



POLYTECH[®]
TOURS

Département
Aménagement et Environnement



Ecole d'ingénieurs
polytechnique
de l'université de Tours

CITERES
UMR 6173
Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement, Paysage,
Environnement

Projet de Fin d'Etudes

Relation ville-fleuve : Adaptation au risque inondation

Cas d'étude de la ville de Chennai



2015-2016

Laura Verdelli

COLLE Valentin

Relation Ville-fleuve : Adaptation au risque inondation

**Laura Verdelli
2016**

COLLE Valentin

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

FORMATION PAR LA RECHERCHE ET PROJET DE FIN D'ETUDES

EN GENIE DE L'AMENAGEMENT

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont aidé dans mon projet de fin d'études.

Je remercie également sincèrement Laura VERDELLI, ma tutrice, ses conseils et sa disponibilité tout au long du projet. Merci, pour avoir m'avoir encouragé à partir en Inde.

Dr. Ranne VEDAMUTHU, dean of School of architecture and Planning, Anna Universty, ma tutrice en Inde, pour son chaleureux accueil, ses conseils et son aide pendant ma recherche.

Mes camarades de classe Indiens, Pretthy, Raghavi, Vimela, Vidya, Gutrupriya, Sukheshini, pour leur accueil qui m'ont fait sentir comme chez moi.

Daphné pour son aide précieuse et ses commentaires toujours justes.

SOMMAIRE

I.	Introduction.....	9
I.	Contexte de Chennai et de l'Adyar	11
A.	Chennai, une ville en constante croissance	11
1.	Chennai, une métropole urbaine à forte population	11
2.	Une ville entourée par l'eau	14
B.	Inondation, un risque récurrent.....	15
1.	Phénomène de mousson et inondation annuelle	16
2.	Inondation exceptionnelle exemple de l'inondation de 2015	20
C.	Impact de l'urbanisation sur le risque inondation	22
1.	Augmentation des volumes et des débits.....	23
2.	Construction d'obstacles.....	24
3.	Les facteurs aggravants.....	24
D.	Méthodologie de recherche.....	25
1.	La connexion logique entre urbanisme et risque.....	25
2.	Problématique et hypothèses	26
3.	Définitions.....	27
II.	Typologie urbaine de Chennai	29
A.	Adaptation au risque inondation	29
1.	Au niveau de la ville : prévention et réaction à l'événement	29
2.	Adaptation du tissu urbain	30
3.	Adaptation du bâtiment	31
B.	Choix des zones.....	34
C.	Low Income Group.....	35
1.	Localisation	36
2.	Typologie urbaine	37

3.	Typologie architecturale.....	38
D.	Middle Income Group.....	39
1.	Localisation	39
2.	Typologie urbaine	40
3.	Typologie architecturale.....	41
E.	High Income Group.....	42
1.	Localisation	42
2.	Typologie urbaine	43
3.	Typologie architecturale.....	44
III.	Analyses.....	45
A.	Grille d'analyse	45
B.	Description des résultats	47
C.	Analyse	48
1.	Réponse à la première hypothèse	48
2.	Réponse à la seconde hypothèse	48
3.	Réponse à la problématique	48
4.	Biais et critique des méthodes	49
5.	Comment approfondir ce sujet de recherche.....	50
	Conclusion.....	51
	Bibliographie	53
IV.	Table des figures.....	Error! Bookmark not defined.

I. INTRODUCTION

Natal, Atlanta, New-Orléans

Ces villes sont maintenant synonymes de désastres climatiques du XXIème siècle. Ces inondations d'une intensité inégalée, ont ravagé des villes sans distinction de richesse ou de peuplement, causant des dommages matériels et humains irréparables.

A cette triste liste nous pouvons ajouter les inondations de Chennai en 2015, des centaines de morts, des milliers de personnes déplacées ainsi que plusieurs millions de dollars de dégât. Bien qu'exceptionnelle l'inondation de Chennai en 2015 est le produit d'un événement annuel qui est la mousson. Du fait de la dépression thermique créée par la différence de température entre la terre et la mer, l'air humide des océans est entraîné vers la cote créant ainsi un climat favorable pour les orages et les précipitations abondantes.

Mais alors que se passe-t-il ? Pourquoi cette croissance sans précédent de désastre naturels. La réponse unanime des experts mondiaux : le changement climatique. Une augmentation des températures de la planète de quelques degrés bouleversants l'équilibre naturel qui a régi le monde durant des millions d'années.

Ce projet d'étude s'inscrit dans un ensemble de recherche qui a pour objectif d'étudier le lien entre la ville et la rivière. Or, la notion de risque est un lien fort entre ces deux éléments, le risque influence l'un et l'autre. La notion de risque peut contraindre les zones de construction ou encore causer des dommages irréparables dans la ville comme pour les inondations de 2015 à Chennai.

Mais la manière de concevoir la ville et de considérer la rivière a aussi des impacts sur le risque. Si la rivière est délaissée dans la ville et que l'aléa d'inondation qu'elle détient n'est pas pris en compte la ville peut alors s'étendre dans des zones dangereuses qui nécessitent une attention dans leur urbanisation. L'imperméabilisation des sols et l'urbanisation non-contrôlés peut alors entraîner une augmentation de la récurrence d'évènement dommageable.

La ville de Chennai a vécu deux inondations de forte intensité en 10 ans (2005 et 2015) et pourtant les dégâts n'ont fait qu'empirer. La ville côtoie les rivières et les

points d'eau dans de nombreux endroits, et les fortes pluies de la mousson sont vécues chaque année par les habitants. L'urbanisation effrénée de la ville et sa cohabitation permanente avec l'eau nous amène à nous poser la question suivante :

Quelles sont les adaptations possibles au risque d'inondation ? Les typologies urbaines de Chennai sont-elles adaptées au risque d'inondation que représente l'Adyar ?

Après une mise en contexte du projet et la description des adaptations possibles aux risques, une analyse par typologie de différentes zones de la ville permettra de répondre à ces questions.

I. CONTEXTE DE CHENNAI ET DE L'ADYAR

Ce projet de recherche se base sur la relation ville-fleuve entre Chennai et l'Adyar. Dans un premier temps il a fallu étudier la ville afin de comprendre son évolution puis observer la rivière et ses inondations, et ainsi comprendre le lien qui unit ville et fleuve.

A. Chennai, une ville en constante croissance

Suite à un récent processus d'exode rural, 70% de la population indienne vit dans les larges métropoles urbaines dont Chennai fait partie. L'enjeu du sujet est de comprendre si la rivière a un impact sur la manière de concevoir la ville. Pour comprendre cet enjeu il faut dans un premier temps regarder comment la ville s'est créée, et comment elle évolue.

1. Chennai, une métropole urbaine à forte population

Capitale du Tamil-Nadu, Chennai est la quatrième plus grande métropole de l'Inde derrière Delhi, Mumbai et Calcutta. Avec 8,7 millions d'habitants, c'est aussi la plus grande ville de l'Inde du sud¹.



Figure 1 : Localisation de Chennai
Source : R. Krishnamury, City profile Chennai

¹ R. Krishnamury, *City profile Chennai, Cities, volume 42, part A, February 2015, p118-129*

L'état du Tamil-Nadu a une population de 72 millions de personnes en 2011 (Census of India) et est devenu l'état le plus urbanisé du pays (44% d'habitations urbaines pour seulement 28% en moyenne nationale). Chennai, Madurai et Coimbatore regroupent le tiers de la population de l'état (City profile : Chennai, 2014).

La ville a deux limites administratives : la municipalité de Chennai, qui est la limite interne de la partie dense de la ville, et la limite de la métropole urbaine de Chennai qui englobe toutes les zones périphériques de la ville. La ville de Chennai est bordée à l'est par la mer du Bengale, la croissance de l'agglomération s'est donc effectuée vers le nord, le sud, et l'ouest de la municipalité.

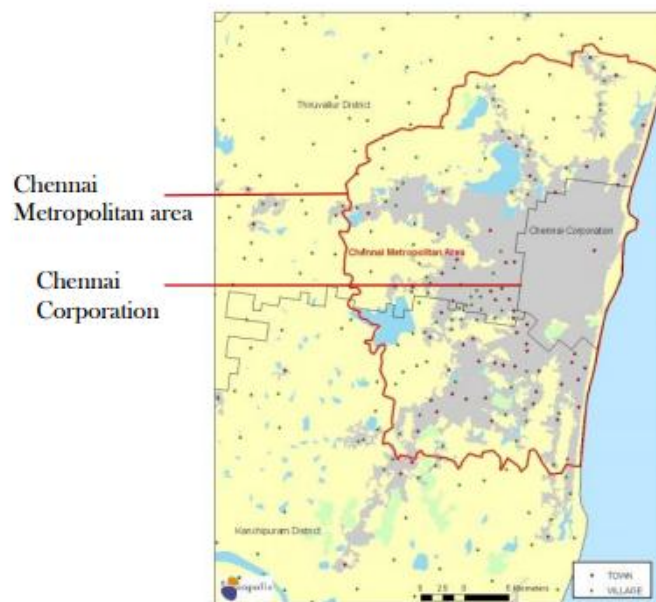


Figure 2 Urbanisation de la municipalité et de la métropole de Chennai
Source : <http://cybergeog.revues.org/24798>

Créée durant l'empire britannique, la ville fut longtemps connue sous le nom de Madras, l'appellation « Chennai » n'étant adoptée qu'en 1996. A l'origine, les colons anglais se basèrent dans trois villages. Grâce au commerce grandissant, les villages se développèrent jusqu'à former une ville unique, Chennai, aujourd'hui encore en constante croissance.

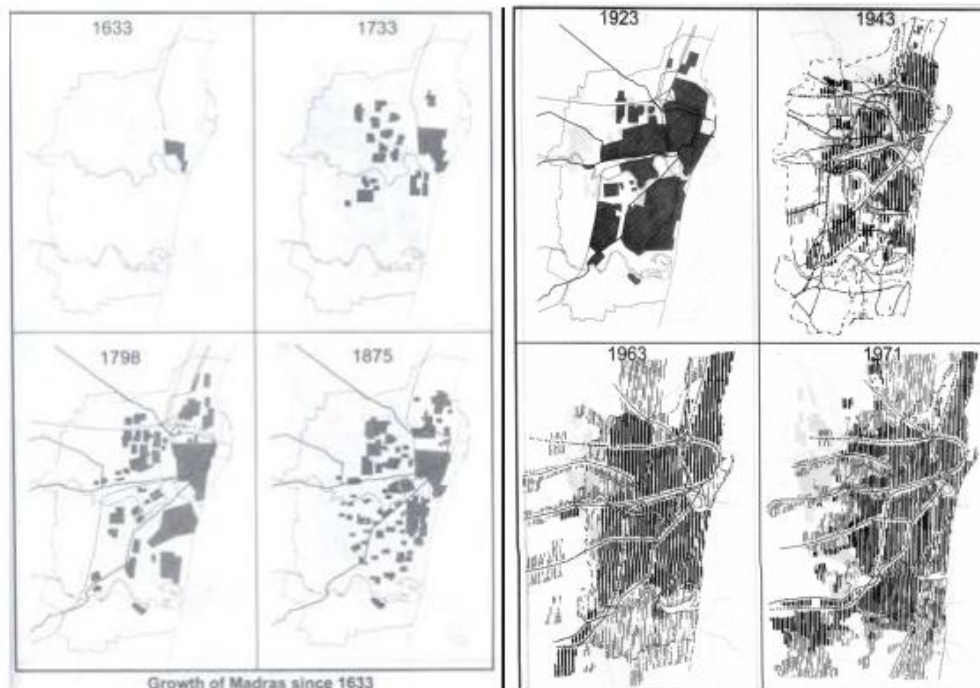
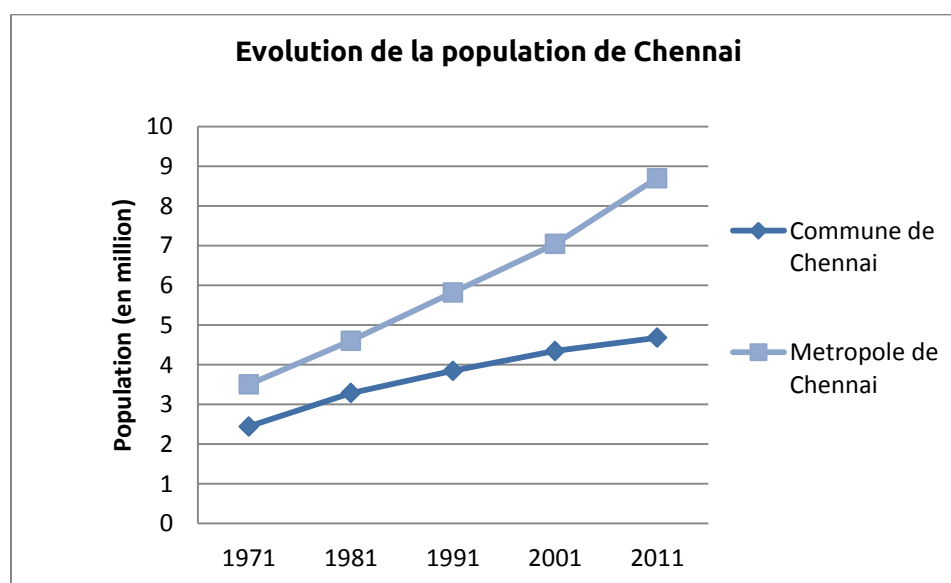


Figure 3 : Développement de Madras de 1633 à 1971
Source : CMDA

La population actuelle de Chennai est d'environ 4.68 million de personnes (recensement de 2011). Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la population à l'intérieur des deux limites administratives de la ville.



Graphique 1 : Evolution de la population de Chennai
Source : CMDA Second Master Plan, Vol 1-Demography, based on Census 2001 and Census 2011

La plus forte croissance de la ville s'observe dans son aire urbaine, en dehors du centre dense de la ville. En 2011 la ville avait une densité de 247 personnes/ha. La moyenne de densité dans l'aire urbaine de la métropole est de 59 personnes/ha, ce chiffre pourrait évoluer jusqu'à 149 personnes/ha en 2026 (census 2011).

Cette croissance dans la zone extérieure de l'agglomération a un impact sur les cours et plans d'eau qui sont vitaux pour la ville. En effet, comme développé dans la partie suivante, les plans d'eau sont une part importante de la ville.

2. Une ville encerclée par l'eau

Localisée sur la cote de l'océan Indien, la ville de Chennai est bordée par 50 kilomètres de bord de mer. On y trouve la deuxième plus grande plage du monde, marina Beach. Mais la côte ouest de la ville a une seconde particularité, elle ne possède aucun plan d'eau permanent. En effet, les deux rivières qui traversent la ville (la Cooum river et l'Adyar river) sont à sec durant la période estivale. La présence d'eau dans la ville est uniquement liée à la mousson. Celle-ci alimente les rivières mais aussi les petits affluents ainsi que les lacs à l'est de la ville. Sholavaram Lake, Red Hills Lake et Chembarabakkam sont les trois plus importants lacs de la métropole et ont un rôle très important en ce qui concerne le stockage de l'eau. La ville est aussi parcourue par des canaux qui ont été construits durant la période coloniale. Leur principale fonction était alors la navigation, tandis qu'ils ne servent aujourd'hui qu'à l'évacuation des eaux.

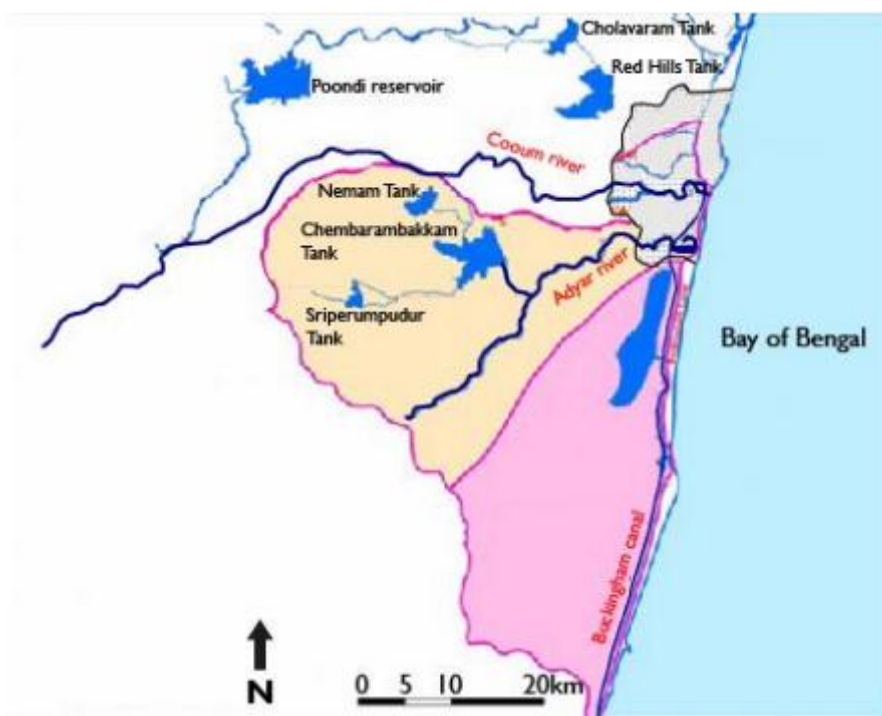


Figure 4 : Les plans d'eau dans ville de Chennai
Source : CMDA second master plan

Tous les ans, le fleuve déborde de son lit pour inonder une partie de la ville. Ces inondations annuelles font parties de la vie quotidienne et sont acceptées par les habitants. Cependant il arrive que certaines années, comme ce fut le cas en 2005 et en 2015, ces inondations soient particulièrement destructrices.

La ville est le produit d'un exode rural qui provoque une croissance démographique importante. Cette croissance est synonyme d'urbanisation extensible qui se fait sur les zones naturelles ou agricoles. Cette urbanisation a un impact sur le risque inondation. Mais pour comprendre cet impact il faut, dans un premier temps, étudier le fonctionnement des inondations, de leur processus de formation à leur évolution.

B. Inondation, un risque récurrent

Toute l'eau de surface présente à Chennai est le résultat des précipitations liées à la mousson. Le climat de mousson divise globalement l'année en deux parties, une très sèche où il ne pleut pas et une saison de mousson où les précipitations sont torrentielles et ininterrompues. En conséquence, le niveau de l'Adyar à Chennai fluctue fortement en fonction des saisons. En période sèche le lit du fleuve est complètement vidé de son eau, pendant la mousson il arrive que le fleuve déborde de son lit sur une courte période. La saison aride précédant la mousson rend celle-ci providentielle, et les événements qui lui sont liés tels que les inondations ne sont pas perçus comme exceptionnels.

Le risque d'inondation est un événement dommageable conditionné par deux variables :

- L'aléa d'inondation, caractérisé par des contraintes hydrographiques définies par une hauteur et vitesse d'eau, ainsi qu'une fréquence liée à des lois de probabilité.
- La vulnérabilité de l'espace, qui est évaluée par les dommages matériels ou humains que cet espace pourrait subir en cas d'inondation

L'aléa est un phénomène complexe qui évolue dans le temps et qui dépend dans un premier temps des variations saisonnières normales du climat, des fluctuations climatiques qui font qu'un espace peut subir des inondations plus fréquentes ou plus

violentes que d'autres. Dans un second temps l'aléa est lié en partie à la nature des surfaces génératrice de crue et donc de l'occupation du sol sur les bassins versants. La vulnérabilité est très fortement liée à l'exploitation par l'homme des sols, elle évolue par la construction de bien matériel sur des zones qui sont susceptibles d'être en relation avec l'aléa d'inondation.

Pour analyser le risque d'inondation à Chennai il faut alors étudier ses deux composantes, l'aléa et la vulnérabilité. L'aléa est liée à la mousson c'est donc par l'explication de ce phénomène qu'il faut commencer.

1. Phénomène de mousson et inondation annuelle

Pour bien comprendre le climat spécifique du Tamil-Nadu, il est intéressant de regarder le processus de formation et d'évolution du climat dans tout le sous-continent indien. Chaque région a son rôle à jouer dans le processus météorologique qui aboutit à l'aléa inondation à Chennai.

a) Histoire du climat

Le sous-continent indien n'a pas toujours été rattaché au continent eurasiatique. Il y a 250 million d'années, l'Inde faisait partie intégrante de la Pangée, le continent unique de l'époque préhistorique. Il se situait plus précisément à une latitude proche de la plaque antarctique et avait un climat semblable à celui du Groenland aujourd'hui. Le sous-continent se déplace alors vers le nord et bénéficie d'un climat tropical qui sera producteur d'une biodiversité importante à l'origine du stock de charbon important dans le sol du pays.



Figure 5 : Le sous-continent indien dans la Pangée

Le continent continue sa dérive et son climat varie, parfois plus chaud, parfois plus froid que la situation actuelle du fait du refroidissement général de la planète lors du carbonifère ou certaines parties du monde se retrouve sous les glaces.

C'est il y a 20 Ma que la collision avec le continent eurasiatique forme la chaîne de montagne de l'Himalaya et entraîne la situation climatique actuelle en Inde. La chaîne de montagne de l'Himalaya bloquant les vents du nord qui viennent du centre de l'Asie, mis ainsi fin aux hivers froids. La chaîne montagneuse devient ainsi un moteur important de la mousson.

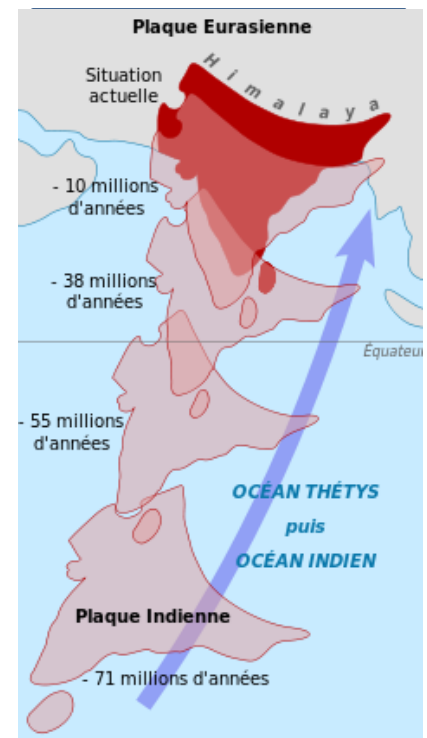


Figure 6 : Evolution du sous-continent indien

b) Processus de mousson actuel

L'explication météorologique du climat à Chennai ne peut se faire qu'en prenant en compte la globalité du sous-continent indien². En effet les masses d'air et les précipitations sont provoquées par différentes régions qui ont des caractéristiques topographiques et climatiques différentes, tels que les déserts ou les chaînes de montagnes. De plus, deux moussons s'entrecroisent et sont liées, la mousson estivale et la mousson hivernale.

(1) Les moteurs de la mousson

Les deux principaux moteurs de la mousson sont le désert du Tar situé au Nord-ouest de l'Inde et la chaîne de l'Himalaya au nord.

² F. Biasco, *Originalité de climats secs de l'Inde du sud*

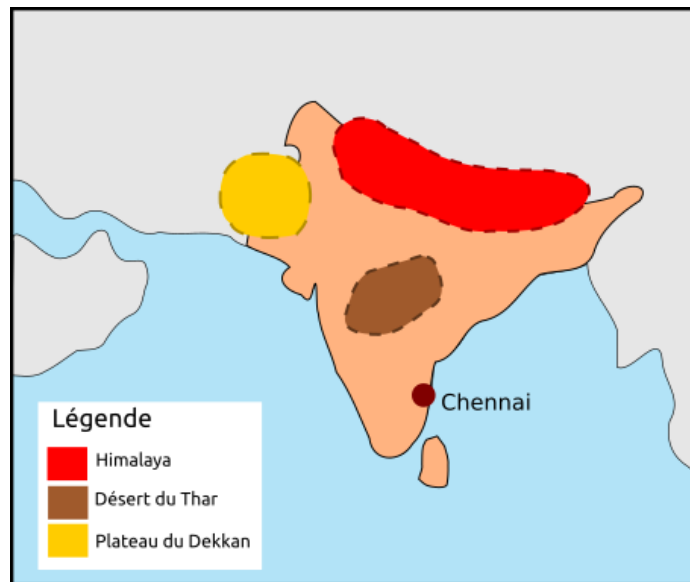


Figure 7 : Localisation des moteurs de la mousson

Le désert est le créateur de mouvement de circulation entre l'océan Indien et le centre des terres. En effet, la température diurne étant très importante, le sol du désert change de température rapidement et s'échauffe plus rapidement que l'eau de l'océan. L'air chaud et humide converge alors vers l'Himalaya qui est le second moteur de la mousson estivale. La montagne force alors l'air à s'élever et à se refroidir suivant une **détente adiabatique**, l'air se condense alors en nuage porteur de pluie.

Detente adiabatique

La détente adiabatique est la transformation thermodynamique que subit un gaz lorsqu'il est soumis à des variations de pression. Concrètement le changement de pression en altitude change la température de l'air, ce qui entraîne une condensation.

(2) Chennai, impacté par la mousson hivernale

La mousson hivernale a le même principe de fonctionnement que la mousson estivale, mais n'implique pas les mêmes régions au même moment.

La mousson hivernale a pour origine deux phénomènes. Le premier, la déviation des vents du pôle nord par l'anticyclone de Sibérie qui se situe au-dessus du lac Baïkal, ces vents étant acheminés vers l'Himalaya. En passant la chaîne de montagne cette masse d'air subit un effet de foehn, il s'assèche et se réchauffe fortement. Le deuxième phénomène est la création d'une dépression par la différence entre le continent et l'océan qui se refroidit beaucoup moins vite que les terres qui le bordent, cela crée des alizés qui partent du nord du pays. Cette mousson passe par le nord-est du pays où elle est communément appelée mousson « sèche ».

Effet de foehn

Lorsqu'une masse d'air arrive sur une montagne, l'air va se condenser par détente adiabatique et va se charger d'humidité. Cette masse d'air une fois le sommet atteint sera vidée de toute son eau se sera déversé sur le flanc de la montagne. Lors de sa redescente l'air est donc sec et se réchauffe fortement, sous l'effet de la compression adiabatique.

Ces deux types de vents se mêlent en convergent vers le sud empruntant, en sens inverse, le corridor de la mousson estival le long du Gange, dégageant le ciel du nord du pays. Une fois que la mousson a rejoint l'embouchure du Gange, elle arrive au-dessus de l'océan indien et se charge en humidité, puis arrose le sud-est du pays et donc la ville de Chennai.

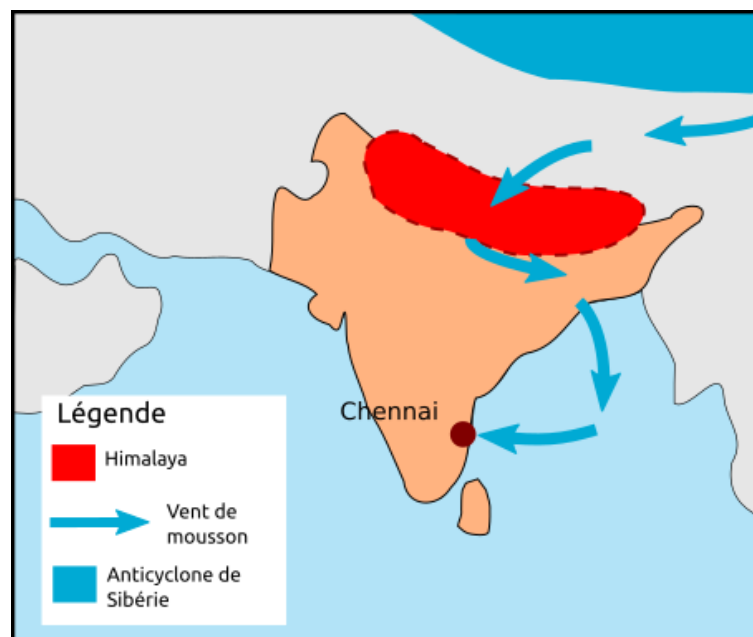


Figure 8 : Evolution de la mousson

c) Répercussion annuelle

Du fait de la mousson, chaque année Chennai subit des précipitations intenses sur de courtes périodes. Cela entraîne des inondations de faibles intensités dans l'ensemble de la ville qui ont un impact sur les bâtiments et cela donne un aperçu des zones à risque pour une inondation exceptionnelle.

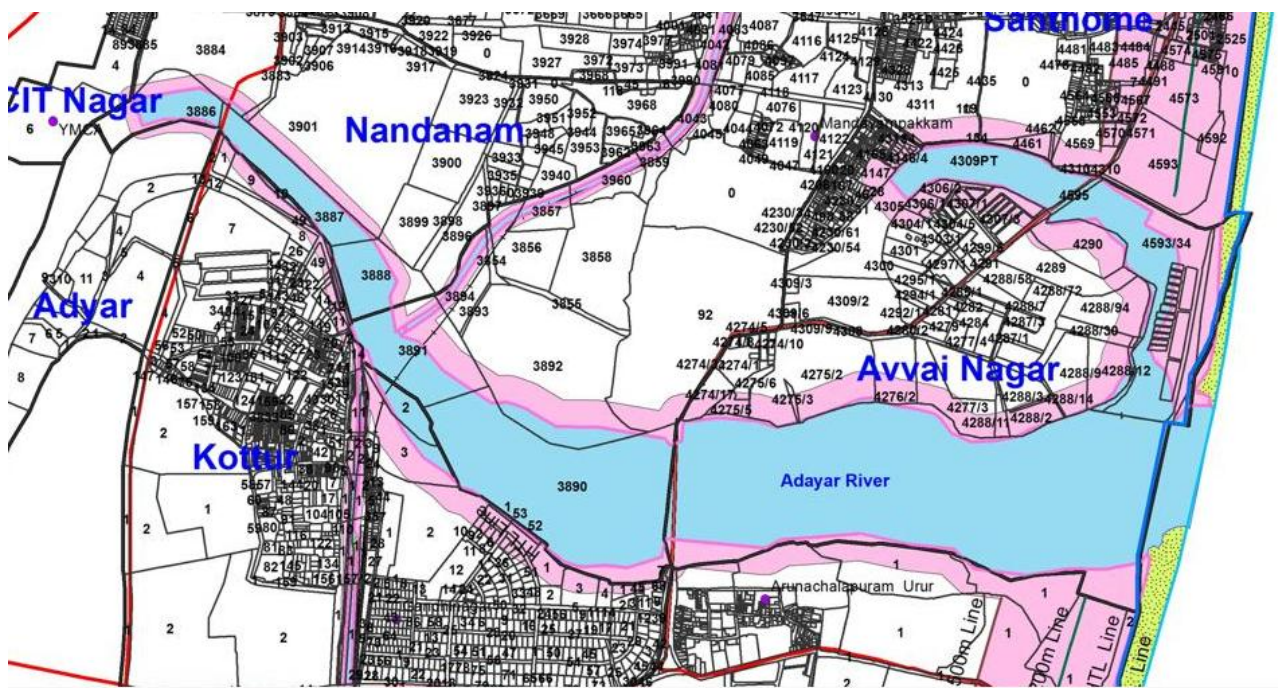


Figure 9 : Carte de zones de prescription basé sur les inondations annuelles
Source : Costal managment plan of Chennai

Le plan d'aménagement côtier de Chennai est un document d'urbanisme de la ville qui définit des zones à protéger et notamment en rouge les zones touchées par la montée des eaux que provoque la mousson. Dans ces zones la construction est normalement proscrite mais du fait des constructions illicites cette règle n'est pas toujours respectée.

2. Inondation exceptionnelle exemple de l'inondation de 2015

a) Pluviométrie exceptionnelle

L'inondation de 2015 fut exceptionnellement destructrice, et cela est principalement dû aux fortes précipitations ininterrompues qui ont touché la ville. Pendant plus de 3 jours, la pluie n'a cessé de tomber, faisant augmenter le niveau de l'eau dans les bassins de rétention mais surtout dans les rivières et dans les rues. En 24h la ville a reçu 35 cm d'eau, soit d'avantage de pluie que la moyenne pour tout le mois de décembre. Ce fut la plus forte inondation qu'ait connue la ville depuis 100 ans et peut donc être considérée comme une inondation de référence en termes de gestion du risque.

Par une initiative citoyenne, des cartes ont été créées lors de l'évènement, toutes les zones impactées ont été répertoriées sur internet³.

Pendant cette période, car elles ont permis au citoyen de se tenir informé et d'éviter les zones impactées lors de la catastrophe. Après les événements, les cartes ont permis de définir les zones à risque pour un éventuel plan de prévention des risques et pour que la ville puisse contrôler son urbanisation en fonction du risque inondation.

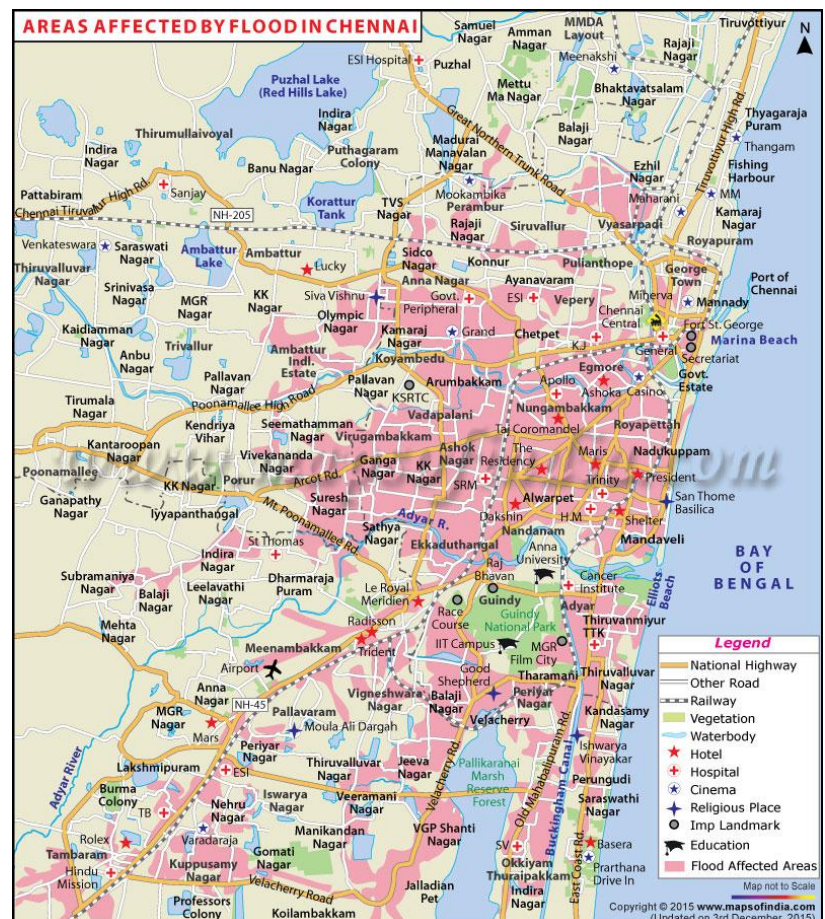


Figure 10 : Carte des zones inondées (en rose) lors d'une inondation exceptionnelle (2015)

Source : www.mapsofindia.com

b) Mauvaise gestion humaine

³ <https://osm-in.github.io/flood-map/chennai.html#0.28/-0/0>.

Historiquement, les agriculteurs indiens se sont adaptés à ces conditions en multipliant les barrages de retenue des eaux de ruissèlement. Ainsi, la ville de Chennai comporte plusieurs retenues d'eau de ce type qui forment de véritables lacs en amont des rivières de la ville. Le lac Chembarambakkam est la principale retenue d'eau en amont de l'Adyar⁴. Début novembre tous les réservoirs (Chembarambakkam compris) étaient presque vides. Le 08 novembre une première vague de précipitations est arrivée sur la ville rapidement, suivie d'une seconde vague le 23 novembre. A la fin du mois, le niveau du lac atteignait presque sa limite, de l'eau a donc commencé à être rejetée dans la rivière pour éviter un débordement. Cependant, une vague de pluie sans précédent s'est abattue sur Chennai le 1^{er} décembre. Le lac s'est vite retrouvé à la limite critique de sa capacité maximale. Pour éviter que des brèches ne se forment dans les limites du lac, des quantités importantes d'eau sont relâchées dans l'Adyar, inondant la ville et créant la plus grande catastrophe naturelle que celle-ci ai jamais connue.

La croissance de la ville en dehors de ses limites a supprimé de nombreux plan d'eau et zones de stockage naturelles, les lacs et autre retenues artificiels sont devenus les seuls moyens de gérer les eaux de la mousson. Si l'urbanisation avait été mieux contrôlée, le lac ne se serait pas rempli aussi vite. L'urbanisation a donc un impact important sur le risque inondation.

C. Impact de l'urbanisation sur le risque inondation

L'inondation consécutive à la mousson a pour origine le phénomène naturel de ruissèlement⁵. Ce type d'inondation est particulièrement sensible à l'urbanisation du fait de l'imperméabilisation des sols. L'aménagement urbain aggrave fortement les risques, la vulnérabilité de l'espace et donc les dommages induits lorsque l'évènement se produit.

D'après Michel Desbordes trois causes principales se distinguent et contribuent à accroître le risque inondation en ville :

⁴ K. Gupta *Flood risk and context of land-uses: Chennai city case*

⁵ B. Chocat, *Urbanisation et inondation phénomènes de ruissellement, causes naturelles et facteurs d'aggravation*

- L'augmentation des volumes ruisselés et la diminution des temps d'écoulement du à l'urbanisation
- La construction d'obstacles à l'écoulement canalisant les débits ou s'opposant à leur passage
- Les facteurs aggravant liés au mode de vie urbain

1. Augmentation des volumes et des débits

La première conséquence de l'urbanisation en ce qui concerne le cycle de l'eau, est l'imperméabilisation des sols. La couverture par l'asphalte, le béton ou autres matériaux, d'étendu considérable, entraîne une augmentation des volumes ruisselés, l'eau ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol. Bien que ce facteur soit déterminant, il n'est pas toujours primordial pour les événements exceptionnels. En effet, le taux d'infiltration de la plupart des sols, en l'absence de couvert forestier dense (ce qui est le cas à Chennai) est très inférieur aux intensités pluvieuses que l'on peut rencontrer lors d'évènements tels que la mousson. Ainsi en situation de mousson importante, les terrains non revêtus donnent souvent lieu à des volumes spécifiques (volume produit par unité de surface) qui tendent vers ceux des sols imperméables.

La deuxième conséquence directe de l'urbanisation est le fort accroissement des vitesses d'écoulements superficiels, entraînant, pour un coefficient de ruissellement constant, une augmentation considérable des débits de pointe. Cet accroissement des vitesses d'écoulement est dû au remplacement d'un réseau hydrographique naturel parfois non permanent, utilisant des chemins sinueux et peu pentus, par un réseau d'assainissement au tracé direct pour limiter la longueur, et doté d'une pente confortable pour éviter l'ensablement.

Ces actions combinées, changent le temps de réaction des bassins versants. Le temps de réponse à l'évènement pluvieux s'en retrouve réduit. Pour une même pluie et un même volume ruisselé, le débit de pointe est considérablement augmenté. De plus, le bassin versant devient sensible à des événements pluvieux de plus courte durée, et plus intense ce qui produit des débits spécifiques plus importants.

2. Construction d'obstacles

La construction d'obstacles est inévitable lors de la formation du tissu urbain. En effet, l'urbanisation s'accompagne toujours de la mise en place de réseaux de routes et de rues, voire des structures plus importantes telles que des autoroutes, des rocade ou des périphériques. Ces éléments, surélevés ou « enfoncées » par rapport au terrain superposent au relief naturel, le relief artificiel ce qui dans les zones peu pentues peut modifier considérablement l'écoulement des eaux superficielles.

Lorsque ces obstacles sont perpendiculaires aux lignes d'écoulement naturelles de l'eau, ils créent des sortes de digues qui forcent la circulation des eaux accumulées vers des passages obligés. Dans certains cas ces obstacles peuvent même modifier les limites du bassin versant de façon importante. Les réseaux de transports jouent alors le rôle de collecteur, amplifiant la gravité de l'inondation par la concentration des débits provoqués.

Lorsqu'ils sont dans le sens de la pente, ils peuvent devenir de véritables canaux, souvent linéaires et pentus, de rugosité faible en comparaison avec un bief naturel. Les vitesses d'écoulements s'en retrouvent impactés et augmentent fortement, créant ainsi des effets dévastateurs.

Pour que l'eau puisse franchir ces obstacles constitués par les voies de circulation, il existe des ouvrages hydrauliques dit « de franchissement ». Cependant dans la pratique, ces ouvrages se révèlent peu efficaces du fait de la mauvaise conception ou du manque de données sur les phénomènes hydrauliques. L'évolution rapide du tissu urbain entraîne également une mauvaise gestion de ces ouvrages les rendant obsolètes par la modification de l'état de l'écoulement du bassin versant. Dans le cas de la ville de Chennai, la croissance rapide de la ville et les constructions illégales rendent difficiles la mise en place de solutions pour effacer l'impact des obstacles.

3. Les facteurs aggravants

Un aspect étonnant de l'urbanisation est que l'habitant des villes a complètement oublié que l'eau peut être une menace sérieuse à la sécurité. Bien que l'Inde soit rythmée par la présence de la mousson et de ses inondations. Par rapport à un

français, un indien est donc plus conscient de la présence de l'eau en ville, cependant les crues exceptionnelles sont toujours une menace et les événements destructeurs sont peu envisagés par les habitants.

L'enfouissement des réseaux d'écoulement découlant des principes hygiénistes de l'assainissement entraîne une perte la mémoire collective de la présence des dangers de l'eau. L'urbanisation se développe ainsi sans prendre en considération des zones qui pourtant présentent des risques significatifs. Les usages et les modes d'occupations ne sont pas évalués en parallèle avec les conséquences et l'évacuation de l'eau. Par exemple le développement de zone d'activité en sous-sol dans les zones inondables entraîne des conséquences désastreuses, que ce soit économiquement ou humainement. Un parking souterrain peut-être noyé en quelques minutes (Nîmes), et sans la présence d'esprit ou de conscience du danger, celui-ci devient un piège mortel pour les automobilistes.

D. Méthodologie de recherche

Ma réflexion sur l'interaction entre la rivière et la ville a débuté par une recherche théorique à Tours. Cette première période m'a permis d'obtenir des premières informations sur l'Inde et sur Chennai plus particulièrement. Je me suis rapidement intéressé au climat et au fonctionnement de la rivière afin de bien comprendre l'influence de la ville sur l'Adyar.

1. La connexion logique entre urbanisme et risque

Dans un premier temps, le phénomène de la mousson m'a semblé intéressant de par son fonctionnement mais aussi par la vision qu'en ont les indiens. Générateur d'inondations, ce phénomène annuel qui semble incroyable et destructeur pour les européens, est vécu en toute normalité et semble être assimilé par la population qui y est habituée. J'ai donc fait des recherches plus approfondies sur le risque inondation. En lisant les travaux des années précédentes et en discutant avec les professeurs qui connaissaient la ville de Chennai, j'ai fait le lien entre le risque inondation et l'urbanisation croissante de Chennai.

L'urbanisme joue un rôle très important dans la gestion des risques naturels. La prévention et l'adaptation peuvent être efficaces si l'urbanisation d'une ville est contrôlée. La ville de Chennai étant confrontée à un fort aléa inondation j'ai voulu savoir si elle était adaptée au risque qui en découle.

2. Problématique et hypothèses

A travers diverses lectures (livre, article, interviews, thèses...) j'ai cherché à savoir comment cette adaptation pouvait se produire. J'ai découvert que l'approche par typologie de l'urbanisme pouvait être efficace pour étudier le processus d'adaptation. Etudier un groupe de bâtiments ou un quartier représentatif de plusieurs autres quartiers permet ainsi de couvrir une large partie de la ville et de pouvoir faire des conclusions valables.

Problématique

Ma problématique s'est donc formulée de cette façon :

Les typologies urbaines de Chennai sont-elles adaptées au risque inondation que représente l'Adyar ?

- Quelles sont ses typologies ?
- Quel est le risque inondation sur l'Adyar ?
- Comment l'adaptation se manifeste-elle ?

Hypothèse

Les typologies des quartiers les plus riches sont plus adaptées que les typologies des quartiers plus pauvres.

La vérification de cette hypothèse se fera par le choix de zones d'habitation de population au revenu faible, moyen et élevé. La vérification de critères d'adaptation sera effectuée pour chaque zone. Celle-ci seront ensuite comparées entre-elles pour savoir s'il y a des zones mieux adaptée que d'autres.

3. Définitions

Certains termes présents dans la problématique, l'hypothèse et dans ce rapport méritent une définition claire afin de faciliter la compréhension de cette l'étude.

Risque

La notion de « risque » sera utilisée avec la définition suivante : Un risque est un phénomène naturel constituant un aléa ou une menace qui s'applique à une vulnérabilité⁶.

L'aléa a pour origine un phénomène naturel qui se caractérise par sa zone d'impact, sa puissance (ici le volume et le débit de l'eau) et par sa récurrence⁶.

La vulnérabilité exprime la sensibilité du patrimoine bâti face au phénomène naturel dommageable. Le terme prend en compte les facteurs physiques susceptibles d'avoir une influence sur la propension variable à l'endommagement des éléments (population, bâti) exposés à la récurrence de l'aléa⁷.

Tissu urbain

Le tissu urbain est ici utilisé pour décrire l'organisation des éléments d'un quartier (bâti, réseaux, espaces verts ...) les uns par rapport aux autres⁷. Cette définition peut aussi être étendue à la description physique de ces éléments tels que la taille de la route ou la forme des bâtiments.

Adaptation au risque

Une adaptation au risque est décrite par toute caractéristique permettant la diminution de la vulnérabilité voire de l'aléa. Une adaptation peut aussi bien être d'ordre physique par l'ajout d'une couche de protection d'étanchéité par exemple qu'organisationnelle par la prévention et la non construction dans les zones de fort aléa.

⁶ A-C Chardon, *Etude intégrée de la vulnérabilité de la ville de Manizales (Colombie) aux risques naturels*, 1994

⁷ S. Malfroy *Urban tissues and idea of urban morphology*

Typologie

Une typologie est l'étude d'un ensemble de types afin de faciliter une analyse⁸. Dans le cas présent, des types architecturaux sont choisis pour représenter différentes zones ayant les mêmes caractéristiques en termes de morphologie urbaine et d'architecture.

Maintenant que le contexte a été posé et que la notion de risque a été définie, nous allons voir à quoi correspond l'adaptation à l'inondation et comment elle se manifeste dans la ville et dans la conception des bâtiments.

⁸ Karl S.Krapf *Typological process and design theory*

II. TYPOLOGIE URBAINE DE CHENNAI

Avant d'exprimer la notion de typologie et de faire le choix des zones à étudier, il faut définir l'adaptation au risque inondation.

A. Adaptation au risque inondation

Plusieurs types d'adaptations peuvent être utilisés pour diminuer la vulnérabilité d'une zone⁹, ils agissent à des échelles différentes pour contrer le plus efficacement possible le risque inondation.

- Les adaptations au niveau de la ville agissent de manière préventive en modifiant l'organisation de l'urbanisation en fonction des aléas connus
- Les adaptations du tissu urbain ont pour but de réduire l'aléa et de ne pas amplifier la vulnérabilité d'un espace par une gestion des réseaux.
- Les adaptations du bâti agissent de manière localisée, pour que les constructions soient les moins touchées possibles par les inondations.

1. Au niveau de la ville : prévention et réaction à l'événement

A l'échelle de la ville deux types d'adaptations peuvent être observés : l'adaptation par la prévention où les zones les plus touchées par l'aléa sont restreintes et non urbanisées et l'adaptation suite à l'évènement, avec la mise en place rapide et efficace de services de secours.

a) Prévention

La prévention en France passe par des plans de prévention des risques, qui restreignent la construction dans certaines zones. La solution utilisée pour s'adapter au risque est d'éviter l'aléa.

⁹ D. Serre, *La ville résiliente aux inondations Méthodes et outils d'évaluation*

Il n'existe pas de tel plan à Chennai, bien que certaines zones soient interdites à la construction. Cependant, la ville peine à résoudre les problèmes de constructions illégales. La pression de la croissance démographique est forte et les zones au bord du fleuve sont les premières à être urbanisées, du fait d'une forte pression foncière. Dans les espaces vides et les interstices entre le fleuve et la ville, les bidonvilles s'installent, seul moyen pour les habitants pauvres d'avoir accès à l'eau.

Depuis les inondations de décembre 2015, le gouvernement a commencé à détruire certains habitats informels le long du fleuve. Mais il est difficile aujourd'hui de dire si ces mesures seront efficaces car seules les zones très proches du fleuve, ou dans son lit, sont détruites, ce qui ne réduit pas pour autant la vulnérabilité des quartiers alentours.

b) Gestion de l'évènement

La gestion d'une catastrophe telle que celle de 2015, demande un temps de réaction rapide des autorités afin de limiter les dégâts humains. Ce temps de réaction dépend en partie de la présence de centres de secours, de leur emplacement, et de leur accessibilité en temps de crise. Pour qu'une zone soit mieux adaptée au risque, elle doit donc se trouver proche de l'un de ces centres. Ceux-ci peuvent être des centres hospitaliers ou des camps de volontaires

2. Adaptation du tissu urbain

La morphologie et l'organisation du tissu urbain ont un lien direct avec l'aléa inondation. Le réseau routier de la ville participe crée des obstacles qui sont facteurs d'aggravation de l'aléa, de la vulnérabilité et donc du risque.

L'étude du tissu urbain peut être caractérisée par deux critères : la densité de bâtiments, et la morphologie des réseaux de transports.

La densité traduit le taux d'urbanisation de la zone. En termes de risque inondation, c'est le taux d'occupation des sols qui sert d'indicateur. Il permet de voir si une grande

quantité de bâtiments fait obstruction à l'inondation et à son écoulement. Concernant la vulnérabilité, il donne une idée du nombre de bâtiments impactés.

La morphologie du réseau de transport est une notion plus complexe. En effet, on sait que les routes ont un impact important sur les inondations. Elles peuvent à la fois servir d'obstacle à l'inondation, mais aussi augmenter le débit de l'eau. Le facteur le plus susceptible de transcrire simplement l'adaptation d'une route au risque inondation serait sa dimension. En effet, plus la route est petite plus elle est susceptible de faire obstacle et de ralentir l'inondation créant de la stagnation. A l'inverse si elle est trop large, elle entraîne une accélération du débit qui peut être dangereuse. L'organisation des routes peut aussi être problématique. En effet, si les routes en parallèle du fleuve sont plus nombreuses que celles qui lui sont perpendiculaire. L'eau a des difficultés pour rejoindre le lit du fleuve et s'évacuer.

3. Adaptation du bâtiment

Réduire la vulnérabilité structurelle du bâti, c'est agir sur la vulnérabilité des enjeux en augmentant la résistance à la destruction ou à la détérioration, en réduisant l'ampleur et le coût des dommages éventuels et en favorisant un retour aux activités en cas de sinistre dans les commerces et entreprises. C'est aussi prendre des mesures qui diminuent la vulnérabilité des personnes et favorisent les secours.

Les objectifs de l'adaptation doivent prendre en compte les aléas et le retour considéré¹⁰. Le haut niveau de sécurité des personnes correspond au niveau de protection maximale car l'enjeu « vie humaine » est important et les victimes se dénombrent plutôt lors des crues exceptionnelles. La période pour laquelle l'installation d'adaptation sera efficace sera alors la crue centennale ou la plus forte crue connue. Cependant, il n'est pas utile ni rentable d'installer des batardeaux dans les secteurs inondés seulement tous les cinquante ou cent ans. L'équipement risque de devenir obsolète avant que la première inondation ne survienne et ne le mette à l'épreuve. De plus la rentabilité financière de l'opération sur le long terme serait hasardeuse, le coût d'une telle installation étant élevé. En revanche, ce type d'équipement est très efficace pour les crues fréquentes car les habitants s'habituent à son usage et son coût est plus vite amorti.

¹⁰F. Vinnet, *Le risque inondation*

a) Elévation de mur, ou encore batardeau

Le principe des batardeaux consiste à créer une barrière entre le fleuve et la zone à protéger. De bois ou de béton, ils se plantent dans le sol les uns à côté des autres pour former une barrière imperméable. C'est une solution efficace mais coûteuse car le prix d'un batardeau peut atteindre 500 euros.

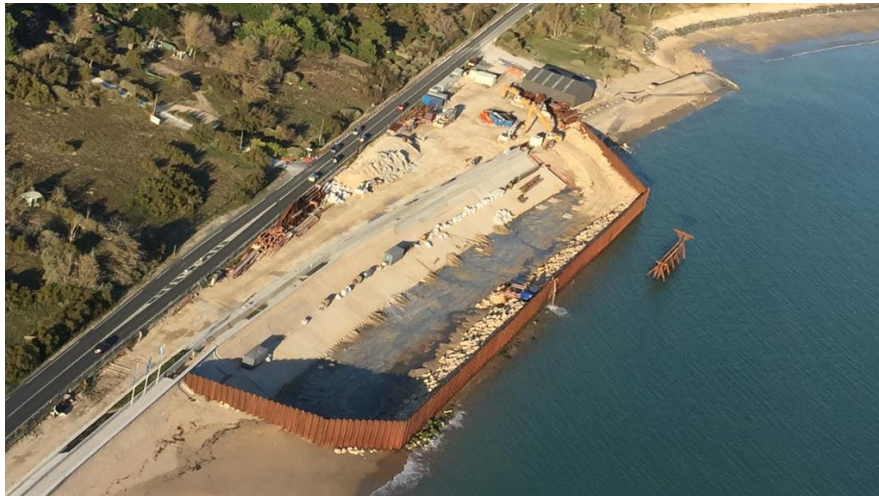


Figure 11 : Exemple de batardeaux
Sources : www.vercheenne.fr

b) Elévation

Une solution efficace pour assurer une réduction de la vulnérabilité des bâtiments et assurer la sécurité des personnes est la surélévation des pièces de vie. Plusieurs solutions de mise en œuvre sont possibles : solution structurelle type pilotis ou encore agencement de pièces et des usages en utilisant le rez-de-chaussée comme garage par exemple.



Figure 12 : Exemple d'élévation sur pilotis
Source : www.geo.fr

L'élévation peut aussi être plus faible, quelques centimètres pouvant protéger les biens lors d'une inondation de faible ampleur.

c) Matériaux de construction

Les matériaux de construction influent sur la vulnérabilité du bâtiment. Une inondation impose aux matériaux de construction une forte humidité qui peut avoir des conséquences sur la structure, puisque ce sont les bases du bâtiment qui sont touchées¹¹. Tous les matériaux sont susceptibles d'être impactés, mais certains nécessitent plus fortement un traitement que d'autres. Le béton est le matériau le plus résistant par lui-même, mais le bois ou l'acier nécessiteront plus facilement un traitement de protection anti-humidité selon le type de bois ou d'acier utilisé.

Etanchéité

Pour améliorer la résistance des bâtiments, il existe des solutions pratiques d'étanchéité¹². Plusieurs niveaux de protections sont envisageables, la protection de l'élément structurel, ou de la structure tout entière. La première solution est la plus simple à mettre en place, elle consiste à ajouter une couche de protection sur l'élément. La deuxième solution qui vise la protection totale de l'intérieure du bâtiment consiste à fermer hermétiquement les parois extérieures, évitant ainsi toute infiltration d'eau.

Renforcement de la structure

Pour que la protection soit efficace, un renforcement des fondations est préconisé afin d'assurer l'intégrité de la structure en toutes circonstances. Ce renforcement se traduit par des fondations plus grosses ou plus profondes, et varie en fonction du sol porteur.

¹¹ Jean-Philippe Torterotot, *Le coût des dommages dus aux inondations : Estimation et analyse des incertitudes*, 1993

¹² E. Leroi, M. Choffet, *Outil d'analyse de la vulnérabilité du bâti aux inondations et de réduction du risque*, 2013

B. Choix des zones

L'hypothèse se base sur les différences de richesses entre les habitants. En Inde la population peut être classée par niveau de revenu, avec trois grandes catégories :

- Low Income Group : faible revenu
- Middle Income Group : revenu moyen
- High Income : revenu élevé

Pour choisir les zones d'études il a fallu trouver des quartiers, reflétant ces trois catégories de population. Pour cela ce sont les organisations s'occupant de la planification et de la construction de projets qui ont été observées.

Le **Slum Clearance Board** a été fondé en 1970, par la région du Tamil-Nadu dans le but de supprimer les bidonvilles et d'apporter des conditions de vie correctes à leurs habitants. Dans le centre de Chennai, de nombreux projets ont été créés avec des quartiers entiers construits en remplacement des bidonvilles. C'est un de ces projets à Kottivakam qui a été choisi comme première zone d'étude pour la population du LIG.

Le **Tamil Nadu housing board** a été créé en 1947 sous le nom de City Improvement Trust, il avait et a toujours pour but de répondre à la croissance de la ville et à l'exode rural par la création de logement. L'organisation obtient son nom actuel en 1961 suite à la croissance très forte de la ville. Elle a construit un nombre important de bâtiment dans la ville pour tous les types de population. Sur la rive opposée à la première zone, se trouvent les old tower block qui sont des tours construites par le Tamil-Nadu Housing Board et qui logent des habitants correspondant au MIG.

La zone de MRC Nagar est développée par des entrepreneurs, des promoteurs, des architectes et des constructeurs privés. Contrairement aux deux autres zones, il n'y a pas d'organisation gouvernementale pour gérer le projet de sa création à son fonctionnement. De ce fait, les constructions et les projets sont plus divers que dans les autres quartiers. Cependant, les Rani Meyyammai towers sont représentatives des résidences de RMC Nagar, de par leurs formes mais aussi par la population qui y habite ainsi que les services qui y sont proposés.

C. Low Income Group

La première catégorie correspond au LIG, ce sont les gens les plus pauvres de la ville. Nombreux sont des habitants des bidonvilles qui vivent au bord du fleuve. L'ensemble d'immeuble de Kotturpuram, s'inscrit dans une politique gouvernementale de logement de population de ces bidonvilles. Il a été construit au même emplacement que les quartiers insalubres qu'il remplace.

Pour bien comprendre le contexte dans cette zone, il est nécessaire dans un premier temps, de définir ce qu'est un bidonville. Selon la définition du Slum Clearance Board, un bidonville est une zone d'habitation qui correspond à différents critères¹³, dont deux qui nous intéressent particulièrement :

- Le manque de services de base, qui sont de première nécessité : l'eau potable, l'assainissement, l'électricité, la gestion des déchets, l'éclairage ...
- Le manque de sécurité : les conditions de vie sont dangereuses et peuvent porter atteinte à la vie des habitants.

Les premières constructions de Kotturpuram Slum clearance Colony, ont été faites par le Tamil-Nadu Housing Board. En effet le projet a été lancé juste après la création de l'organisation en 1971. A cette époque, le Tamil-Nadu Housing board était le seul à s'occuper de ce type de construction quel que soit le type de population concerné. Cependant le Slum clearance board a été créé en 1983 et une séparation a été faite pour la construction de logement pour les plus démunis. La suite du projet a donc été faite par le Slum Clearance Board, qui est maintenant propriétaire des bâtiments, l'organisation a aussi pour charge d'assurer le bon état du bâti.

Après les récentes inondations, les bâtiments sont endommagés, le système d'alimentation en eau ne fonctionne plus dans les constructions les plus anciennes. La zone peut donc toujours être qualifiée comme un bidonville au vue de l'état de certaine structure, et de sa situation dangereuse face au risque inondation. Cependant, un programme de réhabilitation est en cours dans cette zone, et le Slum Clearance Board a pour objectif de remplacer tous les bâtiments par de nouvelles

¹³ K.S. Mahalingam, *The Tamil Nadu Slum Area*

constructions d'ici 10 ans. Les premières démolitions ont déjà commencé dans la zone la plus proche du fleuve.

1. Localisation

A 20 mètres du fleuve, la zone d'étude est fortement vulnérable, et n'est pas en règle avec la faible distance limite de cents mètres préconisée par la loi indienne. Lors de sa construction cette règle n'existait pas, et le choix de la zone de construction fait par le Tamil Nadu Housing board était juste lié à la présence du bidonville qui à cet endroit. Le Tamil Nadu Housing Board a voulu reloger les habitants au même endroit.

Située au milieu d'une courbure du fleuve, la zone est rapidement inondée en cas de catastrophe et se retrouve déconnectée de la zone nord de la ville. Or, c'est de l'autre côté du fleuve, au nord, que se situe l'hôpital le plus proche. En période d'inondation, il faut parcourir plus d'un kilomètre pour atteindre le second hôpital le plus proche. (Le temps de parcours correspond au temps nécessaire à pied dans un contexte non inondé pour effectuer le trajet)



Figure 13 : Carte des distances aux secours pour la zone LIG

Cependant, lors des inondations de décembre, des camps de secours ont été mis en place. Un de ces camps se situait à proximité de la zone d'étude à 700 m. C'est cette donnée qui a été retenue car elle correspond à la distance à parcourir pour atteindre les secours en cas d'urgence.

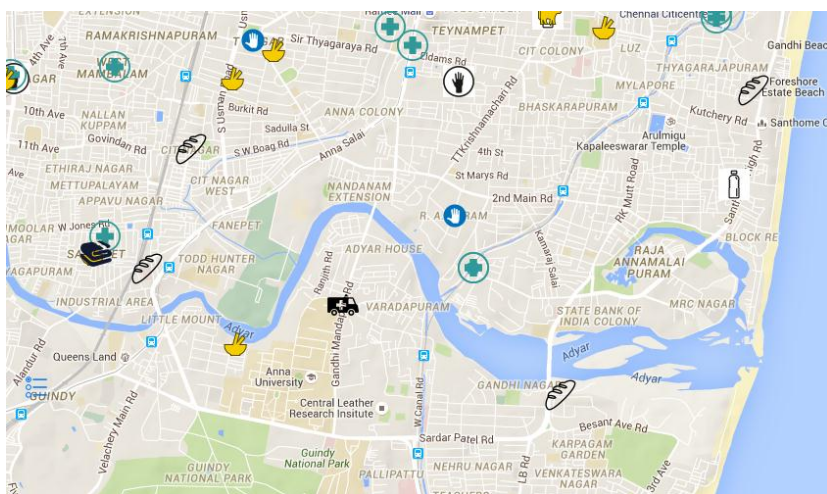


Figure 14 : Centre de secours volontaire à Chennai

2. Typologie urbaine

Sur une échelle plus grande, au niveau du quartier, la densité de bâtiment est très forte. Les bâtiments sont tous similaires. Ce sont des grandes barres, alignées les unes à côté des autres. Le taux d'occupation des sols est de 80%, ce chiffre est très élevé. De plus, le nombre de routes et passages est aussi important. De plus ils sont de petites tailles, avec de nombreux passages de 5 mètres seulement de largeur.



Figure 15 : Organisation spatiale de la zone LIG

La zone se compose essentiellement de voies de passages et de bâtiments, et ne dispose pas d'espaces publics ou d'espaces verts. Cette composition du tissu urbain, empêche l'eau de circuler, et donc l'inondation de s'évacuer en cas de catastrophe.



Figure 16 : Passage de la zone LIG

Le bétonnage complet de la zone a un double effet. Dans un premier temps, il impacte l'aléa en facilitant l'accumulation d'eau lors de fortes précipitations. Dans un second temps, il augmente la vulnérabilité de l'espace car de nombreux bâtiments sont exposés dans une zone à risque.

3. Typologie architecturale

Les bâtiments sont uniformes dans leurs architectures. Ce sont de longues barres dans une architecture moderne datant des années 70. La seule adaptation remarquable est la petite marche de quelques centimètres qu'il faut traverser pour rentrer dans le bâtiment. Cette surélévation légère n'est pas suffisante pour lutter contre une inondation de grande ampleur.

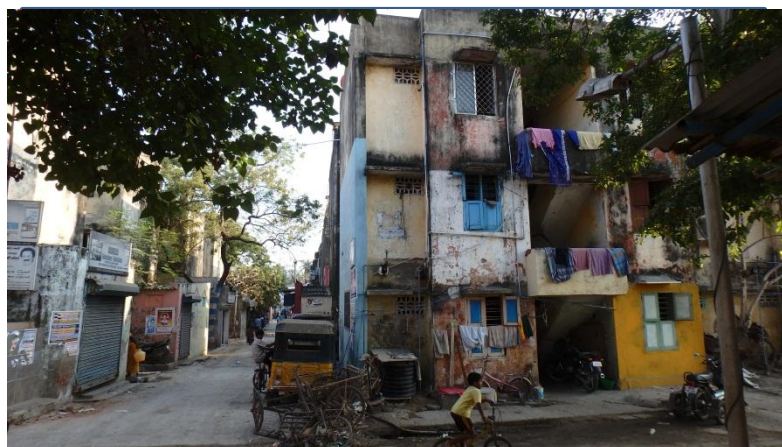


Figure 17 : Bâtiment de la zone LIG vue de face

La localisation dans la ville, le tissu urbain et l'architecture des bâtiments de Kotturpuram slum clearance colony suggèrent qu'il n'y a pas d'adaptation au risque inondation ni de prise en compte du risque dans la manière de concevoir l'espace ou les constructions. Pour vérifier l'hypothèse initiale, il faut étudier les deux autres zones qui sont caractéristiques d'une population plus riche.

D. Middle Income Group

En face de slum clearance colony, de l'autre côté de la rivière, se trouve l'old tower block, situé dans le quartier de Nadaman extension colony. Il s'agit d'un bâtiment construit en 1966 par le City improvement trust, qui n'est autre que l'ancêtre du Tamil Nadu Housing Board. C'était le plus haut bâtiment jamais construit à l'époque à Chennai. Bien que les premiers habitants étaient anxieux à l'idée de vivre en hauteur à l'époque, ils furent récompensés par la vue exceptionnelle que garantissait l'immeuble. Une vue sur une Adyar river pas encore polluée et pleine de vie et sur les marécages qu'était Kotturpuram. Aujourd'hui la situation et la vue ont bien changé, car la zone a été complètement urbanisée. Cependant il est intéressant d'étudier ce quartier et ce bâtiment emblématique qui fut le précurseur des autres gratte-ciels de la ville.

1. Localisation

La situation géographique de la zone est similaire à la zone précédente, avec une distance de moins de 100 m entre le bâtiment et la rivière. La zone est donc tout aussi sujette à l'aléa. Cependant, en termes de réaction à l'événement, la zone est du bon côté de la rivière en comparaison de kotturpuram, car l'hôpital le plus proche est à 500m seulement, et il n'y a pas la rivière à traverser. (Le temps de parcours correspond au temps nécessaire à pied dans un contexte non inondé pour effectuer le trajet)

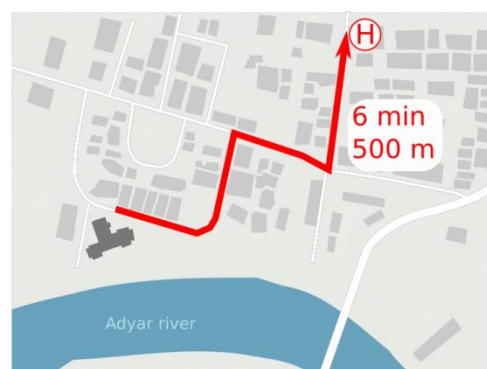


Figure 18 : Distance au centre de secours de la zone MIG

2. Typologie urbaine

Localement la situation est différente de la première zone. La densité est faible en comparaison et le taux d'occupation des sols est de 42%. En effet, autour du bâtiment se trouvent des jeux pour enfants, une piste de promenades, des jardins et de nombreux espaces non utilisés, laissés à la végétation.

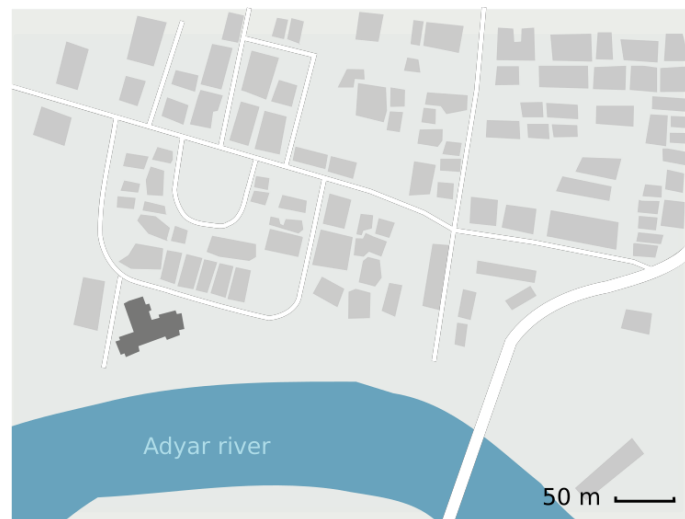


Figure 19 : Organisation du bâti de la zone MIG

Utilisées pour l'accès en voiture dans la zone, la taille des routes est de 15m, et elles sont peu nombreuses, donc moins susceptible d'affecter la vitesse de l'eau durant la catastrophe.



Figure 20 : Route de la zone MIG

3. Typologie architecturale

Premier haut immeuble de la ville, l'old tower block, avec ses 9 étages, était le bâtiment le plus haut de son époque. Il se compose de 48 appartements avec un rez-de-chaussée initialement prévu avec 17 garages, 3 boutiques et un restaurant. Il ne reste aujourd'hui que des garages (qui sont la fonction principale de ce rez-de-chaussée). Cette caractéristique fait que le bâtiment est d'une certaine manière adapté au risque inondation.



Figure 21 : Tour de la zone MIG

Bien qu'en meilleur état que Kotturpuram slum clearance colony, le bâtiment a été affecté par les récentes inondations, on peut en déduire que les murs ne sont pas protégés par une couche d'étanchéité.

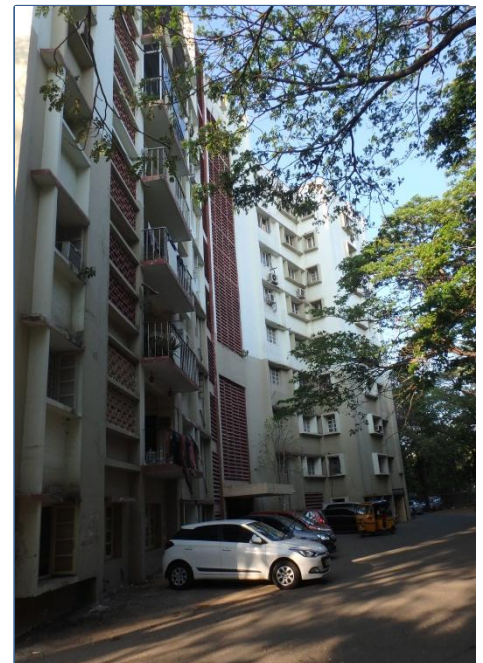


Figure 22 : Etat des murs de la zone MIG

E. High Income Group

Le quartier de MRC Nagar concentre à Chennai de nombreuses propriétés de luxe. Situé au bord du fleuve, les Rani Meyyamannai Tower ont été construites en 2006. Cet ensemble de bâtiments qui rassemble 8 tours de 10 étages, est une zone non seulement de logements mais aussi de loisirs et de services pour ses habitants. On y retrouve notamment : une piscine, une salle de sport et un hall de réception.

1. Localisation

C'est la vue sur la mer et sur le fleuve qui a en partie décidé les promoteurs à choisir cet emplacement. La réputation du quartier a aussi impacté sur le choix de l'emplacement de la résidence. Cependant, localisée à l'embouchure de la rivière, la zone est tout aussi vulnérable, voire davantage, que les deux autres quartiers présentés plus tôt.

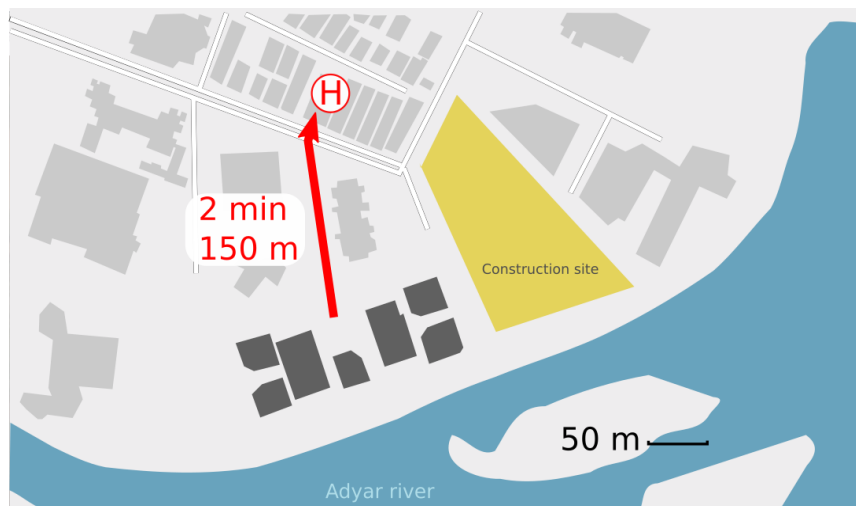


Figure 23 : Distance au centre de secours pour la zone HIG

En ce qui concerne l'adaptation post-catastrophe, un hôpital se situe dans la même rue, à 150m. En cas d'urgence, les habitants peuvent rejoindre rapidement ce centre de secours.

2. Typologie urbaine

Avec un taux d'occupation des sols de 53%, la zone est plus dense que Nadaman extension colony. En effet les tours y sont bien plus nombreuses, et la zone subit une pression foncière importante. Des constructions sont toujours en cours, notamment au voisinage de la zone d'étude.

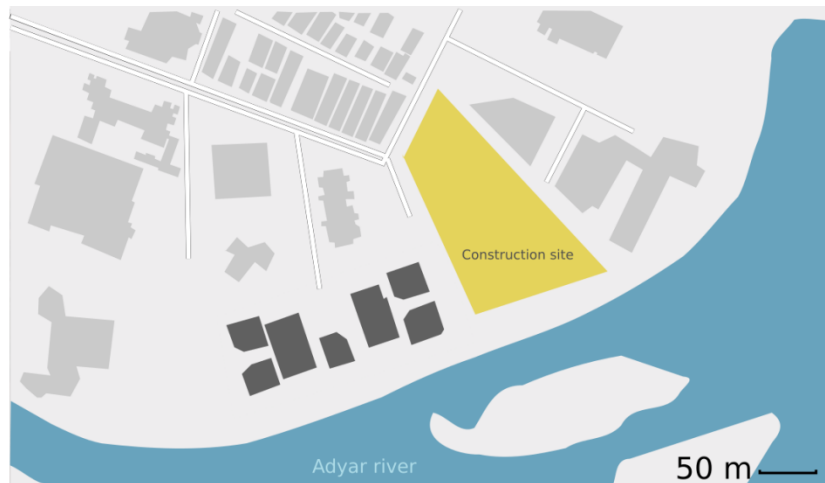


Figure 24 : Carte bâti zone HIG

En termes de réseau routier, les tours sont connectées par des avenues très larges de 20 mètres. Favorable à l'évacuation de l'inondation, des routes de cette taille peuvent aussi augmenter la vélocité de l'eau.



Figure 25 : Avenue zone HIG

3. Typologie architecturale

Les bâtiments sont de même architecture et sont semblables dans leurs organisations. Les deux bâtiments centraux contiennent les activités et les services de la résidence, les autres tours sont principalement réservé à un usage de logement. Contrairement à l'Old Tower block, les rez-de-chaussée sont composés d'appartements sont même légèrement plus bas que le sol extérieur.

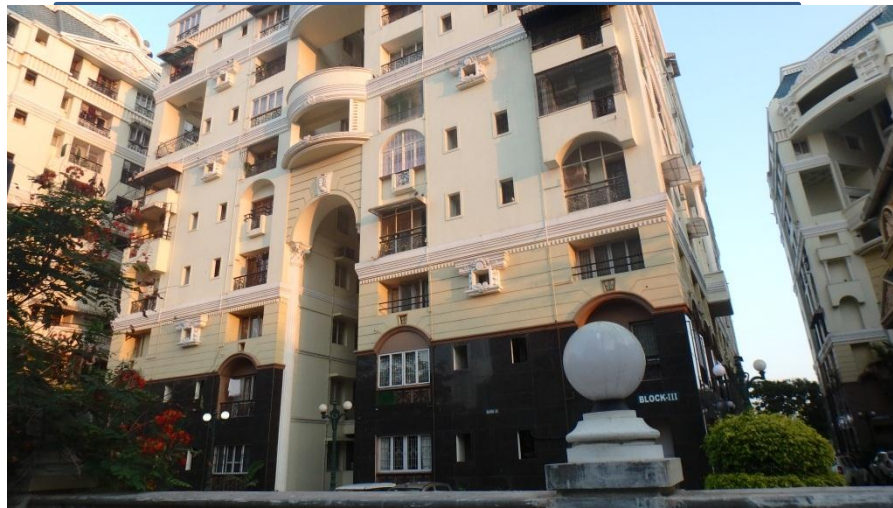


Figure 26 : Bâtiment zone HIG

Une peinture noire recouvre les murs du rez-de-chaussée, cette peinture sert de couche d'étanchéité pour protéger le mur et le rendre plus résistant à l'humidité. Cependant, cela ne protège pas les habitants de la montée des eaux mais garantie la sauvegarde structurelle du bâtiment.

Trois zones, disposant de trois niveau de richesses ont été étudiées, pour vérifier l'hypothèse initiale il faut maintenant les comparer et faire une analyse des résultats.

III. ANALYSES

Pour analyser les résultats des observations, un résumé a été fait et les critères définissant les facteurs d'adaptation ont été hiérarchisés.

A. Grille d'analyse

Les données importantes concernant les critères d'adaptation sont rassemblées dans un tableau comparatif. Ces critères sont divisés en trois catégories :

- La localisation dans la ville est le premier type et celui-ci se traduit par deux critères. Le premier concerne la prévention du risque inondation, pour que la prévention soit efficace il faut que les structures ne se situent pas en zone à risque. Cependant du fait de l'urbanisation intense de la ville, toutes les zones choisies sont situées dans une zone avec un aléa fort. Le critère sélectionné a donc été celui de la **distance minimale séparant la rivière et les bâtiments**. Le deuxième traduit la réaction de la ville à l'évènement par **la distance au centre de secours** le plus proche, que ce soit un hôpital ou un camp de secours d'urgence.
- L'adaptation du tissu urbain : par tissu urbain on entend l'organisation spatiale et locale du quartier par sa densité et l'organisation du réseau routier. En données brutes, c'est l'expression de deux critères, **le taux d'occupation des sols** et la largeur des routes. Le taux d'occupation permettant d'observer la densité de bâtiment et donc aussi l'espace non bâti qui permet à l'eau de s'étaler. Les routes ont un impact sur l'inondation car ce sont des zones imperméables qu'utilisent l'eau pour circuler, **la largeur des voies** permettent d'évaluer la vitesse de l'eau, une voie trop petite ralentissant l'eau et une trop grande voie l'accélérant au contraire.
- L'adaptation du bâtiment peut se manifester sous deux principales formes, une **élévation générale de la construction** et **l'étanchéisation des bâtiments par les parois extérieures**.

Ce sont donc pas moins de 6 critères qui servent de démonstrateur d'adaptation au risque. Cependant, les critères n'ont pas tous le même impact, il faut définir quels sont les critères les plus impactant.

1. Les critères de prévention paraissent être les plus démonstrateurs d'une prise de conscience du risque, c'est pour cela que le critère de distance à la rivière est la première caractéristique à comparer.
2. Le taux d'occupation des sols arrive ensuite car c'est un facteur qui est impactant de plusieurs manières. L'imperméabilisation des sols et simplement par l'espace occupé (qui modifie le comportement de l'inondation en empêchant l'eau de circuler et de s'étaler), augmentent à la fois la vulnérabilité et l'aléa. Il indique aussi si le nombre de bâtiment impacté est important.
3. La hauteur des pièces à vivre est le troisième critère le plus important, car il peut démontrer une véritable adaptation et une prise de conscience du danger de la rivière. L'étanchéisation du bâtiment arrive à la même position car c'est aussi une adaptation assimilée par la construction.
4. La largeur des voies arrive dans les derniers critères car c'est une caractéristique complexe à comparer. Une voie plus grande n'est pas forcément signe de sûreté, car les avenues peuvent augmenter fortement la vitesse de l'eau, si le système d'évacuation de l'eau n'est pas efficace. Pour cette étude, on supposera donc plus la route est large, plus le quartier est adapté au risque d'inondation.
5. La distance au centre de secours est enfin le dernier critère, car il correspond à une réaction après l'évènement.

Certains facteurs sont les mêmes pour toutes les zones, et ne figurent donc pas dans la grille :

- La distance à la rivière, car les trois quartiers sont tous situés à moins de 100 mètres de l'Adyar River, ils sont donc égaux sur ce point.
- La topographie, toutes les zones sont au même niveau topographique qui dans les plus bas de la ville (<3m).
- L'étanchéisation des bâtiments car bien que les Rani Meyyammai Towers soient recouvertes d'une peinture de protection, l'intérieur des bâtiments

n'est pas étanche, seuls les murs sont protégés de façon à ce qu'ils ne perdent pas de leurs capacités structurelles de soutènement.

Les valeurs des différentes zones sont comparées entre elles, et la meilleure valeur est synonyme d'une adaptation plus forte. La zone qui a les facteurs les plus élevés pourra être considérée comme la plus adaptée.

On obtient le tableau suivant :

Zone	Taux d'occupation des sols	Hauteur des pièces à vivre par rapport au sol (en m)	Largueur des voies (en m)	Distance au centre de secours (m)
LIG	80 %	0.4	5	2200
MIG	45 %	4	12	500
HIG	55%	0	20	150

B. Description des résultats

Après observation du tableau on remarque plusieurs choses. La zone LIG est celle qui est le moins adaptée, ses critères sont tous inférieurs aux autres zones. En effet c'est la zone la plus densément peuplée, composée d'un plan en quadrillage avec des rues étroites. L'hôpital se trouvant de l'autre côté de l'Adyar river,

La zone MIG dispose de meilleures valeurs en ce qui concerne la densité et la hauteur des pièces à vivre. Ce sont les deux principaux critères dans la liste d'importance. Bien que la zone fût conçue dans les années 70, elle dispose de bons signes d'adaptation au risque.

La zone HIG des Rani Meyyammai towers a les routes les plus larges et la distance la plus faible au poste de secours, qui sont des signes d'adaptation moins bien classés dans la liste d'importance.

C. Analyse

1. Réponse à la première hypothèse

Le quartier de Kotturpuram slum clearance colony est le plus grand et le plus pauvre des trois quartiers. Selon l'hypothèse formulée on s'attendrait à ce que ce soit celui le moins adapté au risque inondation. Au résultat on remarque que c'est effectivement le cas, le quartier ne répond à aucun des critères d'adaptations que ce soit sur sa morphologie urbaine ou sur son architecture.

Cependant l'hypothèse supposait que les plus riches étaient les plus adaptés, ce qui n'est pas le cas. La zone la plus riche est première pour deux critères sur quatre d'adaptation mais, ceux-ci sont les moins importants.

La zone MIG a les valeurs les plus importantes pour tous ses critères, notamment la densité qui est le critère le plus important. L'hypothèse est donc réfutée, les plus riches ne sont pas plus adaptés que les autres.

2. Réponse à la seconde hypothèse

La deuxième hypothèse concerne l'âge des bâtiments, les bâtiments les plus récents étaient supposément les plus adaptés. L'old tower block, construit en 1972, est la plus vieille des zones et la première tour construite à Chennai, cependant c'est aussi, d'entre les trois zones, celle qui dispose des facteurs d'adaptation les plus significatifs. Les tours de la résidence de la zone HIG ont été construites beaucoup plus récemment, en 2006, elles ne sont cependant pas moins vulnérables que la tour de la zone MIG, l'hypothèse est donc réfutée.

3. Réponse à la problématique

Les deux hypothèses sont fausses, l'âge des bâtiments et le niveau de richesse des habitants n'a pas d'influence sur les adaptations au risque inondation. La réponse à la

problématique est donc plutôt claire, il n'y a pas d'adaptation au risque inondation à Chennai.

Cela peut peut-être se comprendre par la vision qu'ont les habitants du risque. En effet les petites inondations annuelles de la mousson sont très bien assimilées par la population qui a appris depuis toujours à vivre avec. Le mot inondation n'est même pas utilisé en anglais ou en tamoul pour décrire le surplus d'eau dans les rues lors de la mousson. Quant aux inondations exceptionnelles qui provoquent des dégâts conséquents, comme l'inondation de 2015, elles sont trop espacées dans le temps pour être prises en compte dans l'aménagement du territoire. Les impératifs de développement démographique et économique sont trop forts pour que les coûts de la construction soient impactés par les adaptations de protections ou d'infrastructure d'évacuation des eaux.

4. Biais et critique des méthodes

Biais de la méthode par typologie

Les formes urbaines à Chennai sont difficilement lisibles, la taille de la ville et sa diversité font qu'il existe un nombre important de typologies. Bien que les trois zones soient représentatives du niveau de richesse de ses populations, il existe nombre d'autres typologies qui peuvent aussi être étudiées, et révéler des résultats peut-être différents.

Biais de la récolte de donnée

La récolte de donnée est plus compliquée à Chennai que dans une ville Européenne. Les données ne sont pas informatisées et peu mises à disposition.

L'accès de la résidence des Rani Meyyammai Tower est par exemple extrêmement contrôlé. Les informations ont été collectées en questionnant les habitants ou via les sites de ventes immobilières.

En ce qui concerne les deux premières zones ce sont des organismes publics qui se sont occupés de la construction et qui sont maintenant en charge de la maintenance des bâtiments. Un entretien a été effectué avec le Slum Clearance Board de Chennai

qui est propriétaire de la zone de Kottupuram. Cependant les autorisations pour avoir accès aux plans et documents relatifs au projet n'ont pu être obtenues. Il en va de même pour le Tamil Nadu housing Board qui a été le concepteur de l'Old Tower Block. L'accès aux documents du projet n'a pu être obtenu. Les informations ont été récoltées via des articles de journaux et en interrogeant les habitants de la tour.

5. Comment approfondir ce sujet de recherche

Pour approfondir le sujet, il faudrait faire une étude plus poussée sur des quartiers autres que l'Adyar afin de voir si le fleuve, et plus particulièrement la notion de risque, a une influence sur la manière de concevoir l'urbanisation et l'architecture.

Il faudrait aussi étudier la vision du risque qu'ont les habitants et acteurs de la ville, afin de savoir si le risque inondation est pris en compte de manière consciente lors de la réalisation de projets.

CONCLUSION

Au début de ce rapport, je me suis demandé quels étaient les liens entre le fleuve et la ville. Une approche par le risque c'est rapidement imposée. L'étude de la croissance forte de la ville et de la présence de la rivière en ville a démontré qu'il existe un lien entre l'urbanisation et le risque inondation. Il en a découlé la question suivante : Les typologies urbaines de Chennai sont-elles adaptées au risque inondation ?

Différents niveaux d'adaptations

L'étude a démontré que l'adaptation au risque s'effectue sur plusieurs niveaux. La prise en compte du risque dans le processus même de création de la ville est le moyen le plus efficace pour réduire le risque. L'urbanisation entraîne une imperméabilisation des sols qui diminue l'infiltration de l'eau et augmente le ruissèlement, ces deux phénomènes augmentent l'ampleur d'une inondation et sont susceptibles d'augmenter la fréquence des catastrophes. La prévention par la non-construction permet une réduction de la vulnérabilité qui s'accompagne souvent d'une réduction de l'aléa.

L'échelle de quartier intervient quand l'urbanisation n'a pu être évitée, ce sont alors l'organisation des réseaux et des infrastructures d'évacuation qui peuvent être mis en place pour évacuer l'eau.

Enfin les propriétaires du bâti peuvent adapter leurs constructions pour éviter les dommages des inondations. Ces adaptations interviennent de plusieurs manières, soit directement dans l'architecture par une élévation par exemple ou encore par la mise en place d'éléments de protection comme les batardeaux.

Une adaptation non planifiée

Afin de vérifier si ces adaptations étaient présentes à Chennai, deux hypothèses ont été faites. Premièrement, les bâtiments logeant des personnes d'un milieu plus aisé sont plus adaptés que les autres. Et secondement, les bâtiments récents sont plus adaptés que les bâtiments anciens.

Suite à l'étude de trois zones ayant dans chacune des habitants d'un milieu différent mais aussi en ayant été construit à des dates différentes, on a comparé leurs niveaux d'adaptations au risque inondation. Il en a été déduit que la zone la plus récente avec

les habitants de plus fort revenu n'est pas la plus adaptée réfutant ainsi les deux hypothèses qui ont été faites.

On remarque cependant que des adaptations sont quand même présentes, élévation des bâtiments, couche de protection d'étanchéité... Mais elles sont, pour la plus part, le résultat d'une adaptation à d'autres éléments que le risque inondation, le transport par la voiture conditionne la présence de garage au rez-de-chaussée ou encore la largeur des voies. Le risque n'est pas pris en compte, et est délaissé car la ville répond à des impératifs de développement qui sont plus urgents que le risque d'inondations décennales voire centennales.

La catastrophe des inondations exceptionnelles de 2015 a cependant marqué les esprits et entraîné des actions par les autorités de la ville, comme la destruction et le relogement des populations des bidonvilles au bord du fleuve. Pour comprendre ce qui pousse cette non-adaptation dans un milieu à fort aléa, il serait intéressant d'étudier quel est la représentation du risque pour les habitants de la ville.

Le risque a été une notion fréquemment abordé lors de ma formation, cependant l'aborder dans le contexte indien avec une optique d'adaptation au risque et plus seulement de définition des risques m'a permis de découvrir une nouvelle facette de l'aménagement du territoire, une prise de conscience de la complexité du lien entre ville et fleuve.

BIBLIOGRAPHIE

AVITHA A., Impact of urbanization on rivers of Chennai, International Journal of Scientific & Engineering Research, 2013, 6p.

BIASCO F., Originalité de climats secs de l'Inde du sud, Annales de géographie n°450, , pp 129-250, consulté le 03/11/2015

BONIN S., Fleuves en ville : enjeux écologiques et projets urbains, 2008, 11p.

Centre Européen de la Prévention du risque Inondation, Le bâtiment face à l'inondation Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité, consulté le 08/12/2015

CHARDON A-C, Etude intégrée de la vulnérabilité de la ville de Manizales (Colombie) aux risques naturels, 1994, consulté le 12/12/2015

CHENNAI METROPOLITAN DEPARTMENT AUTHORITY

- CMDA Seminar on Waterways in Chennai, March 2010, 18p
- CMDA Session 3 – River and Drainage system in CMA, 45p
- CMDA Session 5 – Studies on Chennai drainage system – rivers canals creeks estuaries lakes
- CMDA Second Master Plan 2026, approved in 2007 Volume I Chapter II Demography, 7p
 - Volume III Chapter XII – Environment, 8p
 - Volume III Chapter II Development planning in CMA, 17p
 - Volume III Chapter VI Maps, 5p □ Volume III Chapter XIV Landuse Planning and strategy, 18p

CHOCAT B., Urbanisation et inondation phénomènes de ruissellement, causes naturelles et facteurs d'aggravation, Aménagement et nature n°95, consulté le 05/02/2016

COURNOU A., The environmental awareness and riverfront development project, a case study of Adyar river in Chennai, 2015, 98p

DENIS E. , Toward a better appraisal of urbanization in India, 2011, consulté le 25/20/2015

GUPTA K., Flood risk and context of land-uses: Chennai city case, décembre 2010, pp 365-370, consulté le 15/02/2016

IYER V. , Survivors of Time - It conquered city's fear for heights, The Hindu, 2011, consulté le 14/03/2016

JANARDHANAN A., Chennai floods: The day city went under, who did what — and who did not, The Indian Express, décembre 2015, consulté le 22/01/2016

KRAPF S., Typological process and design theory, consulté le 23/02/2016

KRISHNAMURY R., City profile Chennai, Cities, volume 42, part A, February 2015, p118-129, consulté le 15/10/2015

LAVANYA A. K., Urban Flood Management-A Case study on Chennai city, 2012, 7p

LEROI E., Outil d'analyse de la vulnérabilité du bâti aux inondations et de réduction du risque, consulté le 25/11/2015

MAHALINGAM K.S., The Tamil Nadu Slum Area, consulté le 08/03/2016

MALFROY S., Urban tissues and idea of urban morphology, consulté le 18/02/2016

RAZAFINDRAKOTO J L., Résilience des habitations aux inondations en milieu urbain : le cas d'Andohatapenaka, un quartier de la ville d'Antananarivo, consulté le 15/02/2016

SAGALOLI B. , L'inscription paysagère du risque d'inondation dans les politiques urbaines des agglomérations ligériennes, proposition d'un marqueur de résilience spatiale, Revue géographique de l'Est, 2011.

SERRE B., La ville résiliente aux inondations Méthodes et outils d'évaluation, consulté le 05/12/2015

VAN HERK S., Delivering Integrated Flood Risk Management: Governance for collaboration, learning and adaptation, 2014, 219 p, consulté le 18/02/2016

VINNET F., Le risque inondation, pp 256-275

Webographie

Site Internet du Newsminute, [<http://www.thenewsminute.com/article/deciphering-chennai-floods-three-maps-and-overview-36559>]

Site internet du Indian Express, [<http://indianexpress.com/article/india/india-news-india/chennai-floods-the-day-city-went-under-who-did-what-and-who-did-not/>]

Site du Government of Tamil Nadu – Department of Environment, [<http://www.environment.tn.nic.in/>], consulté le 04/03/16

Site du Government of Tamil Nadu – Water Resources Organisation, [<http://www.wrd.tn.gov.in/>], consulté le 06/03/16

Site du Tamil Nadu Housing Board, [www.tnhb.gov.in/], consulté le 20/02/2016

Site du Tamil Nadu Slum Clearance Board, [www.tnscb.org.in/], consulté le 10/02/2016

Site de Transparent Chennai, [www.transparentchennai.com/], consulté le 21/02/2016

IV. TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de Chennai	11
Figure 2 Urbanisation de la municipalité et de la métropole de Chennai	12
Figure 3 : Développement de Madras de 1633 à 1971	13
Figure 4 : Les plans d'eau dans ville de Chennai	14
Figure 5 : Le sous-continent indien dans la Pangée.....	16
Figure 6 : Evolution du sous-continent indien	17
Figure 7 : Localisation des moteurs de la mousson	18
Figure 8 : Evolution de la mousson.....	19
Figure 9 : Carte de zones de prescription basé sur les inondations annuelles	20
Figure 10 : Carte des zones inondées (en rouge) lors d'une inondation exceptionnelle (2015)	21
Figure 11 : Exemple de batardeaux.....	32
Figure 12 : Exemple d'élévation sur pilotis	32
Figure 13 : Carte des distances aux secours pour la zone LIG	36
Figure 14 : Centre de secours volontaire à Chennai.....	37
Figure 15 : Organisation spatiale de la zone LIG.....	37
Figure 16 : Passage de la zone LIG.....	38
Figure 17 : Bâtiment de la zone LIG vue de face	38
Figure 18 : Distance au centre de secours de la zone MIG	39
Figure 19 : Organisation du bâti de la zone MIG	40
Figure 20 : Route de la zone MIG	40
Figure 21 : Tour de la zone MIG.....	41
Figure 22 : Etat des murs de la zone MIG	41
Figure 23 : Distance au centre de secours pour la zone HIG.....	42
Figure 24 : Carte bâti zone HIG.....	43
Figure 25 : Avenue zone HIG.....	43
Figure 26 : Bâtiment zone HIG.....	44

Cet entretien a été mené par Karine Hochart et Simon Gilliot, qui participent aux aussi au projet Arcus. Leur sujet de d'étude est l'usage de la rivière et les projets qui l'entourent.

K: Projects of in-situ developments in the 1970s: criteria to choose this strategy? What areas? How it was implemented?

1970s: formation of the Tamil Nadu Housing board according to the 1971 act. Kottupuram was originally a tenemental scheme and it was constructed by the Tamil Nadu Housing Board and transferred to TNSCB. Because after we created a separate housing board for the economically weaker sections (EWS). Earlier, overall housing development was done by the TNHB irrespective of the income group.

Now the property and maintenance of the tenements in Kotturpuram have been transferred to the TNSCB. When tenements are in dilapidated condition we demolish it and rebuild it.

K: It has been quite affected by the floods right?

Yes, at that time they haven't check the flood level. Because it was along the Adyar only, but people were residing there, and the housing board constructed the tenements there itself. They didn't want to relocate there anywhere. The CRZ (Coastal Regulation Zone) rule was not there at that time... now it is prohibited to build on hundred meters on both side.

So when we do reconstruction now, after the dilapidated tenements- we have done 4 blocks recently- we raise the level of the tenement and then construct it.

K: The flood risk is taken in account then now...

For some of the tenements that we are constructed, but not all. Because the tenements were all built earlier.

K: So these tenements will remain there?

Yes... maybe in the future... 10, 15 years after that, we are planning to totally demolish all the tenements and construct... like an urban renewal project... we can

plan it so that from flooding we can protect them somehow... whatever the rule permits.

S: Location of the in-situ resettlement projects along the Adyar?

We are not able to locate it in this map...

Kotturpuram tenement is here but are there other places?

Yes there are many places, it depends on the zones. For example we have divisions like this [showing a map on the wall], with wards and zones: if you are able to identify the zone we can

K: One more question about that earlier project: how was it financed at that time?

It was the State government, through TNHB. Every year, planning commission fund is there— even now it is there. Every year we have a portion of fund which comes from State government. We generally use for the construction of tenements only.

K: 2000s: strategy shift from in-situ resettlement to outskirts resettlement?

People came mostly from the river margins. Earlier there was no rule, there was no conditions that they shouldn't be constructed there and all. So, tenements were constructed along the river margins also. But now after 1991, where that CRZ came seriously into implementation, the slum settlements which were along the waterways, 100 meters from both sides, were not allowed to be constructed there itself. In-situ resettlement was not possible, so we shifted them to some other government locations, areas like Perumbakkam, Okkyiam Thoraipakkam. Some large extent of land were identified by the government and relocate it.

S: How were these areas identified? According to which criteria?

Actually they didn't see much criteria about it. Revenue land should be available: it is free of cost. It was already a government land. So free of cost land was identified and given up to them. Generally one criteria we see is that people should be able to go and come for the livelihood. So the travel time we see is at least 10 to 15 km. Other than this, there are not much criteria about it because the land we need, no? So the land comes free of cost, so travel time we take care, then we will be able to relocate them. While relocating, other facilities we ourselves are providing it: like commercials, schools, colleges etc. What we do is we integrate with the school authorities and we

will try to bring schools, transport facilities are being given to them, this consumer things like milk, stationaries and other shops also.

K: I have heard that there were a lot of criminality in Kannagi Nagar at the beginning...

Now I think it is reduced but earlier it was high, because it is totally a village settlement in Kannagi Nagar, and these families are in a different location of the slums. When we introduced them into the village community, there was lot of objection to it also. Social issues were there... These people have a different attitude, and in the village they have a different attitude. So they were a clash at the beginning but after that it has reduced.

But still now the government is looking into a different angle of it: not to relocate such a large number of families. Nowadays we are not doing it. Only two or three schemes we did it in a large scale. The scale as reduced and now we try to mingle as a mixed development in the city itself. Not to relocate and take them in a long way. Because all of them are from different social backgrounds, and when we put them together there are lot of social issues which are coming out: like thefts, all other criminal activities etc.

K: Nowadays it is smaller communities?

Yes, wherever smooth development is possible we are trying to see like LIG, MIG – low income group/ higher income group: we categorize people based on the income.

S: Something I didn't understand: for the first resettlement scheme, buildings were already there. What was the purpose of these buildings? Were there another objective? K: For the resettlement post-floods, buildings were already built in Perumbakkam and other areas...

The objective of the project itself was to rehabilitate the people who are along the waterways only, so the construction was started earlier. It was planned to re-accommodate them through Corporation. Corporation only takes the survey of the people and when the list is given by Corporation, the tenements will be allocated by TNSCB.

See, it so happened because of the flood, people were not having houses, immediately we were able to give them. Not for all, but maybe for around 10 000 or something we were able to accommodate immediately.

K: I have read articles in newspaper talking about allocation issues... some flood-affected people were allocated the same flat than the people rehabilitated under the tsunami scheme.

That happens because, as I told, list is given by the Corporation. Tsunami is given by the Collector, so there is a clash between the lists. Now we are doing biometric not to have any confusion. Once the biometric is done and allotment is given, it will not be repeated. – Biometric: we will take the thumb impression and the eye capture of all beneficiaries so it will be on the computer... for the entire family we will take it. So they will not be given another house anywhere. So they can't claim that twice they have been given and all. The TNSCB is taking these biometric data, and partly done by corporation also. We got a separate fund from the government and we are doing it.

K: About that, I got reminded of the RAY program: is it linked to that? Are you relying on that data?

Yes, RAY is only doing that... Now it is not called RAY, it is called *Housing for all*, it has changed since the government has changed. RAY was when the congress was there, *Housing for all* is the Central Government Program. It is partly funded by Central government, partly by State government and some percentage is taking from the beneficiaries.

They follow the same data, only the guidelines and financing are different/ Before 40% 40% and 10% by beneficiaries / Now irrespective of the cost of the unit, 2 lacks are given by the central government, so the burden is more on the State government.

K: And what is your opinion about this Housing for All program: does it change something in the practice?

It is not a discourage, we are doing it with this also... but it depends on the beneficiaries which are coming. Generally beneficiaries won't come for more investment. So we are trying it up with banks for financing it. We have to see... it is only starting now, it has been only for few months... We have to see one more year...

S: But still the strategy has evolved a lot: first next to the river, then large-scale resettlement in the outskirts, now little pockets within the city

Yes, the strategies are different so the people may prefer... There it is not much of beneficiaries participation

S: Beneficiaries consider this as a long-term resettlement or do they move somewhere else?

For the new scheme? Yes they are staying back. See, for all the scheme there will be 20% of people who will be coming back.

S: Coming back to previous areas?

Not previous areas... to other areas. Because previous areas will be protected now. They will go somewhere else, they will just sell it off or something like that. 80% are staying there or they will rent or something and they will have their own livelihood.

These 80% are happy?

Yes, they are happy. You can see that the first one year they won't be happy. After a year or so they will be happy. The time to adjust... and all facilities should come up, and they should find some livelihood there, job opportunities. There are lot of factors involved to get their satisfaction.

S: In my observations, I have noticed that the slum people have a very strong relationship to the river, they use the river to wash the clothes, to fish etc. How do they live this change because of their lifestyle linked to the river?

To my knowledge, livelihood based on fishing on the river is very very less. Here in Chennai, all fishing is done on the sea only.

Yes but there is also washing clothes, washing themselves....

Washing, yes, because they didn't have toilets and other facilities there... when they were along the river margins. So we didn't construct any toilet or... it was only a public unit convenient, so open defecation for the children, and they will be taking bath in the open area and all, washing them because there are no other ways. The hygiene conditions are poor there, but here it is better. We have given a separate toilet, individual family will have a toilet facility, water supply is given to them and all the other facilities are given... But livelihood I am very sure that river based livelihood is not here, it is only on the sea.

K: And you said the strategy has changed, and now TNSCB is trying to maintain them in pockets within the city... But after the floods, people along Adyar and Cooum have been relocated in the outskirts... even for the Cooum Integrated Development Plan, they are planning to resettle people in the periphery

That is whatever scheme I told you, the Perumbakkam... We have already constructed around 15 000 tenements. So those tenements have to be filled in...and Okkyiam

Thoraipakkam also we have 10 000 tenements. So up to that we will be relocating them only. Because that will go without accommodation no?

Because of financial issues or the fact that it is ready so it has to be filled?

It is ready so we have to accommodate them. We can't leave the buildings like that, because the investment is also been made.

K: About the widening of the river – it is interesting for us to see what happened after the floods in relation to the rivers: mostly before the floods nobody cared about the river but after the floods, some people started saying that we have to take the river in account, we have to maintain it ect. And mostly they say that we have to widen it and that is why settlements in Saidapet and R.A Puram...

Yes, according to the alignment

...have been demolished. This project of widening the river is based on which study?

It is there, already the projects are there with the PWD. PWD is in charge of the waterways, so they have lot of projects with them... But they are not able to implement it because of the settlements there. And lot of orders they had not to widen or desilting... But now the government has allocated lot of funds on that for desilting and widening of the river, rehabilitation of the families who are settled there. So now it is the PWD who has lot of projects in hands.

K: So they were already planning to widen it but they were not able to do it?

Yes, because of these issues... limitations were there. But now I think it will be cleared... The Court also has directed them to clear it, to clear all the encroachments. The government is also supporting them, so now they will be doing it.

K: What will happen on the free lands in Saidapet or other areas along the river?

That you have to check it up with PWD. The monitoring is taken care by the land-owning department. In the case of the waterways, land is owned by PWD

K: Last question was about the future projects along rivers, but I don't know if you are aware of it...

Desilting widening of the riverways and landscaping, some green belt. And some of the areas, they might plan it for a tourist purpose also. But at present that cannot be done because the cleaning of waterways itself has to be done. In Chetpet they have done it like that. I have not been there... but it is a good idea what they have done.

I am dreaming about to see a clean waterways in Chennai. Whenever I go to other cities, other countries also, we are really long for this clear waterways. We have 4 waterways in Chennai, but all the four are polluted.

K: It is a big task to clean them

It was like that before, it was clean and people were using it for they travel, transport

S: Because of the social and economic boom, the increase of the population

Population is there but people should have the thought not to pollute it, and the government also should support it... everything matters

S: When you want to change people's way of acting, it is very hard to make people understand, and everywhere in the world

Same attitude will be seen

Once the process starts, it will go faster and faster, because people will see a change and understand their responsibility

The literacy level also matters a lot, the people who get educated, they get awareness

S: Where are the other projects coming up in small pockets within the city?

I don't have the list presently. Lots of projects are coming up in Chennai and Tamil Nadu also. In Chennai it is limited

K: Do you work with CRRT also?

Generally we don't work with anyone. What they will say is: this is the project which is coming up here, and their target is to clear the settlements, reclaim the land and settle those families. They give some compensation for that, some packages fixed by the department who owns the land. So once we are agreeing to that we will relocate them in our own tenements and clear the land for them and give it for their own projects. That's how it is going on.

If the land is not claimed by anyone, it is our duty to clear all the slums which are along the waterways but it is a long term plan. Lot of work to do

And now we realize that relocation is not a successful strategy, we are trying to mix it in the city itself. That become a heavier task rather than before because we have to identify lands wherein we can integrate those families also, and the other settlements should accept them... and for that, what is the government's tool to encourage them like that? Some FSI deal (Floor Space Index) or something like that... lot of planning

strategies also being involved in that. FSI is like if it is more than such extent you have to give 10% for the EWS housing. Planning tool is there to encourage

S: And when you relocate people what is the reaction of the people around?

Initially there will be an objection to it, they don't want to go. But we have to show them what is the alternate accommodation and what are the facilities...

Not the ones who are going, but the people living around, how do they feel about new people coming from slums...

Objection will be there but they can't totally object to it because it is a government land on which we are doing it, it is not their land. Acceptance will not be there... they will tell that already we have this kind of infrastructure problem. Even for Kannagi Nagar we had lot of objections from the village people who are surrounding. They said the village characteristics were affected by these people coming into it. But we didn't have any other way. It has to be done. On the long run, we will change the people way of living and you will really integrate with them and we convinced our Community Development Wing there, so there were lot of discussions which went on to that

It is a hard mission... and only we can see in a long term

Yes and they will change, people will change

K: And the new strategy of keeping people within the city in few pockets, it has been done or it is a project?

It is just a plan, we have to see. Renewal projects should be identified now... Lands are not yet identified. But what we thought is we will go for the older tenement scheme itself, because those days it would have been a scattered development and not much of land would have been used. So we will go for a different type design, we will go for high rise buildings and accommodate more number of units in the same area so that these people can be accommodated in that tenements

K: Have you heard about CAG association: they are mapping the available lands for resettlement of slums within the city?

I don't know- but in CRRT they have identified areas where you need not relocate in the waterways. CAG I am not sure... But we ourselves know where the lands are available because we have a data bank

S: Do you know when this project will start?

Yes, it has already been approved by the Central Government and fund has been allotted. Some initial work has been started. It will start soon... after the elections

S: Very interesting to see how the strategy evolved...

It keeps on changing also, we can't say it is the same strategy which we are following up... but slowly we are trying to reduce the concentration on construction itself. Because nowadays construction has become a major burden for us, we have to see what else can be done to improve their livelihood, in addition to the construction. Something more integrated and self... like they themselves can construct instead of us constructing and then giving it to them. That incremental concept can be done

ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE DE TERRAIN

Questions générales

Depuis quand habitez-vous dans le quartier ?

Savez-vous quand le bâtiment que vous habitez a été construit ?

Quelles sont les activités possibles dans le quartier ?

Questions sur les inondations

Jusqu'à quelle hauteur atteint l'eau généralement en période de mousson ?

Quelle a été cette hauteur lors des inondations de décembre 2015 ?

Vous ou des membres de votre famille ont-ils été blessé par les inondations ?

Avez-vous subi des dégâts matériels chez vous ?

Pensez-vous que votre bâtiment soit adapté à ce genre de situation ?

Vous sentez-vous en sécurité ?

ANNEXE 3 : RÉSUMÉ EN ANGLAIS



ADYAR AND CHENNAI



FLOOD RISK AND ADPTATIONS IN CHENNAI



COLLE VALENTIN



PFE



CHENNAI, THE UNCONTROLLABLE GROWTH

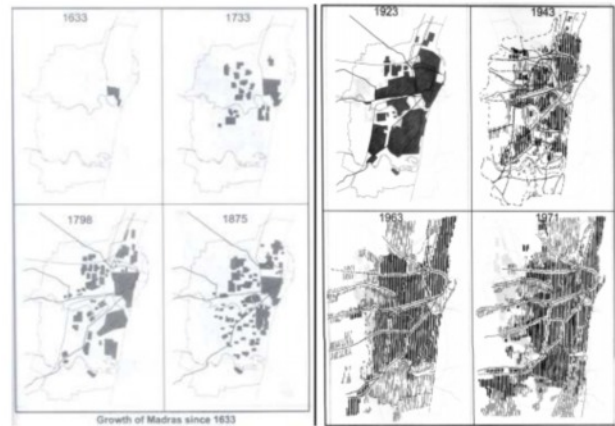
Chennai is the fourth largest metropolitan area of India, and the largest city in South India (Census of India). It is the provincial capital of the large State of Tamil-Nadu, which is the most urbanized state of the Indian Union.

15 years ago, the population of Chennai was around 4 000 000, nowadays it is around 6 500 000 inhabitants, the city is growing fast, by an average of 25% per decade. With the population, the density is increasing, in 2011 Chennai city had a density pattern of 247 people/ha, and the average gross density in CMA is around 59 people/ha. The projection of the population of Chennai

estimates the city density to be 333 people/ha in 2026.

The city of Chennai is surrounded by water bodies. In the west side, there is the Indian ocean, and in the east side, lakes are supplying the city with water. These lakes are the main source for the two rivers that are crossing Chennai.

Adyar river is the southern river of Chennai. Dependant of the monsoon, the river is dry during summer and full during the monsoon, to a point to create floods. Impact of these floods can be dramatic. The 2015 flood is responsible for the death of 250 people.

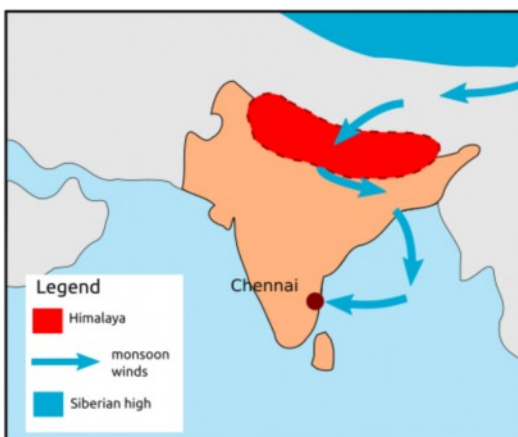


GROWTH OF CHENNAI BETWEEN 1630 AND 1971



WATER BODIES OF CHENNAI

WINTER MONSOON, SOURCE OF HIGH PRECIPITATIONS



EVOLUTION AND FORMATION OF THE MONSOON

Monsoon, is the most important climatic event in India, bringing water after a long period of dryness. In Chennai the monsoon arrived in November, it is a result of a long process that starts in the north pole., Passing to different steps in Siberia, Himalaya and along the Ganga river.

The winds, becoming completely drought after this journey, are being charged with humidity in the Indian Ocean. In the same time, the ground of the Tamil Nadu is heating faster than the ocean, creating a depression that brings the ocean winds to the continent.

FLOOD RISK

The flood risk is composed by two elements, the hazards and the vulnerability

The flood **hazard** is the probability of the event to happen. It depends from many factors : climate, seasons, surfaces. The hazard is impacted by urbanization because of human use of space, because the surfaces are changed and it modified the flow of the water.

The **vulnerability** is exposure of construction or human to the flood hazard. If the building is placed in a place where the hazard is high then the vulnerability is high. If the building is adapted to the flood, then its vulnerability is low.

Uncontrolled and fast growing of urbanization is a big problem, by influencing the hazard and increasing the vulnerability, the risk of flood in the city of Chennai is high. But, due to the monsoon, the hazard is high and inhabitants of Chennai are used of the annual monsoon flood. We can assume that in a city where the flood has always been present, the buildings and the urbanization have evolved and are adapted to the flood.

PROBLEMATIC

Are the buildings of Chennai adapted to the Adyar river ?

To compare different zones and type of urbanization, the notion of typology can be used. A typology regroup all the urbanization with the same type and the same characteristics. It is impossible to compare all the zones of the city, to answer the problematic, typologies will be made with 3 zones that are representative of a whole group of buildings.

Hypothesis : Are the typology of the HIG zones are more adapted than the other zones.

Three zones have been chosen to verify this hypothesis, a Low Income group zone (LIG), a Middle Income Group zone (MIG), and a High Income Group (HIG).

FLOOD ADAPTATIONS

The **city** is the first scale of adaptation. The best way to reduce the vulnerability is to prevent urbanization in zones where the chance of flood is high. However the fast growth of Chennai is making the prevention hard to apply, due to illegal construction and land pressure. The second city adaptation is the response of the event with the efficient location of hospitals and rescue camp.

The second scale is **urban blocks**. Local urban tissues are a factor of flood hazard and flood impact. Width of the street is important to let the water flow and evacuate during flood event. A too small street can stop the water from moving, but a too large street can increase the water velocity and it can also be dangerous.

The third scale is the **building**. The building can have many form of adaptations. It can be adaptation from the architecture with an elevation of the building for example. Or it can also be an adaptation in the material with a protective layer to seal the wall.

The Kottivakam slum clearance board project have been chosen to represent the LIG. This block was built in 1982 to relocate the inhabitant of the slums who were living in the same area. The block has suffered from the 2015 flood and the water supply system is broken. Because of that and because of the bad conditions of buildings, this area can be considered slums.



DISTANCE BETWEEN THE AREA AND THE HOSPITAL

VULNERABLE LOCATION

Close to the river in Kottivakam, and in a corner, the area is the first to be impacted by the flood. The area is cut from the other side of the city during flood. The closest hospital is in this other side. Hopefully there is a medical camp during flood in Kottivakam and it is at 600 m. The second closest hospital is at 2,2 km. In term of city scale adaptation the area do not fit any criteria and it is very vulnerable.

CITY ADAPTATION

The block is composed by long buildings in row. All the buildings are exactly the same and are arranged in the same way. Between each building there is narrow street, with a width of 5 meters, and are parallel to the river. These streets have an important impact during flood because they stopped the water from moving and break the natural water flow. Furthermore, community living is happening in this street where kids play and women wash clothes for example.



KOTTURPURAM SLUM CLEARANCE COLONY

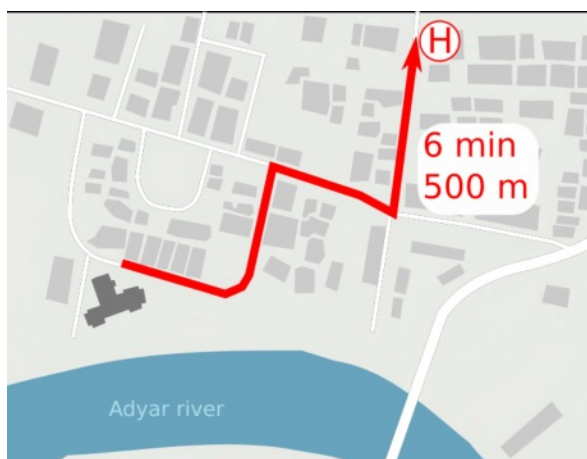
FEW BUILDING ADAPTATION

Buildings are built and arranged in the same way. In these 3 storey buildings, there is living spaces on the ground floor. The only adaptation that could be noticed is that the building is above a few steps (approximately 30 cm). In term of material, the buildings are in concrete and seems to have suffered a lot by recent flood. Walls are not in a good state.



LIG BUILDING IN KOTTURPURAM SLUM CLEARANCE COLONY

Formed in 1947 the Tamil Nadu Housing Board was created in order to cope up with the increasing demand in housing sector all over the state due to urban growth leading to migration to urban areas in search of employment opportunities. The old tower block, in Nagaman colony, was built and is one of the first tower of Chennai. It is located in front of the Kottivakam area, in the other side of the river. It was created for MIG inhabitant and it is representative of the



DISTANCE BETWEEN THE AREA AND THE HOSPITAL

A SPARSE AREA

In front of the Kottivakam area, the old tower block are exposed to the river in a same way because it is located just next to the Adyar river, the flood hazard is high. On the other hand, the closest hospital is at only 500 m. Also, The land occupancy is low with a factor of only 45%, the buildings have spaces between each other because of the gardens, it is better for the water to flow during the monsoon.

CAR CONNECTION

Streets are composed by lanes made for cars circulation, with a width of 13 meters. In term of density there is less street compare to the LIG there is less streets. Also, all the block is surrounding by public places, children square, unused land, an outside zone to do sport. These three factors have lees impact on the flood than the LIG and are more adapted to the flood event.



ROAD NEAR THE OLD TOWER BLOCK



THE OLD TOWER BLOCK

ADAPTED BUILDING

Even if the tower is taller and different from the surrounding buildings, the other construction have the same characteristics in term of flood adaptation. All the ground floor is only used as a garage, the living spaces are located at least on the first floor, and then protected from the flood. The buildings are in good conditions and there is no special protective layer in the walls.

The MRC Nagar neighbourhood is location of many rich residence of Chennai. Rani Meyyammai Towers are one of them, it were built in 2006 by a private builder and it is composed by 10 storey towers. The residence is full of facilities for the inhabitant, swimming pool, sport room, children square.



DISTANCE BETWEEN THE AREA AND THE HOSPITAL

THE RIVER MOUTH LOCATION

This block is the closest to the river and it is downstream compared to the other zones, it is located in the river mouth. The flood hazard is then very high in this area. However, in the other hand the hospital is much closer than the other area. It is only at 150 m connected by a big road. Around the area there is still some construction, but the land occupancy (with a ratio of 55%) is for the moment higher than the MIG zone if the construction site is not taking into account.

CAR MADE AREA

In term of street width and density, the area is well organised. All the area is accessible by car. Big avenue that are used to connect the buildings. The street are then very large with an average width of 20 m. This type of urban tissue is suitable for the evacuation of the flood, but it also increases the velocity of the water and become very dangerous.



AVENUE NEAR THE AREA



ONE OF THE RANI MEYYAMMAI TOWERS

VULNERABLE LOCATION

The most important characteristic of building adaptation, the height of the living space are not fulfilled by the Rani Meyyammai Towers. Indeed, the ground floor is very low and it is used as flat or facilities for the residence. The black paint is a protective layer for the walls, but it can't ensure that the building is totally sealed. The towers are then more vulnerable than the old tower block in the Nandaman extension colony.

CONCLUSION

The fast growth of Chennai have an impact in the river. One of the impact is the flood risk. Urbanization is a factor of both vulnerability and hazard. Indeed, the soil sealing increase the amount of surface water, and then increase the recurrence of the flood. Urbanization in possibly flooded area make the building vulnerable to the floods.

Chennai is a city surrounded by water bodies. These water bodies have high flood hazard because of the monsoon. The purpose of this project was to understand how the city is connected to the river. To do so, a study of the adaptation of the city to the river have been made. The assumption was that the HIG zones of the city are more adapted than the other part of Chennai.

To validate this assumption, three zone with three different typology have been chosen, the LIG zone in Kotturpuram, the old tower block for the MIG zone and the Rani Meyyammai towers for the HIG zone. For these three areas, a typology have been made and the adaptation factors have been calculated. These factors are regrouped in a table and the zones are compared with each other.

Multiple actions can be used to counter the flood risk, to answer the problematic, four adaptations in each zones have been studied :

- Elevation of the building
- Low building density
- Large roads
- Distance to the medical center

Zones	Land occupancy	Height of the living space (m)	Street Width (m)	Distance to the medical center (m)
LIG	80 %	0.4	5	2200
MIG	0.45	4	12	500
HIG	0.55	0	20	150

We can see in this table that the MIG zone is the most adapted zone. A low land occupancy factor and the garage in the ground-floor or the building are two important factors of adaptation. The hypothesis is then false because the HIG area is not the most adapted. We can conclude that there is not a planned adaptation of the river in Chennai. Moreover, adaptations that have been observed in the three zones are not specifically flood adaptations. Density, road and garage, are adaptations to the cars uses and not the flood.

CITERES

UMR 6173
*Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés*

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement,
Paysage,
Environnement



35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :

Vedelli Laura
Verdamuthu Ranee

COLLE Valentin

Projet de Fin d'Etudes
DA5
2015-2016

Relation Ville-Fleuve : Adaptation au risque inondation

Résumé : Ce projet s'inscrit dans le programme de recherche Arcus, qui a pour but d'étudier la relation entre la ville et le fleuve. Le risque inondation est l'un de ces liens. Dans cette étude, l'adaptation de la ville face au risque est analysée dans le cas de la ville de Chennai. Pour cela une approche par typologie urbaine et architecturale est utilisée, pour analyser trois zones avec des populations de milieux sociaux différents. Dans ces zones, la présence ou non de facteurs d'adaptation est vérifié, et le résultat est utilisé pour comparer entre eux les différents quartiers. Ainsi l'adaptation de la ville au risque inondation est vérifiée.

Mots Clés : Risque, Inondation, Inde, Typologie, Architecture