	43.03	140	1	S	4	109.17405	13.82390	56.63

(S=Sans toit ; T = Toit ; 0 = Rez-de-chaussée ; 1 = 1 étage ; 2 = 2 étages ; X : Longitude (WGS84) ; Y : Latitude (WGS84))

N°	Numéro d'étage	Type de bâti	Habitant (personne)	X	Y	N°	Numéro d'étage	Type de bâti	Habitant (personne)	X	Y	Surface (m^2)	N°	Numéro d'étage	Type de bâti
239	1	S	3	109.17259	13.82427	141	0	S	4	109.17194	13.82295	40.04	190	0	S
240	0	T	3	109.17272	13.82420	142	1	S	4	109.17188	13.82291	54.01	191	1	S
241	0	T	3	109.17279	13.82420	143	1	S	4	109.17194	13.82287	40.28	192	0	S
242	0	T	4	109.17276	13.82424	144	1	S	4	109.17199	13.82284	39.94	193	0	S
243	0	T	4	109.17266	13.82414	145	1	S	3	109.17199	13.82279	48.43	194	0	S
244	0	S	4	109.17251	13.82413	146	1	S	4	109.17200	13.82274	49.01	195	0	T
245	0	S	4	109.17255	13.82418	147	1	S	3	109.17199	13.82268	52.82	196	1	S
246	0	S	3	109.17266	13.82432	148	1	S	4	109.17207	13.82272	30.33	197	0	S
247	0	S	3	109.17154	13.82372	149	0	S	4	109.17204	13.82263	35.75	198	1	S
248	2	S	4	109.17174	13.82368	150	0	T	3	109.17208	13.82265	33.63	199	1	S
249	1	S	4	109.17182	13.82380	151	0	S	3	109.17193	13.82270	39.02	200	1	S
250	0	S	3	109.17186	13.82368	152	0	S	2	109.17192	13.82278	34.83	201	1	S
251	0	S	4	109.17180	13.82369	153	0	S	2	109.17193	13.82265	16.78	202	1	S
252	1	S	4	109.17176	13.82359	154	1	S	4	109.17210	13.82269	22.48	203	0	S
253	0	S	4	109.17179	13.82356	155	2	S	5	109.17208	13.82253	129.00	204	0	S
254	1	S	4	109.17160	13.82371	156	2	S	5	109.17210	13.82248	121.32	205	0	S
255	1	S	4	109.17168	13.82370	157	1	S	4	109.17210	13.82243	103.54	206	0	T
256	0	S	4	109.17174	13.82379	158	1	S	4	109.17213	13.82240	75.69	207	1	S
257	0	S	4	109.17165	13.82375	159	2	S	4	109.17215	13.82237	81.42	208	0	S
258	0	S	4	109.17169	13.82380	160	1	S	4	109.17217	13.82233	91.54	209	0	S
259	0	S	4	109.17156	13.82379	161	0	S	2	109.17215	13.82227	60.45	210	0	S
260	0	S	4	109.17161	13.82380	162	0	S	3	109.17224	13.82231	28.00	211	0	T
261	0	S	4	109.17165	13.82382	163	2	S	5	109.17233	13.82221	81.69	212	0	S
262	1	S	5	109.17139	13.82214	164	1	S	4	109.17235	13.82216	56.09	213	0	S
263	0	S	4	109.17133	13.82207	165	0	S	3	109.17224	13.82215	36.31	214	0	T
264	0	T	4	109.17140	13.82206	166	0	S	3	109.17225	13.82210	53.65	215	0	T
265	0	S	4	109.17320	13.82265	167	0	S	4	109.17229	13.82206	67.40	216	0	S
266	0	S	4	109.17314	13.82263	168	0	S	3	109.17239	13.82213	35.16	217	0	S
267	0	S	4	109.17344	13.82332	169	1	S	4	109.17231	13.82193	51.75	218	0	S
268	0	T	4	109.17351	13.82332	170	1	S	4	109.17237	13.82202	57.17	219	0	T
269	1	S	4	109.17338	13.82345	171	1	S	4	109.17235	13.82205	41.66	220	0	S
270	0	S	3	109.17358	13.82388	172	1	S	4	109.17240	13.82198	39.83	221	0	T
271	0	T	2	109.17361	13.82395	173	1	S	3	109.17245	13.82195	43.76	222	0	T
272	0	S	2	109.17370	13.82404	174	1	S	4	109.17251	13.82200	35.70	223	0	S
						175	0	S	4	109.17155	13.82306	32.92	224	0	T
						176	0	S	3	109.17162	13.82320	41.66	225	0	T
						177	0	S	2	109.17157	13.82314	28.25	226	0	T
						178	0	S	2	109.17166	13.82325	28.18	227	0	S
						179	1	S	4	109.17159	13.82325	60.56	228	0	T
						180	0	S	4	109.17153	13.82317	36.51	229	0	S
						181	1	S	3	109.17145	13.82328	47.55	230	1	S
						182	1	S	4	109.17156	13.82331	84.06	231	0	T
						183	1	S	4	109.17148	13.82321	78.61	232	0	S
						184	1	S	4	109.17153	13.82334	32.12	233	0	S
						185	1	S	4	109.17156	13.82344	45.62	234	0	S
						186	0	S	2	109.17144	13.82336	60.01	235	0	S
						187	1	S	4	109.17147	13.82351	39.06	236	0	S
						188	0	T	2	109.17151	13.82349	39.65	237	1	S
						189	1	S	3	109.17142	13.82353	64.82	238	0	S

(S=Sans toit ; T = Toit ; 0 = Rez-de-chaussée ; 1 = 1 étage ; 2 = 2 étages ; X : Longitude (WGS84) ; Y : Latitude (WGS84))

N°	Numéro d'étage	Type de bâti	Habitant (personne)	X	Y	Surface (Km^2)	N°	Numéro d'étage	Type de bâti	Habitant (personne)	X	Y	Surface (m^2)
239	1	S	3	109.17259	13.82427	44.19	273	0	S	3	109.17234	13.82393	44.03
240	0	T	3	109.17272	13.82420	33.41	274	0	S	4	109.17232	13.82396	34.88
241	0	T	3	109.17279	13.82420	18.73	275	0	T	3	109.17262	13.82392	32.72
242	0	T	4	109.17276	13.82424	17.56	276	0	S	4	109.17257	13.82247	20.12
243	0	T	4	109.17266	13.82414	26.26	277	1	T	4	109.17274	13.82229	64.31
244	0	S	4	109.17251	13.82413	18.83	278	0	S	4	109.17296	13.82296	19.58
245	0	S	4	109.17255	13.82418	16.34	279	0	S	4	109.17372	13.82327	33.53
246	0	S	3	109.17266	13.82432	20.29	280	0	S	4	109.17400	13.82409	29.83
247	0	S	3	109.17154	13.82372	32.55	281	0	S	4	109.17390	13.82442	16.43
248	2	S	4	109.17174	13.82368	139.77	282	0	S	4	109.17388	13.82437	24.97
249	1	S	4	109.17182	13.82380	45.79	283	0	T	3	109.17397	13.82458	42.06
250	0	S	3	109.17186	13.82368	68.90	284	0	S	3	109.17389	13.82486	24.21
251	0	S	4	109.17180	13.82369	46.38	285	0	S	2	109.17377	13.82461	22.46
252	1	S	4	109.17176	13.82359	41.58	286	0	T	4	109.17379	13.82466	31.26
253	0	S	4	109.17179	13.82356	43.77	287	1	S	4	109.17392	13.82481	28.48
254	1	S	4	109.17160	13.82371	61.00	288	1	S	4	109.17399	13.82479	27.14
255	1	S	4	109.17168	13.82370	45.61	289	0	S	4	109.17406	13.82479	37.97
256	0	S	4	109.17174	13.82379	37.41	290	0	T	3	109.17388	13.82498	44.89
257	0	S	4	109.17165	13.82375	38.70	291	0	T	3	109.17382	13.82501	47.40
258	0	S	4	109.17169	13.82380	28.90	292	0	S	4	109.17413	13.82503	26.04
259	0	S	4	109.17156	13.82379	27.58	293	0	S	4	109.17408	13.82504	19.73
260	0	S	4	109.17161	13.82380	30.70	294	0	S	4	109.17188	13.82283	20.00
261	0	S	4	109.17165	13.82382	21.04	295	0	S	3	109.17219	13.82212	30.99
262	1	S	5	109.17139	13.82214	70.11	296	0	S	4	109.17229	13.82197	30.12
263	0	S	4	109.17133	13.82207	57.46	297	0	T	4	109.17338	13.82265	100.32
264	0	T	4	109.17140	13.82206	43.28	298	0	T	4	109.17343	13.82257	28.72
265	0	S	4	109.17320	13.82265	33.73	299	0	T	3	109.17348	13.82253	29.92
266	0	S	4	109.17314	13.82263	33.73	300	0	T	4	109.17336	13.82248	49.75
267	0	S	4	109.17344	13.82332	42.27	301	0	T	4	109.17343	13.82249	24.03
268	0	T	4	109.17351	13.82332	23.91	302	0	S	3	109.17350	13.82247	28.52
269	1	S	4	109.17338	13.82345	25.40	303	0	S	4	109.17327	13.82252	54.18
270	0	S	3	109.17358	13.82388	48.50	304	0	T	4	109.17339	13.82243	21.34
271	0	T	2	109.17361	13.82395	22.89	305	0	T	3	109.17344	13.82244	22.94
272	0	S	2	109.17370	13.82404	31.16	306	0	T	4	109.17345	13.82240	27.21

(S=Sans toit ; T = Toit ; 0 = Rez-de-chaussée ; 1 = 1 étage ; 2 = 2 étages ; X : Longitude (WGS84) ; Y : Latitude (WGS84))

Annexe 15

Etapes d'intégration de la 3D dans un SIG et le logiciel Google Sketchup©

***Etape 1* Préparation dans ArcGis© :**

- Sous ArcGis© (ArcMap© et *ArcScene*©) ouverture et exploitation des données suivantes : image satellitale (raster-*tif), modèle numérique des terrains (MNT) (raster-*tif)) et bâti (couches vectorielles-*shp).

- Créer une couche « bâti » en déclarant un champ Z (étage ou hauteur) (Fig. 15A1) et la faire converger vers une couche 3D.

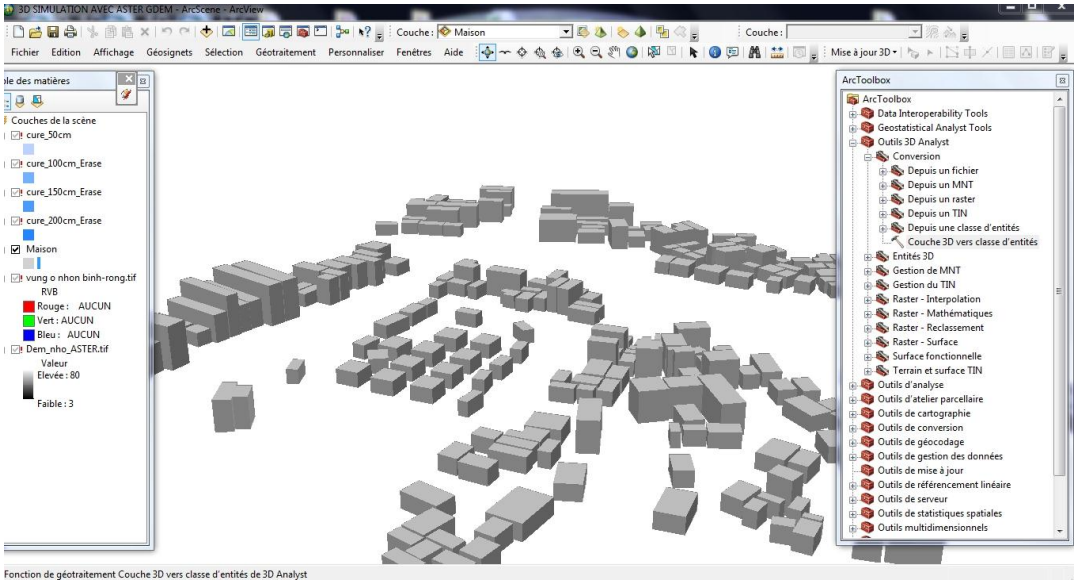


Figure 15A1. Couche 3D du bâti dans ArcScene©

- Utiliser l'outil de conversion dans ArcToolbox© pour transférer la couche (multipatch) vers Collada (*dae) (Fig. 15A1).

***Etape 2* : Processus dans Sketchup© 6.x ou plus :**

- Importer la couche (*dae) directement dans Sketchup©. Utiliser Sketchup© pour modifier la toiture du bâtiment et appliquer des textures sur les façades des bâtiments (Fig. 15A2).

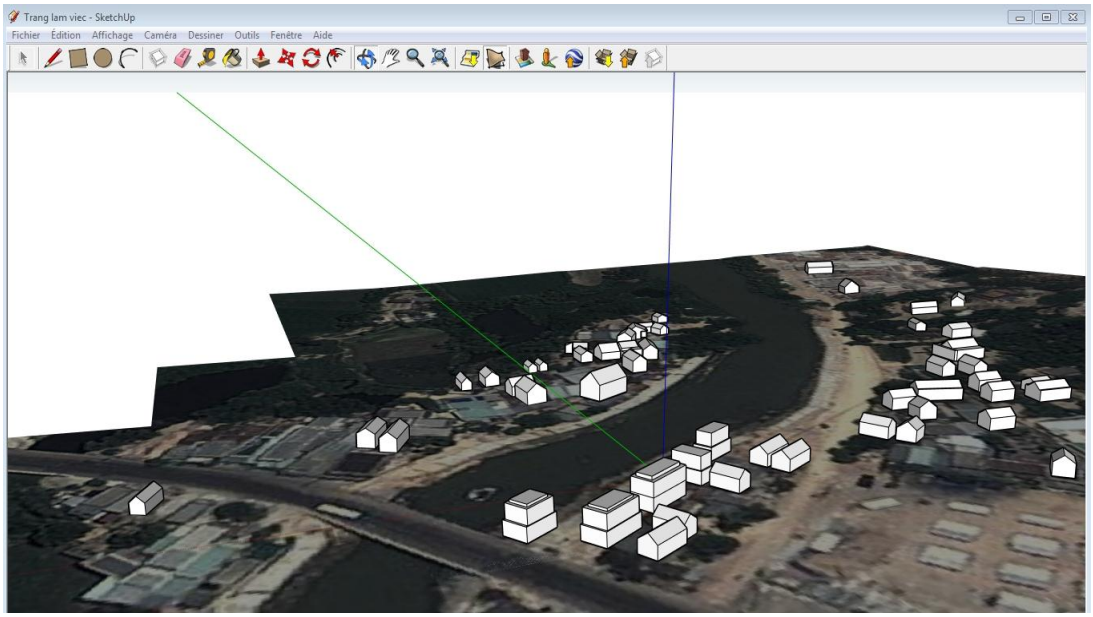


Figure 15A2. Couche 3D du bâti modifiée dans Skechup©

- Exporter les bâtiments en modèle 3D (*skp) vers Collade© (*dae). Ces bâtiments (*dae) sont ensuite importés dans ArcScene©.

<u>Etape 3</u> : Processus dans ArcScene© :

Utiliser l'outil « Mise à jour 3D » dans ArcScene© pour importer les bâtiments en format Collade© (*dae) (Fig. 15A3) :

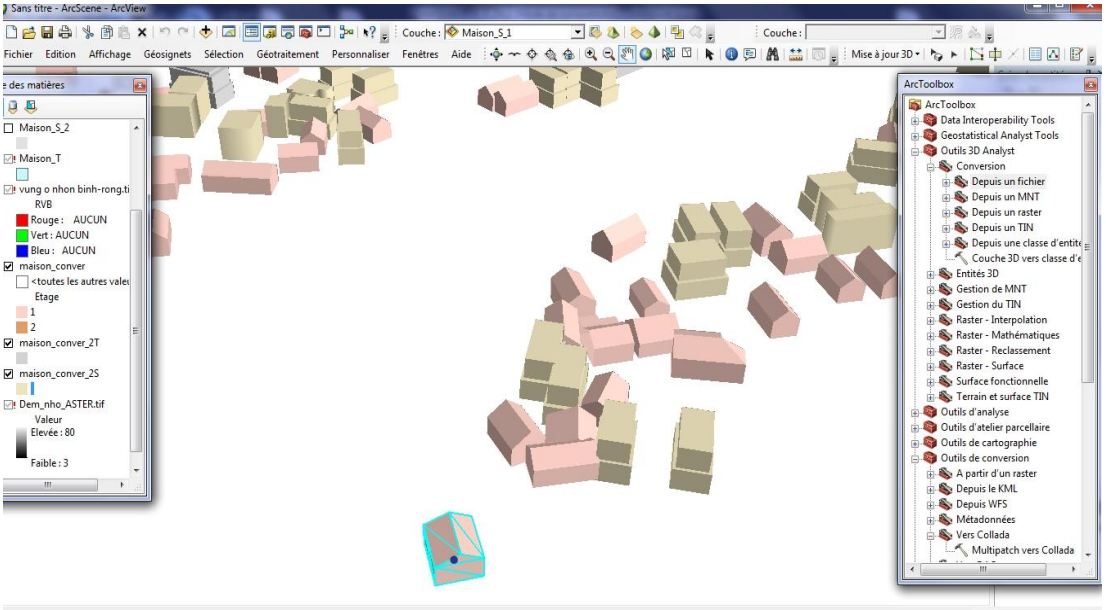


Figure 15A3. Couche 3D du bâti après modification dans Skechup© et mise à jour sous ArcScene©

Annexe 16

Maisons identifiées « dangereuses » en zone-test

Tableau 16A1. Maisons « dangereuses » et nombre de personnes résidant en zone à risque d'inondation

N°	Maisons « dangereuses » (D)	Maisons « Trop dangereuses » (TD)	Personne (nombre)	Logitude (X)	Latitude (Y)	Surface (m2)	Etage (nombre)	Type de bâti (T = toit)	Rayon d'environ 100 mètres du fleuve Ha Thanh
1	D	-	4	109.172201	13.8230415	27.3	rez-de-chaussée	T	≤ 100
2	D	-	3	109.172243	13.8230783	20.2	rez-de-chaussée	T	≤ 100
3	D	-	4	109.172551	13.8232449	30.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
4	D	-	4	109.17253	13.8232711	28.0	rez-de-chaussée	T	≤ 100
5	D	-	3	109.173063	13.8234415	60.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
6	D	-	3	109.173178	13.8233978	31.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
7	D	-	4	109.173201	13.8234443	34.7	rez-de-chaussée	T	≤ 100
8	D	-	2	109.17296	13.8234001	33.1	rez-de-chaussée	T	≤ 100
9	D	-	4	109.173203	13.8231325	42.4	rez-de-chaussée	T	≤ 100
10	D	-	3	109.173267	13.8231017	17.5	rez-de-chaussée	T	≤ 100
11	D	-	4	109.173422	13.8231934	55.1	rez-de-chaussée	T	≤ 100
12	D	-	4	109.173475	13.8232156	31.4	rez-de-chaussée	T	≤ 100
13	D	-	5	109.173382	13.8229945	33.6	rez-de-chaussée	T	≤ 100
14	D	-	3	109.173502	13.8229012	65.8	rez-de-chaussée	T	≤ 100
15	D	-	3	109.17368	13.8233115	21.3	rez-de-chaussée	T	≤ 100
16	D	-	4	109.172956	13.823027	31.8	rez-de-chaussée	T	≤ 100
17	D	-	3	109.17303	13.8232545	28.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
18	D	-	2	109.172838	13.8232644	28.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
19	D	-	2	109.172819	13.8233144	18.8	rez-de-chaussée	T	≤ 100
20	D	-	3	109.172925	13.8233411	17.7	rez-de-chaussée	T	≤ 100
21	D	-	4	109.173366	13.8234118	24.6	rez-de-chaussée	T	≤ 100
22	D	-	4	109.173445	13.8233963	35.4	rez-de-chaussée	T	≤ 100
23	D	-	2	109.173104	13.8228493	64.7	rez-de-chaussée	T	≤ 100
24	D	-	5	109.17314	13.8227897	43.0	rez-de-chaussée	T	≤ 100
25	D	-	4	109.173524	13.8233846	35.2	rez-de-chaussée	T	≤ 100
26	D	-	4	109.173545	13.8234209	28.8	rez-de-chaussée	T	≤ 100
27	D	-	3	109.173269	13.8235797	57.6	rez-de-chaussée	T	≤ 100
28	D	-	4	109.173203	13.8236008	46.3	rez-de-chaussée	T	≤ 100
29	D	-	4	109.173521	13.8238984	38.1	rez-de-chaussée	T	≤ 100
30	D	-	4	109.173455	13.8239201	35.2	rez-de-chaussée	T	≤ 100
31	D	-	4	109.173507	13.8239552	42.2	rez-de-chaussée	T	≤ 100
32	D	-	3	109.173653	13.8241939	26.3	rez-de-chaussée	T	≤ 100
33	D	-	2	109.173637	13.8241535	31.1	rez-de-chaussée	T	≤ 100
34	D	-	3	109.173657	13.824551	42.1	rez-de-chaussée	T	≤ 100
35	D	-	4	109.174025	13.8247149	53.0	rez-de-chaussée	T	≤ 100
36	D	-	4	109.174088	13.8246846	49.0	rez-de-chaussée	T	≤ 100
37	D	-	2	109.17372	13.824529	23.8	rez-de-chaussée	T	≤ 100
38	D	-	3	109.173844	13.8248707	47.3	rez-de-chaussée	T	≤ 100
39	D	-	3	109.174107	13.82477	43.6	rez-de-chaussée	T	≤ 100

Tableau 16A1. Maisons « dangereuses » et nombre de personnes résidant en zone à risque d'inondation

N°	Maisons « dangereuses » (D)	Maisons « Trop dangereuses » (TD)	Personne (nombre)	Logitude (X)	Latitude (Y)	Surface (m2)	Etage (nombre)	Type de bâti (T = toit)	Rayon d'environ 100 mètres du fleuve Ha Thanh
40	D	-	4	109.174243	13.8249722	73.4	rez-de-chaussée	T	≤ 100
41	D	-	4	109.173957	13.825025	43.3	rez-de-chaussée	T	≤ 100
42	D	-	3	109.172077	13.8226495	33.6	rez-de-chaussée	T	≤ 100
43	D	-	2	109.171508	13.8234918	39.7	rez-de-chaussée	T	≤ 100
44	D	-	3	109.172279	13.8238237	44.8	rez-de-chaussée	T	≤ 100
45	D	-	4	109.172665	13.8239931	40.2	rez-de-chaussée	T	≤ 100
46	D	-	4	109.171894	13.8236478	29.0	rez-de-chaussée	T	≤ 100
47	D	-	3	109.172229	13.8239706	31.0	rez-de-chaussée	T	≤ 100
48	D	-	4	109.172519	13.8239461	29.5	rez-de-chaussée	T	≤ 100
49	D	-	3	109.172165	13.82397	27.8	rez-de-chaussée	T	≤ 100
50	D	-	4	109.172257	13.8238929	18.1	rez-de-chaussée	T	≤ 100
51	D	-	3	109.17261	13.8240157	47.0	rez-de-chaussée	T	≤ 100
52	D	-	4	109.172543	13.8240217	28.8	rez-de-chaussée	T	≤ 100
53	D	-	4	109.172361	13.8240202	26.5	rez-de-chaussée	T	≤ 100
54	D	-	4	109.172498	13.8240892	39.0	rez-de-chaussée	T	≤ 100
55	D	-	3	109.172716	13.8241973	33.4	rez-de-chaussée	T	≤ 100
56	D	-	4	109.172655	13.8241418	26.3	rez-de-chaussée	T	≤ 100
57	D	-	4	109.171398	13.8220604	43.3	rez-de-chaussée	T	≤ 100
58	D	-	4	109.173509	13.8233183	23.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
59	D	-	2	109.173611	13.8239532	22.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
60	D	-	3	109.172625	13.8239183	32.7	rez-de-chaussée	T	≤ 100
61	D	-	3	109.173966	13.8245809	42.1	rez-de-chaussée	T	≤ 100
62	D	-	4	109.173788	13.8246589	31.3	rez-de-chaussée	T	≤ 100
63	D	-	3	109.173502	13.8229012	65.7	rez-de-chaussée	T	≤ 101
64	D	-	3	109.173877	13.8249842	44.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
65	D	-	3	109.173822	13.8250077	47.4	rez-de-chaussée	T	≤ 100
66	D	-	4	109.173431	13.8225749	28.7	rez-de-chaussée	T	≤ 100
67	D	-	3	109.17348	13.8225265	29.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
68	D	-	4	109.173361	13.8224816	49.7	rez-de-chaussée	T	≤ 100
69	D	-	4	109.173428	13.8224866	24.0	rez-de-chaussée	T	≤ 100
70	D	-	4	109.173388	13.8224295	21.3	rez-de-chaussée	T	≤ 100
71	D	-	3	109.173441	13.8224414	22.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
72	D	-	4	109.173454	13.8224012	27.2	rez-de-chaussée	T	≤ 100
73	-	TD	4	109.171549	13.8230641	32.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
74	-	TD	4	109.172505	13.8237808	39.4	rez-de-chaussée	T	≤ 100
75	-	TD	4	109.172587	13.8238421	19.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
76	-	TD	4	109.171931	13.8236196	46.9	rez-de-chaussée	T	≤ 100
77	-	TD	4	109.172802	13.8243879	31.5	rez-de-chaussée	T	≤ 100
78	-	TD	3	109.172788	13.8241955	18.7	rez-de-chaussée	T	≤ 100
79	-	TD	4	109.17276	13.824242	17.6	rez-de-chaussée	T	≤ 100

Annexe 17

Hyétogramme des précipitations et hauteur des inondations relevées dans le bassin versant du fleuve Ha Thanh

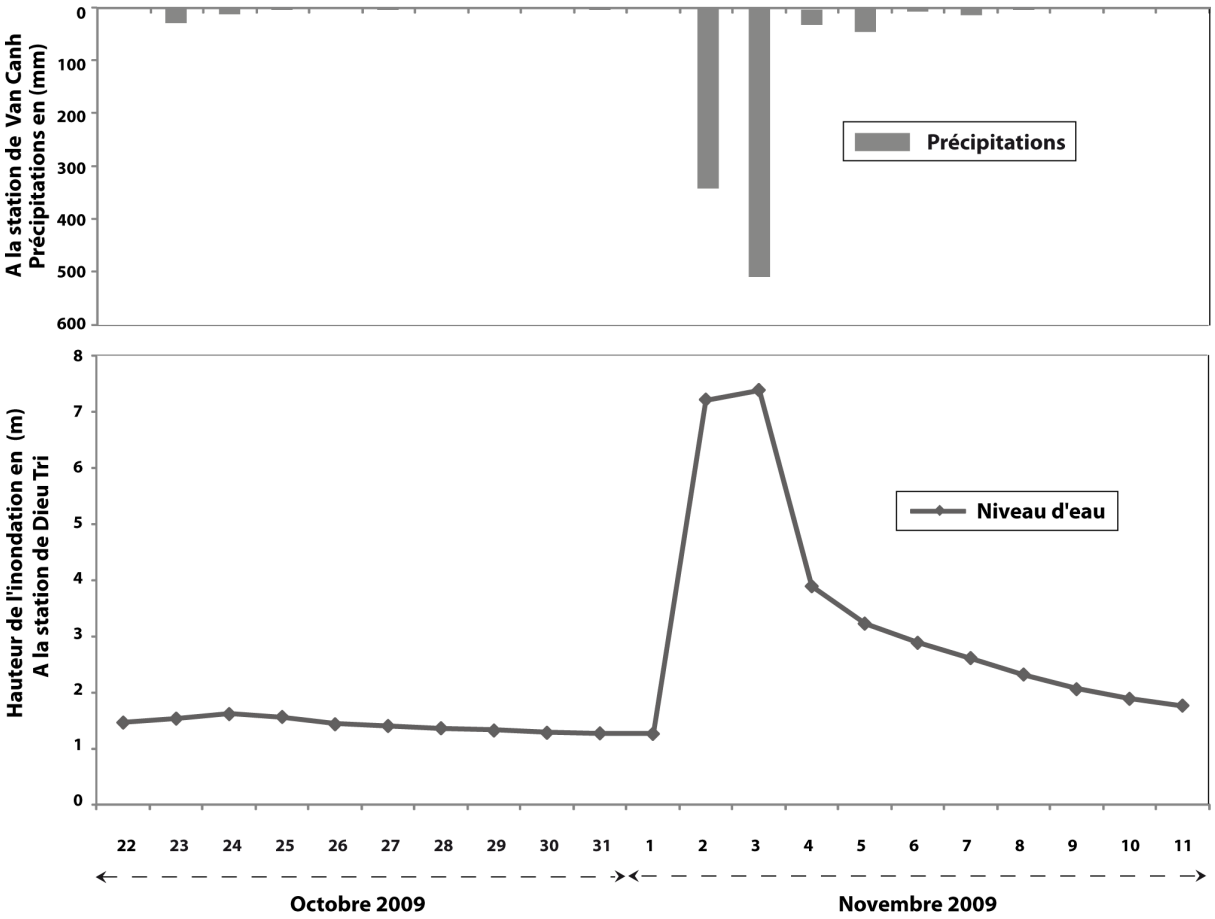


Figure 17A. Hyétogramme des précipitations et hauteur des inondations relevées à la station météorologique de Van Canh et à la station hydrologique de Dieu Tri du 22/10/2009 au 11/11/2009 (Source de donnée : Centre Hydrométéorologique de la province de Binh Dinh. Réalisation : Ngo, 2013)

Anh-Tu NGO

Evaluation environnementale du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (Centre Viêt-Nam)

Résumé :

Située dans le centre-Sud du Viêt-Nam, la ville portuaire de Quy-Nhon est le chef-lieu de la province de Binh-Dinh. Celle-ci se développe rapidement depuis la fin de la guerre de libération (1975). L'expansion urbaine transforme l'occupation du sol dans le delta du fleuve Ha Thanh. Le régime hydrologique de ce petit fleuve côtier est encore mal connu. Toutefois, il est susceptible de connaître de dangereuses crues rapides au moment du passage récurrent des typhons. Tandis que l'urbanisation de son delta multiplie les enjeux localisés dans la plaine inondable, cette thèse entend remplir un besoin de connaissance de l'aléa inondation et de la vulnérabilité sociale dans ce delta afin de contribuer à une meilleure gestion des risques. Pour cela, une évaluation environnementale et géomatique est conduite en vue de qualifier le rythme des crues et de leur propagation d'une part et de spatialiser les risques d'autre part. Cette thèse fait le point aussi sur les manipulations de l'environnement du fleuve et de son bassin versant qui sont susceptibles de modifier son comportement hydrologique.

Mots clés : Viêt-Nam, urbanisation, inondations, risque, vulnérabilité

Environmental assessment of flood hazard in the Ha Thanh delta river (Central Vietnam)

Abstract :

Located in South-Central Vietnam, the port city of Quynhon is the capital city of the Binhdinh province. The city undergoes a rapid expansion since the end of the Vietnam war (1975). Urban spread changes land use patterns in the Ha Thanh river delta. The Ha Thanh river hydrologic regime has not been thoroughly studied so far. However, it is susceptible to flash flood during the frequent typhoon events. Because urban development multiplies exposed buildings within the floodplain, the present dissertation aims at providing a better knowledge of flood hazard and vulnerability in the delta for better risk management. For this purpose, an environmental and geomatic assessment is conducted to identify flood speed and expanse on the one hand, and draw a hazard exposure map on the other hand. This dissertation also analyses the environmental manipulations of the river and its watershed that impact its hydrological regime.

Keywords : Vietnam, Urban development, Flood, Risk, Vulnerability

CEDETE EA1210
UFR Lettres, Langues et Sciences Humaines
10 Rue de Tours, BP 46527

45065 ORLEANS CEDEX 2