Norois
Environnement, aménagement, société

201 | 2006/4
Dynamiques fluviale et littorale, activité viticole

Endiguements et risques d'inondation en milieu tropical. L'exemple de l'île de la Réunion

Dykes and Risks of torrential flooding in a tropical zone. The exemple of Reunion Island

David Lorion

Édition électronique
URL : https://journals.openedition.org/norois/1753
DOI : 10.4000/norois.1753
ISBN : 978-2-7535-1549-9
ISSN : 1760-8546

Éditeur
Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée
Date de publication : 1 décembre 2006
Pagination : 45-66
ISBN : 978-2-7535-0407-3
ISSN : 0029-182X

Référence électronique
David Lorion, « Endiguements et risques d'inondation en milieu tropical. L'exemple de l'île de la Réunion », *Norois* [En ligne], 201 | 2006/4, mis en ligne le 01 décembre 2008, consulté le 13 janvier 2022. URL : http://journals.openedition.org/norois/1753 ; DOI : https://doi.org/10.4000/norois.1753

© Tous droits réservés

Norois, n° 201, 2006/4, p. 45-66

Endiguements et risques d'inondation en milieu tropical
L'exemple de l'île de la Réunion

David Lorion
Université de Saint-Denis (île de la Réunion), Département de Géographie,
12, rue Serge-Cadet – 97 427 Étang-Salé-les-Bains
david-joseph.lorion@wanadoo.fr

Résumé
L'île de la Réunion (Océan Indien) possède tous les records mondiaux de pluviométrie entre 12 heures et 15 jours. Ces pluies de grande intensité d'origine cyclonique ou liées aux advections de masses nuageuses très humides génèrent de graves inondations. Les crues brutales dans des ravines peu profondes sur des planèzes récentes et les divagations torrentielles sont fréquentes pendant la saison cyclonique. Les plaines d'ennoyage littorales et les côtes basses ont été à de nombreuses reprises submergées par les eaux marines. Le débordement des mares dans les îlets des cirques volcaniques constitue un réel danger. Cependant face à ces différents aléas seuls les espaces urbains littoraux, notamment le chef-lieu Saint-Denis, ont « bénéficié » d'importants investissements pour des endiguements systématiques. Cette volonté politique régulièrement renouvelée dans les contrats de plan État Région depuis 1980 (cyclone Hyacinthe) a favorisé l'urbanisation et a créé une vulnérabilité extrême derrière les digues. Dans ce département d'outre mer balayé par les cyclones tropicaux, l'utopie sécuritaire a engendré un risque d'inondation nouveau et important pour les décennies à venir.

Mots-clés : Endiguements – Île de la Réunion – Inondations – Milieu tropical – Risques d'inondation – Urbanisation.

Abstract
Dykes and Risks of torrential flooding in a tropical zone. The exemple of Reunion Island
Reunion Island (Indian Ocean) holds all the world records for pluviometry (between 12 hours and 15 days). These highly intense rains are either of cyclonic origin or linked to advections of very humid cloud formations and generate serious floods. Brutal rising of water levels in shallow ravines on recent planezes (lava plateaux) and torrential divagations are frequent. The coastal flood plains and the low coasts have been submerged by sea water on several occasions. The overflowing of ponds in the volcanic mountain hamlets represents a real danger. However, faced with these different hazards only the coastal towns and more precisely the capital Saint Denis have benefitted from heavy investments in dykes. This political decision, regularly renewed in regional planning contracts since 1980 (Cyclone Hyacinth) has created urbanization and led to extreme vulnerability behind the dykes. In this overseas departement swept by tropical cyclones, for safety's sake, a new and intense risk of flooding has been created for decades to come.

KEY-WORDS : *Dykes – Floodings – Reunion Island – Risks of flooding – Tropical Zone – Urbanisation.*

Les inondations du 30 août 2005 de la ville de la Nouvelle Orléans après les ruptures des digues du lac Ponchartrain ont montré la faillibilité des endiguements. C'est pourtant ce choix qui a été fait dans de nombreux territoires soumis aux mêmes aléas. Le cas de l'île de la Réunion, département français d'outre mer de l'océan Indien est révélateur d'une politique d'endiguement choisie et menée tambour battant depuis 1980. Chaque inondation récente, Clotilda en 1987, Firinga en 1989, Colina en 1993, Hollanda en 1994, Dina en 2002, a relancé la fièvre de l'endiguement et la nécessité de trouver des financements permettant de réaliser des travaux souvent jugés grandioses et coûteux. Cette politique génère ses propres pièges avec le sentiment de sécurité qu'elle procure et la tentation de l'urbanisation de nouveaux espaces. Justifiée à la fois par des inondations certes moins fréquentes et l'affichage des débits de crue décennale ou centennale bien inférieurs aux capacités de submersion des ouvrages de protection, la construction des digues devient par elle-même l'affirmation d'une certaine politique d'aménagement voulue par les édiles et demandée par la population. La prise de conscience récente de la difficulté d'entretenir ces digues de protection et les conséquences souvent dangereuses sur l'hydrosystème fluvial ont amené le gouvernement français à intervenir de manière législative pour limiter les constructions nouvelles dans les zones d'expansion de crue. La présence des digues récemment construites, notamment dans les quartiers est de Saint-Denis (Butor, Chaudron, etc.) rend d'autant plus difficile l'application des nouvelles réglementations plus restrictives qu'il n'y pas eu de réelle vulgarisation cartographique des zones à risque et d'informations préventives sur les inondations. Nous présenterons dans cet article le contexte général climatique, hydrologique et topographique qui engendre les différents types d'inondation, puis le programme d'endiguement mise en place depuis 1980 qui a favorisé la localisation dans des zones inondables des milliers de nouveaux logements et des activités économiques.

Quand l'avalasse nous tombe sur la tête !

La Réunion détient tous les records mondiaux d'intensité pluviométrique entre 12 heures et 15 jours car les conditions de la cyclogenèse sont régulièrement réunies en été austral dans la zone tropicale de l'océan Indien (Robert, 1986). Cependant on aurait tendance à croire que seuls les cyclones peuvent générer des pluies de grande intensité. Nous savons maintenant que dans certains contextes atmosphériques des pluies très intenses peuvent provoquer des dégâts comparables.

LES PLUIES D'ORIGINE CYCLONIQUE

Les fortes pluies liées au passage d'un cyclone tropical associées à des rafales de vent et de très basses pressions atmosphériques peuvent avoir des conséquences désastreuses lors des crues torrentielles. Les masses nuageuses s'organisent autour d'un œil en bandes spiralées plus ou moins régulières et engendrent des pluies de grande intensité sur quelques heures. Sur des sols complètement saturés, cette succession d'averses favorise les crues qui rayonnent sur les planèzes et débordent dans les secteurs de piémont ou dans les plaines littorales (Lorion, 1999). Il est difficile dans ce contexte de prévoir ou de localiser les risques d'inondation lors du passage d'un cyclone tropical (Hoareau, 1994).

Le cyclone Firinga, par exemple a traversé l'île de part et d'autre le 29 janvier 1989. L'œil suivi au radar se trouvait à 11 heures à proximité des côtes nord-est de l'île puis disparaît pendant une heure avant de se reconstituer au large des côtes ouest. L'énorme masse nuageuse de 400 km de diamètre

emportée dans un mouvement tourbillonnant est ébranlée notamment dans ses basses couches par l'influence des fronts orographiques particulièrement saillants au cœur des massifs volcaniques. Il est tombé sur le petit village de Grand Îlet dans le cirque de Salazie 1 227 mm en 24 heures avec pour conséquence des glissements de terrains et des maisons emportées. Ces fortes intensités pluviométriques s'expliquent par l'affrontement entre le « mur de l'œil » qui est la zone la plus active car à la vitesse de déplacement du cyclone s'ajoute celle du vent et les remparts du cirque de Salazie qui se dressent verticalement avec un dénivelé de plus de 1 000 m. L'autre secteur concerné par des pluies de forte intensité se situe sur les hauteurs du Massif de la Fournaise. À la Crête à Saint-Joseph, il est tombé 235 mm en 3 heures, 600 mm en 6 heures, 1 030 mm en 24 heures Au sommet du Piton de la Fournaise à la station du gîte du Pas de Bellecombe, les précipitations ont atteint 1 309 mm en 24 heures (fig. 1). L'effet venturi lors du passage dans l'ensellement entre les deux massifs volcaniques provoqua une accélération du vent qui atteignit une vitesse de 216 km/h à Saint-Pierre. Sur toutes les autres stations de la Plaine des Cafres les records d'intensités pluviométriques sur un et deux jours ont été dépassés le 28 et 29 janvier 1989 (Robert, 1990). Les plus graves inondations furent relevées dans le sud notamment dans les communes de Saint-Pierre et du Tampon à cause des embâcles et des divagations torrentielles (Lorion, 1995).

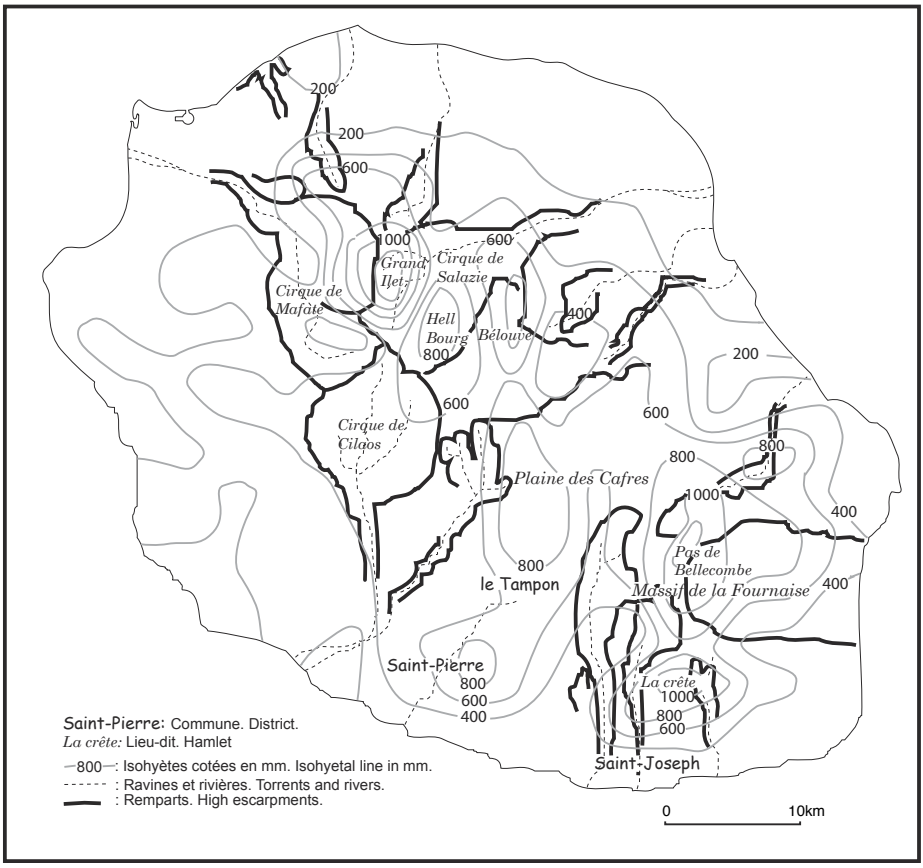

Figure 1 : Hauteur des pluies en 24 heures lors du passage du cyclone Firinga le 29 janvier 1989 (Source : Service Météorologique Régional de la Réunion)

Rainfall for 24 hours during hurricane Firinga on January 29th 1989 (Origin : Meteorological office of Reunion island)

Les pluies très intenses non cycloniques

Plus que les pluies cycloniques qui sont annoncées par des alertes spécifiques, les autres précipitations de grande intensité « hors saison cyclonique » ou n'étant pas liées directement à un cyclone, sont aussi à l'origine de crues éclairs parfois dramatiques (Barcello *et al.*, 1997). Par exemple, les trois épisodes pluvieux du début de l'année 1993 ont permis des comparaisons intéressantes. Après le passage du cyclone Colina le 19 janvier, c'est la dépression Finella qui passe à plus de 150 km à l'ouest de l'île et qui arrose copieusement le nord et surtout l'est de l'île. Le 14 février dans la commune de Saint-Benoît et sa périphérie, des précipitations et des crues éclairs exceptionnelles sont observées (tableau 1).

1 heure (8 h 30 à 9 h 30)	122 mm
3 heures (8 h 30 à 11 h 30)	388 mm
6 heures (6 heures à 12 heures)	533 mm
24 heures (1 h 30 le 14 février à 1 h 30 le 15 février)	1 074 mm

Tableau 1 : Hauteur des précipitations à la station de Beaufond à Saint-Benoît le 14 février 1993 (Source : Météo-France)
Rainfall during the tropical depression Finella on February 14th 1993 at Beaufond Saint-Benoît (Origin : Meteorological office of Reunion island)

Le caractère de ces précipitations peut être mis en valeur par la comparaison des séries pluviométriques journalières entre 1952 à 2005 sur Beaufond. Le maximum sur cette période de 53 ans s'élevait à 373 mm pendant le cyclone Firinga en 1989, le nouveau record s'établit entre le 14 et le 15 février 1993 de 7 heures à 7 heures à 893 mm (fig. 2). Ces phénomènes très ponctuels ont été observés sur des secteurs géographiques bien délimités. Par exemple, le 1er mai 1987 à Saint-Joseph, il est tombé entre 80 et 100 mm en une heure causant le débordement de la ravine Jean Petit qui traverse le centre-ville. Le 12 février 1990 à Sainte-Suzanne et Saint-André, des averses d'intensité supérieure à 60-70 mm/h provoquent des crues éclairs dans des « ravines poubelles ». Les 28 et 29 novembre 1991 dans les hauts de Sainte-Rose, on mesure plus de 300 mm en 3 heures et la hauteur de la crue dans la rivière des Roches est montée de 4 m en 1 h 30. Lors de l'épisode de Finella le 14 février 1993, le niveau atteint par la crue de la rivière des Roches se situe à 11,2 m, dépassant ainsi le record de la crue du cyclone Clotilda en 1987 mesurée à 10,2 m. Les débits calculés pour le 14 février 1993 atteignent plus de 850 m^3/s et une valeur de 35,4 $m^3/s/km^2$ pour le débit spécifique. D'après les courbes d'ajustement, ces dernières valeurs seraient de période de retour de 35 à 40 ans. Sur des petits bassins versants dans les secteurs agglomérés fortement imperméabilisés, les débits spécifiques peuvent atteindre plus de 45 $m^3/s/km^2$. Ces valeurs correspondent aux records mondiaux (Observatoire Réunionnais de l'Eau, 1993).

Ces averses sont la conséquence de situations météorologiques différentes et dont les évolutions sont parfois difficilement prévisibles dans le milieu insulaire tropical. Les fortes pluies sont possibles pendant l'hiver austral, notamment lors du passage des fronts froids dans les secteurs sud de l'île, mais rarement elles n'ont l'efficacité des averses de la saison chaude. On observe ainsi des masses nuageuses et pluvieuses très actives qui circulent dans le flux d'alizé et qu'on nomme d'habituellement l'onde d'est. L'instabilité de cette masse nuageuse peut-être accrue quand l'inversion thermique est très haute. D'autre part le basculement saisonnier dans l'océan Indien austral amène aux confins de l'île de la Réunion des cellules très actives constituées de cumulonimbus pouvant générer des averses violentes, ponctuelles et localisées sur le littoral notamment au nord et nord-est. Enfin comme pour l'épisode de Finella, le passage de dépressions tropicales à l'ouest de la Réunion peut avoir pour conséquence de renforcer les flux qui amènent des masses d'air chaudes déjà très actives au contact de l'île. Cette dernière situation peut se combiner avec l'advection des masses nuageuses qui circulent dans le flux d'alizé et qui en réponse à l'approche

au sud de Madagascar d'un couloir dépressionnaire changent de direction et affectent alors l'est et le nord-est de l'île en provoquant de copieuses averses.

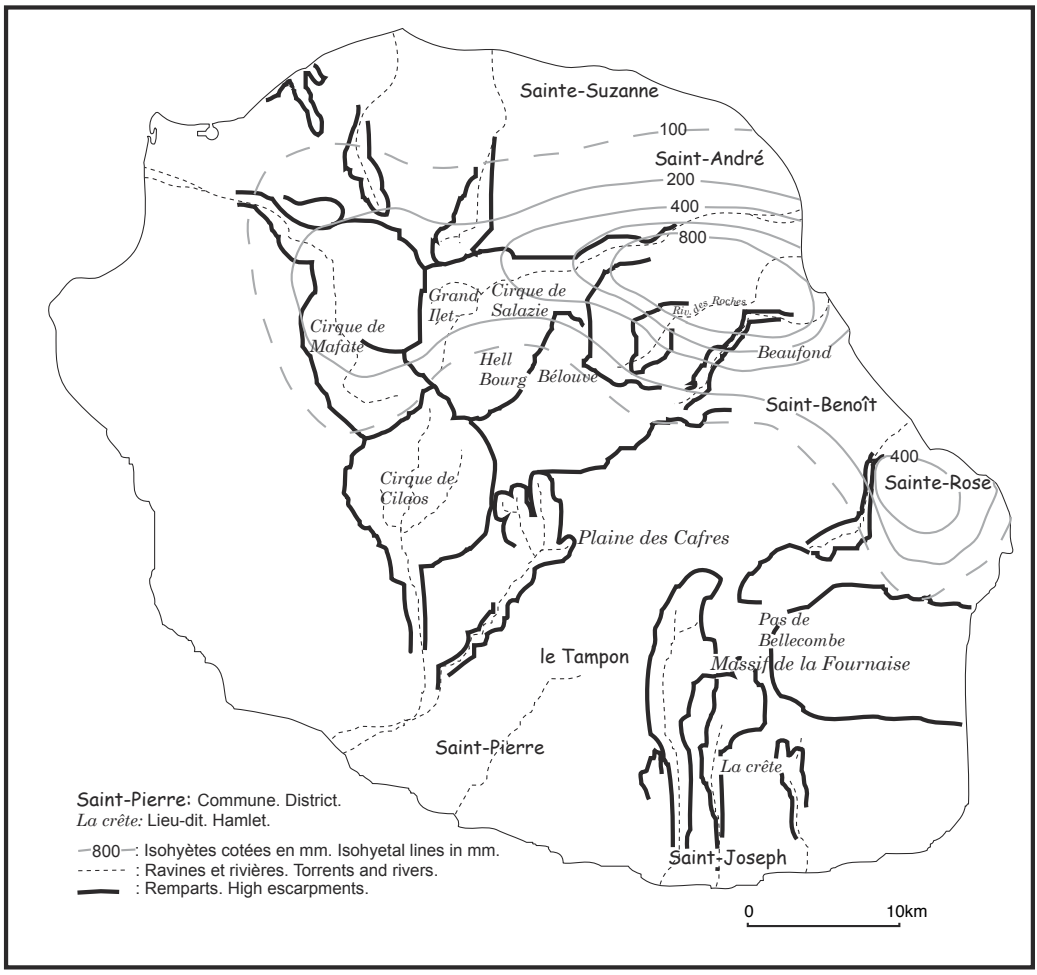

Figure 2 : Hauteur des pluies en 24 heures lors du passage de la dépression tropicale Finella le 14 février 1993 (Source : Observatoire Réunionnais de l'Eau, 1993)
Rainfall for 24 hours during the tropical depression Finella on Februry 14th 1993 (Origin : Water Office of Reunion island)

Des pluies aussi intenses et fréquentes ont naturellement marqué les esprits des naturalistes des siècles passés. Longtemps on a désigné ces pluies sous le terme d'avalasse [1]. J. Defos du Rau (1960) définissait les avalasses comme « des pluies torrentielles qui tombent sans arrêt pendant plusieurs jours sans être accompagnées par un cyclone passant sur l'île. En fait elles sont dues souvent à des cyclones passant au loin ». La notion d'avalasse rassemble dans le même temps deux

1. Avalasse : n. f. mot créole signifiant une inondation consécutive à des pluies torrentielles. Le terme apparaît dès le début du XIX[e] siècle dans la littérature réunionnaise et continue à être fréquemment utilisé. Simon Lucas attire l'attention de José Pina, maire de l'Étang-Salé, dans une longue lettre ouverte sur les « dangers éventuels des avalasses de l'hivernage et des cyclones de l'été tropical », *Le Quotidien* 19 juillet 1991. L'étymologie fait référence aux dialectes des régions de l'Ouest de la France et il signifiait cyclone, ouragan, coup de vent mais trouve aussi son origine dans la notion de val et d'aval et d'écoulement en chasse d'eau après des pluies de forte intensité.

phénomènes distincts, d'une part des pluies intenses et d'autre part des inondations. Les averses et les débordements de ravines apparaissent concomitants tant le décalage temporel est faible, d'un quart d'heure à quelques heures, entre le début des pluies et le pic de crue. Ce phénomène est la conséquence de la petitesse des bassins versants et le système des pentes qui accélère tous les transferts. Cette notion d'avalasse est donc particulièrement bien appropriée pour décrire les inondations d'origine torrentielle dans le contexte géographique réunionnais.

Les différents types d'inondation à l'île de la Réunion

LES « DÉBOULÉS » ET LES DÉBORDEMENTS DES « MARES » SUR LES ÎLETS DANS LES CIRQUES

Les cirques volcaniques qui se sont formés dans la partie sommitale du massif du Piton des Neiges trouvent leurs origines dans l'érosion des constructions volcaniques très fragiles (fig. 3). Ils se sont dotés au fur et à mesure d'exutoires, puis se sont encaissés et élargis en isolant dans les cirques des replats et des plateaux de faible extension appelés localement les *îlets* qui sont régulièrement victimes de glissements de terrains connus dans les cirques volcaniques de la Réunion sous le nom de « déboulés » (Haurie, 1987). Les îlets correspondent à des surfaces planes sur lesquelles on observe fréquemment des nappes temporaires ou permanentes affleurantes, des zones d'hydromorphie, des dépressions régulièrement inondées, qui sont dénommés indifféremment sous le terme de mares. Ces mares se remplissent jusqu'à déborder lors des épisodes pluvieux provoquant de graves inondations. Nous pouvons retenir deux exemples pour illustrer ce risque particulier.

En février 1872, on mesura plus de 5 mètres d'eau sur le Plateau des Étangs dans le cirque de Cilaos. L'administration des Ponts et Chaussées voulut mieux protéger les habitants en creusant un canal qui vidangerait les eaux de la Mare à Joncs lorsque celles-ci menaceraient de déborder. Les calculs des ingénieurs prévoyaient que ce canal de drainage s'approfondirait par érosion naturelle au fur et à mesure des écoulements. Mais deux ans plus tard, Les pluies du 26 au 27 mars 1874 faillirent provoquer beaucoup plus de dégâts qu'avant l'intervention des Ponts et Chaussées. Le Docteur Mac Auliff nous raconte cet épisode qui marqua les esprits des habitants du plateau de Cilaos : « Pendant la nuit du 26 au 27 mars 1874, après plusieurs jours de pluie diluvienne, il se produisit un éboulis sur l'une des rives de la tranchée, éboulis qui vint former un barrage et empêcher complètement l'écoulement des eaux que l'on avait cru désormais assuré ; bientôt il y eut sur le plateau, tout comme autrefois en pareille circonstance, 7 ou 8 mètres d'eau » (Mac Auliff, 1902). Quelques heures plus tard, l'obstacle céda entraînant l'effondrement d'une partie du rempart. Cette cicatrice est toujours visible aujourd'hui. Depuis cette date un canal en béton assure la vidange de la mare à Jonc mais on peut encore craindre une mise en charge rapide et des hauteurs importantes dans le village de Cilaos.

En janvier 1980 lors du passage de la dépression tropicale Hyacinthe qui dura 5 jours consécutifs avec des pluies d'intensité remarquable, on a enregistré jusqu'à 5 240 mm sur Grand Îlet dans le cirque de Salazie. La mare de Bois de Pomme se gonfla rapidement et atteignit approximativement les 100 000 m^3. Après les pluies de 1993, le géologue J.-L. Haurie préconisa, à défaut de déplacer les personnes en danger, de vidanger la mare en créant des exutoires. Le dossier fut mis en attente car on jugeait que les pluies de 1993 étaient de retour centennal. Des pluies aussi importantes s'abattirent sur Bois de Pomme seulement 5 ans plus tard en février 1998 ! Depuis cet événement, les quelques dizaines de personnes de l'îlet Bois de Pomme sont déplacées à chaque forte pluie.

SUBMERSIONS DES TERRASSES ALLUVIALES À GALETS ET DES CÔNES DE DÉJECTION

La formation des cirques a entraîné le départ d'un important volume de matériaux volcaniques qui s'est déposé à l'embouchure des rivières pour former les grands cônes de déjections torrentielles et les plaines littorales (fig. 3). Ils marquent la morphologie littorale de l'île par la superficie

qu'ils occupent, environ 30 km² pour les plus vastes. Les autres grandes rivières creusées directement sur les planèzes ont, elles aussi, engendré des constructions analogues mais moins vastes. On peut distinguer trois types de cône de déjection torrentiel en fonction de leur extension et de la fréquence des submersions (Raunet, 1991).

Au débouché des cirques volcaniques, les grands deltas d'alluvions à galets s'étalent sur environ 2000 ha. Les débordements et les divagations sont rares mais pas impossibles. Actuellement seul le delta de la rivière des Galets est soumis à une pression urbaine importante et a fait l'objet d'un colossal endiguement.

Au débouché des grandes vallées du Massif de la Fournaise, les cônes de déjection sont partiellement recouverts par des coulées de lave récentes (moins de 2000 ans) et une alimentation importante en alluvions à galets. L'instabilité des versants est à l'origine des embâcles dans la rivière de l'Est en 1860, en 1925 et dans la rivière des Remparts en 1965 (éboulement de Mahavel). Le lac qui s'est formé derrière les remblais aurait pu en cédant brutalement provoquer une coulée de débris.

Les autres cônes de déjection concernent pour l'essentiel les plaines alluviales à galets de Saint-Denis et de Saint-Benoît. Plusieurs cônes de déjection coalescents se sont développés depuis la rivière Saint-Denis jusqu'à la rivière des Pluies. Les divagations torrentielles entre la ravine du Butor et celle de Patates à Durand d'une part et entre la ravine du Chaudron et la rivière des Pluies d'autre part ont été fréquentes au cours des deux derniers siècles. Actuellement ces espaces accueillent une urbanisation toujours plus dense se sentant à l'abri derrière des digues qui ont déjà montré à plusieurs reprises leur faillibilité.

Les terrasses alluviales à galets sont nombreuses dans le fond des grandes rivières. Elles sont liées à l'abaissement du niveau de base relatif du lit de la rivière dans ses remblais qui évoluent alors en terrasses alluviales à galets. Souvent terre de refuge, ces terrasses portent encore quelques fois les ruines des anciennes installations balayées par une crue torrentielle. Par exemple, à l'îlet Quinquina dans la rivière des Pluies, quelques familles vivent encore aujourd'hui menacées à chaque saison cyclonique par les crues. Dans le fond de la rivière Saint-Denis, la rivière a débordé à six reprises au cours du XIX^e^ siècle et cinq fois pendant le XX^e^ siècle sur les terrasses d'alluvions à galets détruisant les maisons, les équipements industrielles et artisanales, les ponts et autres ouvrages. Après les programmes immobiliers des 20 dernières années, ces terrasses sont actuellement les plus densément urbanisées en comparaison des autres quartiers de la ville de Saint-Denis !

INONDATIONS DANS LES PLAINES D'ENNOYAGE LITTORALES

Situées dans une gouttière entre les pentes terminales des planèzes et les cordons dunaires d'accumulations de sables basaltiques ou madréporiques, les plaines d'ennoyage littorales sont soumises en même temps aux fluctuations de la mer, des rivières et de la nappe phréatique. Souvent de faible superficie comme à Saint-Leu ou à Sainte-Marie, ces plaines d'ennoyage littorales peuvent prendre plus d'ampleur lorsqu'elles jouxtent les grands cônes de déjection torrentiels (fig. 4). Les petites plaines ont été remblayées mais il subsiste parfois un étang côtier qui se maintient grâce à la présence à moins de 2 mètres de profondeur d'une nappe phréatique. La remontée du niveau de cette nappe superficielle et les difficultés d'écoulement vers la mer engendrent une submersion plus ou moins étendue. Les inondations autour de l'étang de Saint-Paul ou de l'Ermitage illustrent de ce type de submersion. Dans le cas de l'étang de Saint-Paul, la construction d'une route digue en remblai dans les années 1970 entre la ville et l'étang perturbe les écoulements et aggrave les risques d'inondation dans les quartiers périphériques.

DÉBORDEMENTS DES LITS ROCHEUX DES RAVINES

Sur les planèzes récentes, les lits rocheux des ravines ont favorisé les débordements et les divagations. Ils provoquent une interconnexion complexe entre les ravines et modifient brutalement les

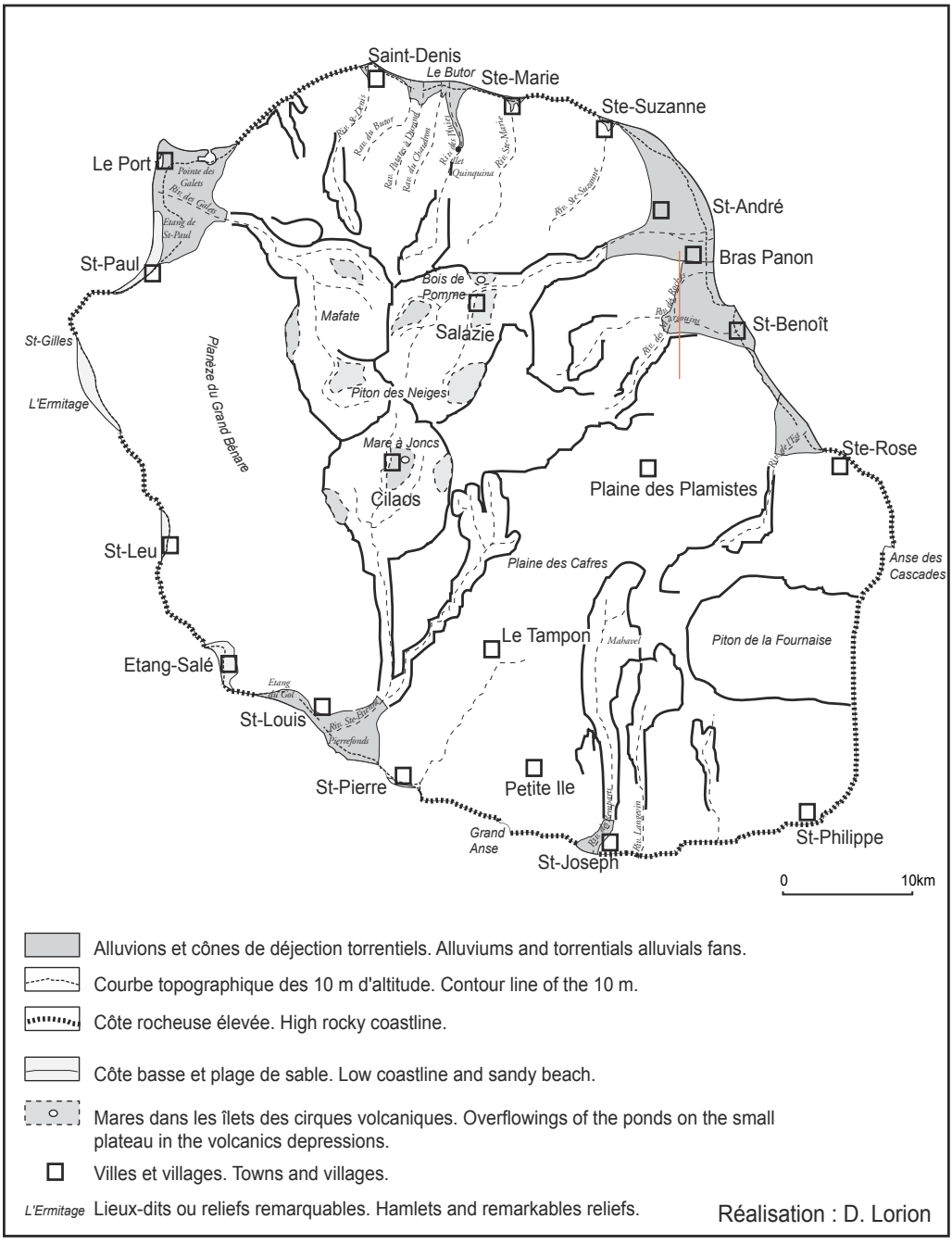

Figure 3 : Les côtes de l'île de la Réunion
The coastlines of Reunion Island

débits de crue. Dans certaines sections, ils mettent en relief l'insuffisance du dimensionnement ou la mauvaise conception des ouvrages de franchissement. Par exemple, la construction des « ponts cadre maçonnés » dont les piles s'accrochent sur le lit rocheux des ravines se sont révélés être de terribles obstacles pour les crues chargées en débris végétaux et autres matériaux. Étroits, souvent désaxés par rapport au sens du courant, ces ponts routiers rudimentaires ont été à l'origine de nombreux débordements notamment au Tampon et à Saint-Pierre pendant les crues du cyclone Firinga en 1989. Les radiers qui épousent le fond du talweg présentent moins de perturbations pour l'écoulement. Mais souvent les chaussées ont été relevées sur des buses pour améliorer le confort routier et permettre le rétablissement d'une circulation rapide au moment de la décrue. Mais l'obstacle des buses sous dimensionnées favorise les débordements qui suivent alors la pente la plus forte entre les bourrelets des anciennes coulées de la planèze. En traversant les espaces urbanisés, l'eau remplit les dépressions et les parkings souterrains, s'accumule derrière les murs de clôture ou traverse les jardins privatifs et déchausse les fondations des maisons. Comme nous avons pu le voir pendant Firinga en 1989, ce type d'inondation à caractère torrentiel et sporadique est meurtrier.

Les inondations pluviales urbaines sur les basses pentes des planèzes

Les inondations catastrophiques de Nîmes le 3 octobre 1988 ont mis en relief un des dangers des eaux qui sera sans doute très difficile à maîtriser (Davy, 1989). Après de longues décennies de travaux de voirie dans les villes, les capacités naturelles d'écoulement des eaux et d'expansion des crues ont été considérablement réduites (ministère de l'Environnement, 1994). Les agglomérations de la Réunion n'ont pas échappé à ces transformations qui ont abouti à la suppression des anciens talwegs. Pourtant de nombreuses villes, notamment Saint-Denis et Saint-Pierre rassemblent tant du point de vue climatique que topographique, tous les paramètres pour la formation de ruissellements pluviaux urbains destructeurs. Les caractéristiques pluviométriques, les pentes des planèzes, l'urbanisation rapide et les difficultés chroniques pour financer le renouvellement des réseaux d'eau pluviale placent les villes réunionnaises sur une échelle de risque maximum (Lorion, 2000).

Depuis 1992, les projets d'aménagement urbain doivent se soumettrent aux réglementations de la loi sur l'eau et au code de l'environnement depuis 1995. Les ouvrages qui desservent ces extensions urbaines sont dimensionnés pour laisser passer un débit d'une période de retour centennal. Mais ces nouveaux concepts ne s'appliquent pas à l'ensemble de la ville. Les réseaux existants multiplient les sections d'étranglement ou de dysfonctionnement. On peut citer l'exemple de la planèze du Brûlé délimitée par la rivière Saint-Denis à l'ouest et la ravine du Butor à l'est. Les terrains sont drainés par un ensemble de petites ravines (ravine Caca, ravine de la Source, ravine Montplaisir, et le Ruisseau des Noirs). Les trois premières se jettent dans le Ruisseau des Noirs qui joue le rôle de collecteur des eaux de la planèze. Le Ruisseau des Noirs n'est plus dimensionné pour recevoir les eaux pluviales des nombreux lotissements qui se sont développés en amont du quartier. La densité des habitations de chaque côté du canal du Ruisseau des Noirs et l'imperméabilisation des bassins versants engendrent une diminution des temps de concentration et créent les conditions pour des inondations catastrophiques dans le quartier de la Source. Pendant les pluies de Cécilia en décembre 1993, les débordements dans les jardins de la Providence à Saint-Denis avaient déjà montré les limites de ces anciens canaux d'eau pluviale. Pour une crue décennale, la plus forte augmentation de débit due à l'urbanisation entre 1990 et 2005 s'observe en valeur relative sur la ravine de la Source avec 47 %, soit 3,1 m^3/s, tandis que la plus forte augmentation en valeur absolue concerne la ravine Montplaisir, soit 7,1 m^3/s. Entre ces mêmes dates, à l'exutoire du Ruisseau des Noirs les estimations de débits de crue décennaux passent de 43,8 m^3/s à 54,7 m^3/s et celles des débits de crue centennaux de 57,6 m^3/s à 72,1 m^3/s (direction départementale de l'Équipement, 1990). Depuis 1990, l'urbanisation des basses pentes de la planèze du Brûlé a été conforme aux prévisions des bureaux d'études, ainsi que l'imperméabilisation des surfaces des

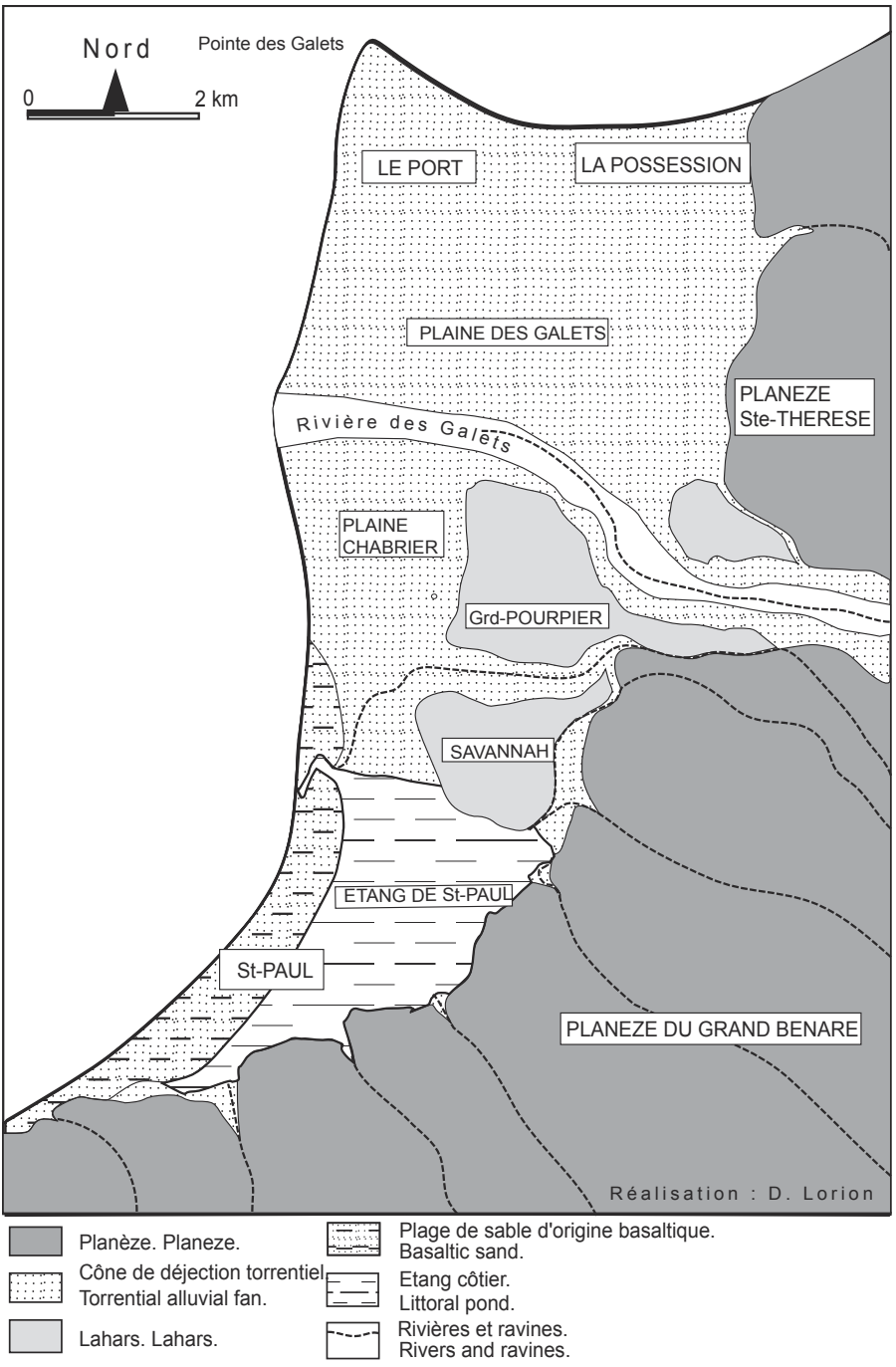

Figure 4 : Organisation des paysages autour du cône de déjection torrentiel de la rivière des Galets (Source : M. Raunet, 1991)

Organisation of landscape around the alluvial fan of the rivière des Galets (Origin : M. Raunet, 1991)

nombreux lotissements. Par contre les capacités d'écoulement du Ruisseau des Noirs n'ont pas changé dans le quartier de la Source (photo. 1) et les risques d'inondation par débordement sont actuellement plus importants qu'en 1990.

Photo 1 : Canal du Ruisseau des Noirs dans le quartier de la Source à Saint-Denis (cl. D. Lorion, 2006)
Canal of Ruisseau des Noirs in the district of la Source in Saint-Denis (D. Lorion, 2006)

LES SUBMERSIONS DU LITTORAL

Les submersions du littoral peuvent avoir une double origine, d'une part les submersions marines et d'autre part les conséquences de l'élévation du niveau de la mer qui engendre des débordements à l'embouchure des cours d'eau. Les invasions d'eau de mer sur la terre ferme peuvent être dues à trois phénomènes distincts.

D'une part la houle cyclonique est formée par les vents violents proches de l'œil du météore. Le secteur le plus dangereux se situe à gauche de sa trajectoire dans l'hémisphère sud. La houle se propage plus vite que le cyclone et se transforme en vagues déferlantes de plusieurs mètres de haut à l'approche des côtes. La houle constitue une menace car elle est associée à une élévation anormale du niveau marin due aux faibles pressions cycloniques. Les données du marégraphe du port de la Pointe des Galets ont permis de calculer la partie du signal due à la marée astronomique et celle liée aux effets des faibles pressions atmosphériques. Le marnage des marées est d'environ 1 m et la surcote maximum mesurée ne dépasse pas 50 cm pour les récents cyclones. Ces valeurs assez faibles s'expliquent par l'absence de plateau continental autour de la Réunion (tableau 2).

Cyclones récents	Hauteur de la surcote
Hyacinthe 1980	36 cm
Clotilda 1987	35 cm
Firinga 1989	30 cm
Colina 1993	49 cm
Hollanda 1994	40 cm

Tableau 2 : Hauteur de la surcote mesurée à la Pointe des Galets lors du passage des cyclones tropicaux (Source : Météo France)
Height of the surge of the sea on the Pointe des Galets during the tropical hurrican (Origin : Meteorological office of Reunion island)

Cependant bien que la marée astronomique n'a que peu d'amplitude autour de l'île de la Réunion, l'intumescence à la surface de l'océan et la houle peuvent à eux trois faire se soulever la mer de 10 m au-dessus de son niveau habituel. En effet, la hauteur de la houle dépend directement de la vitesse des vents cycloniques et de la trajectoire du météore par rapport à l'île. Les houles d'une hauteur de 8,5 m sont fréquentes lors du passage d'un cyclone proche de la Réunion. Les vagues déferlantes provoquent alors la destruction de la barrière de dunes du haut de plage et des inondations des plaines littorales. L'autre conséquence de l'élévation du niveau de la mer est un ralentissement de l'écoulement et une forte sédimentation à l'embouchure. Les ravines

mêmes endiguées débordent et inondent de vastes espaces (photo 2). Le cyclone crée, en raison l'interaction des phénomènes météorologiques et océaniques, un contexte favorable aux crues et aux inondations.

D'autre part la houle australe est souvent considérée à tort comme un phénomène naturel de faible puissance provoquant quelques belles vagues au cœur de l'hiver. Les gerbes d'écume qui jaillissent des falaises basaltiques doivent nous rappeler que sur les côtes basses, les aménagements sur les hauts de plage peuvent être détruits, notamment dans les régions sud et ouest de l'île. Par exemple, les vagues liées à l'arrivée de la houle polaire du 23 septembre 2006 d'une hauteur de 8 mètres ont fait plus de dégâts sur le littoral ouest et sud que le tsunami du 26 décembre 2004. En effet, plusieurs bateaux ont été chavirés et le muret de protection édifié sur la plage de l'Étang-Salé les bains, il y a maintenant plus de 20 ans, a été emporté. Aucune houle cyclonique n'avait encore réussi à démolir ce mur pendant cette période.

Les séismes sous-marins peuvent générer de la houle qui se transforme en vagues déferlantes à l'approche des côtes. En 1863 au moment du séisme régional, des mouvements inhabituels de flux et de reflux de la mer avaient marqué l'esprit des populations. Le tsunami du 26 décembre 2004 au large de l'Indonésie ressenti jusque sur les côtes réunionnaises, notamment dans les ports de plaisance de Saint-Gilles et de Saint-Pierre, nous a donné une idée de l'impact que pourrait avoir un séisme sous-marin différent ou plus proche de nos rivages. En effet lors du tsunami de 2004, la hauteur de la houle dans les ports de la Réunion n'a pas dépassé 2 mètres car l'orientation NNS/SSE de la faille au large de l'île de Sumatra a favorisé une propagation de la houle vers les côtes somaliennes qui ont subi les effets dévastateurs des vagues déferlantes. Mais le même événement se produisant le long d'une faille orientée est-ouest au sud de l'île de Java ou au large du Pakistan aurait eu des conséquences plus graves avec des vagues de 4 à 5 mètres sur le littoral de la Réunion (Okal, à paraître).

Les tsunamis peuvent être déclanchés par l'effondrement en mer de masse de plusieurs km^3. L'instabilité des massifs volcaniques, notamment du Piton de la Fournaise sur son versant oriental pourrait engendrer des vagues de plusieurs dizaines de mètres de haut déferlantes d'une part sur les côtes réunionnaises mais aussi sur le littoral ouest de l'île Maurice. Les témoignages de ces effondrements brutaux et de grande ampleur ont été observés sur les fonds sous-marins tout autour de l'île de la Réunion (Oehler, 2005).

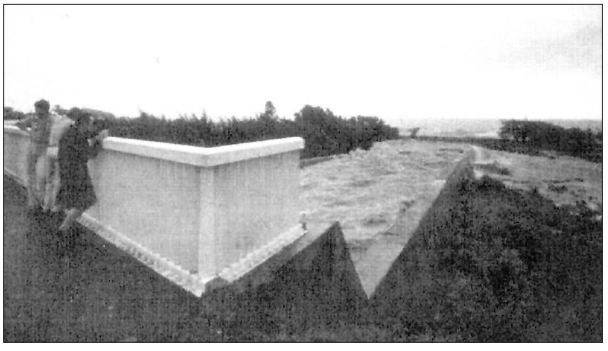

Photo 2 : Brèche dans la digue du canal de Patates à Durand (Source : Agence Oméga, 1980)

Opening in the dyke of the canal of Patates à Durand (Origin : Agency Oméga, 1980)

Si les conditions topographiques et bathymétriques de notre littoral mettent à l'abri des submersions marines une grande partie de nos rivages. Cependant il existe aussi des conditions favorables pour des inondations du littoral. Les zones basses au fond des baies de comblement, les côtes alluvionnaires à galets ou les cordons dunaires de sable noir ne pourraient constituer une protection efficace lors de l'arrivée d'un train de vagues d'une hauteur importante. La moitié des côtes réunionnaises est constituée par des plages ou des dépôts alluvionnaires dont l'altitude est inférieure à 10 mètres (fig. 4). Ce risque est actuellement sous-évalué au regard de l'impor-

tance de l'urbanisation littorale et d'une certaine sous-estimation de la fréquence de cet aléa. Les récits dans les archives témoignent pourtant des nombreuses submersions lors des cyclones passés. Actuellement les mêmes phénomènes pourraient engendrer des conséquences d'autant plus dramatiques que les constructions se sont avancées jusqu'aux limites des plages en y édifiant des murs de protection. L'artificialisation des rivages, la dégradation des dunes, la construction de digues, de jetées ou d'épis, ont des conséquences importantes sur l'équilibre des stocks de matériaux des plages. L'aménagement de certaines embouchures de ravines, comme celle de la ravine Saint-Gilles mériterait que la réalité actuelle du terrain soit confrontée avec les expériences du passé. La diversité des risques d'inondation sur l'île de la Réunion a été souvent oubliée au profit des seuls débordements des ravines notamment dans les sections urbaines.

Des réponses peu adaptées face à des risques d'inondations connus

Une logique d'assistance plutôt que de responsabilité

La réaction de la France métropolitaine face aux fréquentes catastrophes naturelles de ses colonies d'outre-mer s'est toujours traduite par un élan de solidarité nationale. Après chaque grand cyclone, cette générosité était d'autant plus attendue que ces territoires insulaires ne vivaient qu'au travers la logique d'assistance d'une mère patrie. Le montant des aides et des secours ne cessa d'augmenter tout au long du XIXe et du XXe siècle. Après les grandes inondations de 1844-1845, les administrateurs soucieux des liens politiques et sociaux qui devaient unir les populations coloniales à celles de la métropole, demandèrent des indemnités compensatrices des dommages de la colonie. L'estimation réalisée après les inondations du début de l'année 1844 donna le chiffre de 73 292 francs. L'une des préoccupations du Conseil Colonial était aussi de « secourir le plus grand nombre des malheureux[2] ». Les secours financiers et en nature qui furent distribués après une catastrophe naturelle devinrent au fur et à mesure du XIXe siècle un instrument politique. Tout un jeu d'influence entre les communes, le Conseil Colonial et le Gouvernement fut instauré. La fin du XIXe siècle vit l'apogée de l'organisation financière et administrative des secours d'urgence. Après le passage des cyclones de 1904 et 1905, les dégâts estimés par les responsables politiques de la colonie s'élevèrent à 10 millions de francs. Après le cyclone de 1930, les dégâts pour les particuliers, les bâtiments de la colonie, la société du chemin de fer et les communes, furent estimés à 25 millions de francs. Lors du cyclone de 1932 une subvention de 50 millions de francs fut votée par le Parlement pour la reconstruction des équipements et une ligne de crédit de 35 000 francs seulement fut consacrée à l'amélioration contre les crues. En réalité seul un secours de 10 millions de francs fut attribué et naturellement ces sommes furent très insuffisantes pour contenter toutes les victimes du cyclone.

La Réunion est devenue département français le 19 mars 1946 après avoir affronté deux terribles cyclones en 1944 et 1945. Mais celui qui sévit en 1948 fit de loin les dégâts les plus importants. On ne compta pas moins de 4 600 sinistrés au total. Un rapport officiel fit le décompte final des dégâts matériels après le passage du cyclone estimés à 2 milliards de francs CFA. Les sommes nécessaires pour les réparations étaient devenues tellement importantes, qu'elles ne purent plus être versées en une seule fois par le Gouvernement. Ce n'était plus seulement des secours d'urgence, mais une véritable reconstruction qu'il fallait entreprendre. Ce fut un véritable « Plan Marshall » qui fit suite aux trois grands cyclones de l'après-guerre. Cette aide s'inscrivait aussi dans un contexte international de décolonisation et d'intégration des populations au sein d'un vaste ensemble français. Il fallait réagir face la ruine de l'économie insulaire. La production du sucre n'était plus qu'à 13 000 tonnes en 1944, ce qui correspondait au tonnage du milieu du XIXe siècle.

2. Lettre du Directeur de l'Intérieur datant du 8 octobre 1844, ADR (Archives Départementales de la Réunion), série 30/4 2W1.

Des spécificités réglementaires et l'absence des Plans d'Exposition aux Risques (PER)

Dans les colonies, toutes les eaux intérieures furent rangées dans le Domaine Royal, puis dans celui de la République. Cette règle fut reprise par le décret du 31 mars 1948, pris en application de l'article 2 de la loi du 19 mars 1946 (Dufau, 1986). Cette disposition fut confirmée par la loi du 28 juin 1973. Tout le problème fut alors la délimitation entre domaine public et propriété privée des riverains. La loi du 8 avril 1898 précisait : « Les arrêtés préfectoraux rendus après enquête… fixeront les limites des fleuves et rivières navigables et flottantes ; ces limites étant déterminées par la hauteur des eaux coulant à plein bord avant de déborder » (Gazzaniga, 1990). L'article 32 de la loi du 16 décembre 1964 confirma : « Les limites des cours d'eau domaniaux sont déterminées par la hauteur des eaux coulant à plein bord avant de déborder. » Cette précision fut essentielle car elle excluait du domaine public le lit majeur ou le lit inondable des cours d'eau. Les limites du domaine public furent donc fixées par enquête après arrêté préfectoral[3]. Sans nul doute que dans bien des cas, il aurait été sage d'intégrer dans le domaine public le lit majeur et inondable des rivières.

Après les terribles dégâts des crues torrentielles lors du passage du cyclone de 1948, l'État réagissait en mettant en place les premières règles de prévention et d'interdiction de construire de chaque côté du lit des ravines. Le décret du 31 mars 1948 imposa des servitudes aux propriétaires dont les terrains se trouvaient bornés par une ravine. Ces décrets pris un peu dans l'urgence de la catastrophe s'appliquent encore aujourd'hui : « Pour le passage dans l'intérêt des services administratifs, les propriétaires riverains de ces fleuves sont tenus de laisser libre le long des bords des dits fleuves et rivières, ainsi que sur les îles, un espace de dix mètres de largeur. Ils ne peuvent se clore par des haies ou autrement qu'à une distance de dix mètres. » Mais l'arrêté du 26 mars 1965 nuança fortement les interdictions à la construction et laissa la place à des constructions privées au bord des ravines[4] : « Dans le département de la Réunion, la distance de dix mètres à laisser libre le long des bords des fleuves et rivières, prévue par l'article 4 du décret n° 48-633 du 31 mars 1948 pourra, lorsque l'intérêt du service le permettra, être réduite par arrêté du Préfet sans toutefois être inférieure à un mètre. »

Suivant un principe peu républicain, le Plan d'Exposition aux Risques (PER) ne fut pas appliqué dans les DOM (ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement et des Transports, 1988). Par exemple, il faut attendre le 27 juin 1990, c'est-à-dire un an après le cyclone Firinga 1989, pour que la loi n°90-509[5] modifie le code des assurances et étende aux départements d'outre-mer les dispositions du PER datant du 13 juillet 1982 relatives à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles. La loi du 16 juillet 1992 compléta les dispositions antérieures et précisa notamment que « l'état de catastrophe naturelle est constaté par arrêté interministériel qui détermine… la nature des dommages résultant de celle-ci… ». L'indemnisation était donc presque équivalente à celle de la France métropolitaine, mais pas en totalité. Certaines assurances ont même refusé d'assurer les particuliers contre les risques cycloniques. Il a fallu la négociation d'une surprime pour que les risques cycloniques soient assurés comme les autres risques. Le sentiment que les départements d'outre-mer étaient plus soumis aux risques naturels exceptionnels, tant cycloniques que volcaniques, que les autres départements de la France métropolitaine, était largement répandu dans tous les ministères. Il était alors difficile d'élargir des mesures de pays tempérés sur une « terre de risques et de violences » (Gallais, 1994). Après les dégâts de Firinga les assurances prirent alors toutes leurs dispositions pour répercuter les surcoûts sur les polices dans les départements d'outre-mer.

3. Décret n° 48-633 du 31 mars 1948, relatif au régime des eaux dans les départements de la Guadeloupe, de la Guyane française, de la Martinique et de la Réunion.
4. Arrêté du 26 mars 1965 relatif aux servitudes des ravines dans le département de la Réunion.
5. *Journal Officiel* du 27 juin 1990.

Les raisons évoquées pour la non application des PER étaient essentiellement techniques, car l'élaboration d'un zonage de l'aléa en trois niveaux, fort, moyen et faible, était difficile à cartographier pour les risques d'inondation par divagations torrentielles. Il était toujours très incertain de définir des zones d'inondation. Mais la véritable raison de la non application de ce volet du PER était le développement sur l'île depuis 1980 du programme d'endiguement des ravines dont les objectifs ne se calquaient pas tout à fait sur ceux des PER. Comme nous le verrons les PPER (Plan Pluriannuel d'Endiguement des Ravines) avaient un volet d'extension des zones urbanisables grâce aux endiguements. On avait encore besoin de construire des logements nouveaux sur des espaces qui auraient été inévitablement classés en zone rouge dans les dossiers des PER. De plus en 1992 l'échec des PER sur le continent était déjà avoué et personne n'insistait pour poursuivre dans cette voie. Les premiers PER ont été lancé en 1984 avec l'objectif de mettre au point la méthodologie, mais nombreux d'entre eux n'ont jamais abouti comme par exemple dans les Alpes-Maritimes où sur 16 procédures lancées, 15 ont été classées sans suite. Avec seulement 441 PER approuvés en 14 ans après le vote de la loi, le bilan quantitatif était bien maigre (Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, 1997). À la Réunion, jusqu'en 1995, date des premières études des PPR (Plan de Prévision des Risques), les documents de référence sur les risques d'inondation furent ceux des STPC (Schémas techniques de protection contre les crues) dont les objectifs étaient clairement la réalisation des travaux d'endiguements, de dérivations ou de franchissements des ravines (Direction Départementale de l'Équipement, 1990).

La politique de l'utopie sécuritaire du Programme Pluriannuel d'Endiguement des Ravines (PPER)

Au moment où la Réunion subissait les assauts des eaux cycloniques de Hyacinthe en 1980, la France continentale était encore régie par un certain nombre d'outils réglementaires de prévention des risques d'inondation très anciens dont les PSS (Plans de Surface Submersibles) réaménagés en 1935 et l'article R 111-2 et R 111-3 du Code de l'urbanisme institué dans les années 1950. Autant dire que la réflexion sur les moyens de la prévention des risques naturels était encore fortement inspirée des programmes d'endiguement du XIX^{e} siècle. C'est dans ce contexte que le choix d'un investissement considérable en faveur d'un Plan Pluriannuel d'Endiguement des Ravines (PPER) a débuté à la Réunion. Cette politique s'est faite au détriment de la prévention par l'information qui ne sera développée de manière très sectorielle et partielle que dans les schémas techniques de protection contre les crues (STPC) rendus obligatoires pour la prise en considération des dossiers de financements pour l'endiguement des ravines. Ces STPC confiés à des bureaux d'études avaient pour objectif, notamment après les inondations de Firinga en 1989, d'estimer les débits de crue, de cartographier les zones concernées par les inondations, de repérer les disfonctionnements des ouvrages d'art et surtout de faire des propositions techniques d'intervention sur les ravines.

L'estimation des sommes nécessaires pour une protection par endiguement se révélait parfois astronomique au regard des espaces protégés. L'ensemble des documents a ainsi recensé 17 900 bâtis et 3 400 ha exposés au risque d'inondation. Le coût des aménagements de lutte contre ces inondations s'élevaient à 2,4 milliards de francs. Beaucoup de travaux se sont effectués sur cette base pour le plus grand bien des bureaux d'études, des entreprises de travaux publics et des promoteurs. En 1999, seul 30 % de ces aménagements avaient été réalisés. L'orientation des PPER paraissaient alors très claire au début de la décennie de 1990 car aux Assises Locales de l'Eau en novembre 1991, une des interventions marquait bien ce choix « Le plan pluriannuel d'endiguement des ravines lancé il y quelques années avait pour but de permettre l'installation d'activités humaines dans ces zones exposées » (Préfecture de la Réunion, Conseil Général, 1991). C'est le choix d'une utopie sécuritaire au détriment parfois d'un programme de prévention par l'éducation, la vulgarisation de l'information, la définition des zones d'aléas et le respect des interdictions de bâtir dans des zones à risque.

Le PPER s'est décliné en plusieurs phases correspondant aux financements des contrats État Région mis en place après les lois de décentralisation en 1983. Le financement du premier PPER pour 66 millions de francs de 1981 à 1983 se fit donc hors contrat Région État. Le second PPER fut financé par le IXe plan État Région pour un montant de 134 millions de francs de 1984 à 1988. Le troisième PPER obtint 348 millions de francs dans le cadre du Xe plan de 1989 à 1993. Enfin le quatrième PPER de 115 millions de francs fut intégré dans le XIe plan de 1993 à 1999. Les financements furent prolongés d'un an jusqu'à l'an 2000 en attendant le XIIe plan et le cinquième PPER entre 2000 et 2006 pour un montant estimé à plus de 200 millions de francs (30,5 millions d'euros). Les travaux d'endiguements pouvaient se prolonger d'un PPER à l'autre au fur et à mesure des subventions. Les communes restaient les maîtres d'œuvre de la politique d'endiguements mais après validation des dossiers par les services de l'État.

Les grandes catastrophes sont toujours d'excellents catalyseurs de projets d'aménagements ou à l'origine de la publication d'une panoplie de lois en matière de risque. La période fut propice à l'aide d'urgence et aux grands plans de lutte contre les risques naturels. En 1980, le gouvernement préparait les élections présidentielles, et le premier ministre, Raymond Barre, originaire de la Réunion voulait montrer que l'État conservait son rôle providentiel dans les DOM. La vulnérabilité des quartiers de l'est de Saint-Denis en 1980 s'était révélée particulièrement importante malgré la protection des anciennes digues. Entre 1946 et 1967, la croissance de la population fut de 150 %. Entre ces deux dernières dates, la population de Saint-Denis passait de 33 900 à 85 444 habitants (Dupont, 1989). De plus cette expansion se réalisa dans un climat politique particulièrement instable car entre 1945 et 1960, huit maires se succédèrent à Saint-Denis. Le contrôle et la maîtrise de l'occupation du sol étaient pratiquement inexistants. La ville s'étendait à l'est et au sud, non seulement sur les espaces déjà sommairement aménagés en 1858, mais aussi sur de nouveaux espaces alluviaux. Les dégâts en 1980 furent immenses dans le secteur du Chaudron, de Vauban et de l'ensemble des quartiers est. Il a fallu naturellement protéger les premières cités sociales qui s'étaient implantées dans le secteur depuis 1960, mais il était aussi urgent d'accélérer la récupération des terrains inondables. Le financement des PPER fut accordé dans un premier temps pour faire face à l'urgence de l'urbanisation sociale.

L'exemple des endiguements dans les quartiers est de Saint-Denis (Sainte-Clotilde, Champ Fleuri, Le Butor, le Chaudron)

L'exemple des endiguements successifs des ravines des quartiers est de Saint-Denis témoigne d'une volonté continue de l'État de ne pas prendre en compte les différentes inondations du passé qui aurait du freiner l'urbanisation de ce secteur de la ville. Le cône de déjection de la ravine Patates à Durand s'est largement étalé vers l'ouest, mêlant ainsi ces alluvions à ceux de la ravine du Butor. Les deux ravines ont ainsi construit une plaine alluviale qui fut pendant longtemps une zone de divagation torrentielle importante (fig. 5). La toponymie des lieux, Champ Fleuri et le Butor[6], témoigne du caractère marécageux de cet espace littoral. Voici la description qu'en fit J. B. G. M. Bory de Saint-Vincent en 1804 : « Jusqu'à Sainte-Marie, on voyage par un assez beau chemin le long de la côte, et au bord de la mer, sur un atterrissement qui peut avoir trois-quarts de lieue dans sa plus largeur. On rencontre d'abord, au sortir du quartier, la rivière du Butor, formée par la réunion des petits bras qui circulent dans le Brûlé de Saint-Denis, et sur ses limites orientales. Vient ensuite la rivière des Citrons (actuellement la ravine Laverdure), dont un des bras est cette ravine des Patates à Durand. Tout l'atterrissement que nous parcourûmes est composé de pierres roulées, à peine liées par une végétation maigre, éparse çà et là : Quelques lataniers et le vaccoi réussissent à merveille sur ce sol aride. »

Les inondations de 1844 ont très tôt montré le caractère inondable et dangereux de ces cônes de déjection torrentiels. « La rivière des Patates à Durand a débordé dans le haut des terres entre

6. Oiseau échassier voisin du héron, à plumage fauve tacheté de noir, nichant dans les marécages

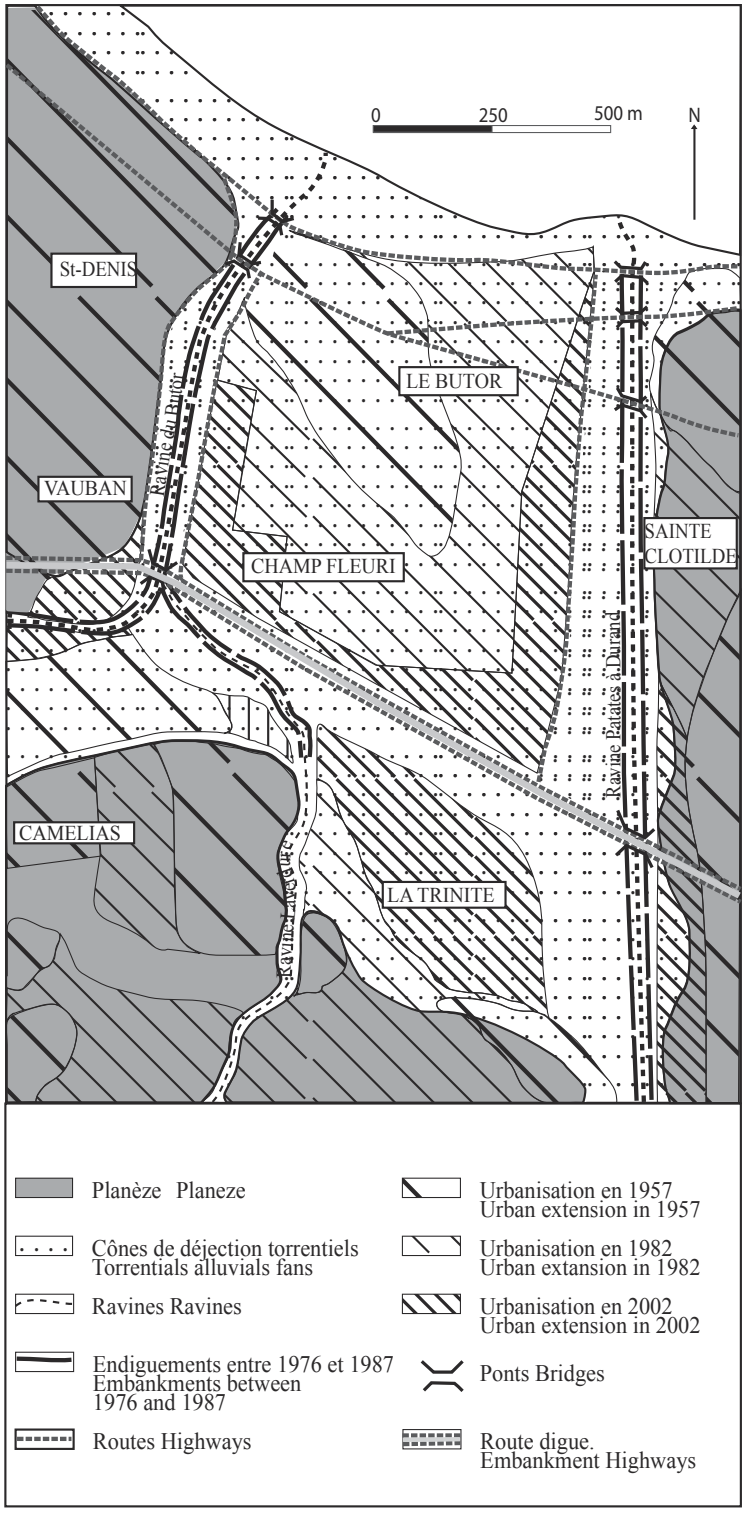

Figure 5 : Endiguements et urbanisation dans les quartiers est de Saint-Denis de 1957 et 2002

Embankments and urbanisation in the east district of Saint-Denis of 1957 and 2002

la route royale et la montagne, de manière à faire craindre qu'elle ne vienne à se former sur un nouveau lit qui envahirait plusieurs propriétés et détruirait une partie de la route royale entre le passage actuel de cette rivière et le pont de la rivière du Butor[7]. » Pendant la crue du 4 janvier 1844, le bras né de la divagation torrentielle de la ravine Patates à Durand se dirigeait vers l'embouchure de la ravine du Butor, menaçant ainsi le quartier du même nom.

En 1879, le même secteur est encore une fois recouvert par les eaux torrentielles de la ravine Patates à Durand rompant la digue construite après les précédentes inondations. « Le Bras de Patates à Durand avait dans une forte crue franchie les limites naturelles qu'il s'était lui-même tracées et s'était répandu dans la campagne, renversant, brisant, emportant tout ce qui faisait obstacle à son passage. Il avait traversé le hameau près de l'église et avait détruit des cases et fait des victimes[8]. » Les digues furent reconstruites aussitôt un peu plus hautes. Les habitants qui pensaient alors être mieux protégés se sont alors installés en plus grand nombre. Ce secteur pris le nom de Sainte-Clotilde car il possédait depuis 1852 sa propre paroisse.

Le 11 décembre 1894 le *Petit Journal* continue l'article en écrivant : « Un pareil avertissement aurait du être salutaire ; mais la même quiétude a continué à bercer les habitants de cette localité, après qu'on eut construit une digue sur la rive droite de la rivière et c'est dans cet état d'esprit que les a surpris le mauvais temps. Depuis plus de huit jours la pluie tombait abondamment ; toutes nos rivières desséchées coulaient à plein bord […]. C'était samedi soir (le 8 décembre 1894), le vent soufflait par rafales du sud-ouest ; au milieu de la nuit il avait passé au nord et le lendemain la ville se réveillait heureuse de voir que l'affreux météore avait passé loin de nous pour ne pas faire trop de dégâts. Mais bientôt, une terrible rumeur se répand, on entend dire que les rivières de l'est ont toutes rompues leurs digues naturelles et se sont précipitées dans la campagne en détruisant tout sur leur passage. De nombreuses maisons auraient été enlevées, des victimes non moins nombreuses auraient péri. Les autorités sont averties. Le Maire, accompagné des commissaires de Police, se transporte sur les lieux, organisant les secours. Nombreux encore étaient ceux qui, pour éviter une mort certaine, étaient perchés sur des arbres ou montés sur le toit de leur maison. Les bonnes sœurs de l'asile de Sainte-Clotilde étaient confinées avec leurs enfants à l'étage et constataient avec consternation que l'eau montait avec rapidité et allait bientôt les atteindre. En effet, un lac immense s'était formé là où de riches cultures étalaient la veille leur luxuriante verdure. Le chemin de fer formait barrage à l'eau qui ne trouvait plus d'issue suffisante, s'élevait graduellement et permettait la navigation en bateaux. C'est à l'aide de ce moyen qu'on a pu organiser les premiers secours[9]. » Pour faire baisser le niveau du lac artificiel qui s'était formé, il a fallu aménager un chenal pour que celui-ci se vidange en mer. La construction de la voie de chemin de fer avait réduit considérablement les possibilités d'écoulement des ravines à leur embouchure. L'action conjuguée de l'élévation du niveau de la mer et les obstacles dans les lits des ravines provoquèrent un embâcle important. La formation d'un lac temporaire ne s'est jamais répétée depuis 1894.

Lorsqu'en 1930 le Secrétariat Général rend compte au Gouverneur de l'île des dégâts occasionnés par les quatre torrents terribles de l'est de Saint-Denis, il commente déjà les événements avec une certaine habitude : « La rivière du Butor a changé de lit, empiétant sur le domaine de la Providence, défonçant le mur et empruntant la route pendant 50 mètres. La rivière Patate à Durand a coulé également ravinant la route nationale sur 50 m à partir des deux canons. La ravine du Chaudron a changé son lit en rongeant ses deux berges, faisant irruption sur la route Desbassyns en deux endroits et menaçant la culée ouest du pont Eiffel[10]. La rivière des Pluies roule

7. Rapport du Directeur de l'Intérieur à propos des inondations du 4 janvier 1844, Archives départementales de la Réunion, série 2W2.
8. *Petit Journal*, 11 décembre 1894, Archives nationales, Paris.
9. *Ibidem*.
10. Le pont Eiffel correspond au pont métallique construit pour le passage du chemin de fer à l'embouchure de la Ravine du Chaudron.

toujours des torrents de boue[11]. » Les inondations dans ce secteur furent régulières à partir du milieu du XXe siècle car les limites des maisons étaient très proches des lits de ravines. La départementalisation en 1946 de la colonie fait prendre conscience aux différents gouvernements que la situation sanitaire et l'insalubrité des logements doivent faire l'objet d'une nouvelle politique d'investissement.

Après les pluies diluviennes du cyclone Hyacinthe en janvier 1980, les grands travaux d'endiguements recommencent sur les ravines des quartiers est de Saint-Denis. Les anciennes digues en béton datant de 1976 sur la ravine Patates à Durand avaient montré leurs limites. Le canal s'était engravé et les eaux avaient ponctuellement débordé des digues. Pour éviter une inondation dans des quartiers habités, la DDE a préféré dynamiter une partie des murs de protection en aval. Les premiers travaux du PPER se réalisèrent sur cette ravine. Les ravines du Butor et de Boucan Launay furent endiguées dans leurs sections aval avec des digues en béton armé. L'endiguement s'est ensuite prolongé en amont jusqu'au niveau du Boulevard de la Providence. La plus grande partie des travaux furent terminée en 1987. Un bilan des caractéristiques des zones mises hors d'eau est révélateur de la stratégie de l'endiguement. Par exemple, pour la ravine Patates à Durand, les aménagements financés et réalisés par le PPER étaient destinés à protéger 7 ha d'espace urbain et 89 ha d'espace urbanisable ! Pour la ravine du Chaudron l'objectif était aussi clair, c'était la protection de zone industrielle et l'édification de centres commerciaux à la sortie est de Saint-Denis. Les quartiers de Vauban et des Camélias étaient déjà densément urbanisés. Mais le secteur de Champ Fleuri était déjà inscrit en 1985 dans les plans du POS de la commune de Saint-Denis comme les futurs espaces pouvant accueillir les grands équipements publics et notamment les archives départementales.

En 1987, pendant le cyclone Clotilda, les eaux chargées d'alluvions et de gros blocs débordèrent de la partie aval du canal de Patates à Durand. Les digues furent rehaussées et prolongées. Un piège à sédiment fut creusé en amont. L'endiguement de la Ravine du Butor se révéla tout aussi dangereux. Par deux fois, lors des pluies du cyclone Clotilda en 1987 et de Cécilia en 1993, la ravine du Butor déborda et inonda les quartiers d'habitations collectifs. Les digues ne furent jamais remises en cause. Les explications données par les services de l'État se limitèrent à décrire l'érosion en amont de la berge de rive gauche sur laquelle était entreposé un stock de grumes d'accacias appartenant à l'ONF. Les troncs furent emportés et provoquèrent des embâcles dès que les conditions d'écoulement devinrent plus difficiles entre les digues. Dans les deux cas on a pu remarquer l'importance du transport solide lors des crues torrentielles. On peut imaginer l'effet que pourrait avoir l'arrivée de deux crues successives.

Les débordements des ravines des quartiers est de Saint-Denis ont fait preuve d'une belle régularité depuis le début du XIXe siècle. Aucun schéma d'urbanisation de la ville n'a remis en cause la constructibilité de ces quartiers périphériques. Pourtant les exemples d'inondations catastrophiques n'ont pas manqué et les témoignages sont nombreux. En l'absence de l'application des PER à la Réunion, les solutions face à ce danger pourtant connus ont toujours favorisé les protections et les endiguements. Ponctuels et relativement limités jusqu'en 1980, ils deviennent depuis les crues de Hyacinthe systématiques. Les financements croisés de l'Europe, de l'État, des collectivités territoriales et de la commune rendent possibles ces projets d'endiguement. Ces digues sont à l'origine d'une utopie sécuritaire qui favorise une urbanisation organisée et très dense. L'ensemble des quartiers est de Saint-Denis ont accru fortement leur vulnérabilité derrière des digues en béton dont on ne connaît mal les limites de submersion pendant des crues torrentielles.

L'information sur les risques naturels majeurs, notamment les inondations, date des années 1990 avec la mise en place d'un certain nombre d'outils, tels que le Schéma d'Aménagement Régional (SAR), et la publication en 1995 du Dossier Département des Risques Majeurs (DDRM). Cependant dans ces documents les risques d'inondation furent négligés. L'intervention du directeur du

11. Compte rendu du Secrétariat Général au Gouverneur de la Réunion sur les dégâts occasionnés par le passage du cyclone les 1er et 2 février 1930, Archives départementales de la Réunion. Série 1M111-60. Saint-Denis.

Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) de l'époque aux Assises Locales de l'Eau en 1991 au sujet de la prise en compte des risques d'inondation dans le document du SAR est assez édifiante : « Nous, techniciens, avons réalisé des études, des documents. Or il se trouve que dans le document final du SAR il n'est pratiquement pas fait mention, ni de l'eau ni des risques naturels » (préfecture de la Réunion, Conseil Général, 1991). En effet les cartes des inondations qui furent publiées dans le DDRM (Préfecture de la Réunion, BRGM, Rectorat, 1995) ou dans l'Atlas de SDAGE (Schéma Départemental d'Aménagement et de Gestion de l'Eau) (Comité de Bassin, 2000) reprennent les cartes issues des dossiers des Schémas Techniques de Protection contre les Crues (STPC). Les inondations anciennes ne sont pas mentionnées. Les échelles des différentes cartes obèrent complètement l'importance des risques dans les quartiers populaires de l'est de Saint-Denis. Dans les DOM, l'éloignement a modifié l'application de toutes les dispositions nationales en matière de risques.

Ce n'est heureusement pas le cas du nouveau dispositif juridique prévu par la loi n° 95.101 du 2 février 1995 (dite loi Barnier) qui inscrit, en tête de ses dispositions, le principe de précaution. Le PPR, du ressort de l'État, vaut servitude d'utilité publique après approbation par arrêté préfectoral, et doit être annexé au Plan Local d'Urbanisme (PLU) (ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1997). Les objectifs sont d'interdire les implantations humaines dans les zones les plus dangereuses, de préserver les capacités d'écoulement et d'expansion des crues pour ne pas aggraver les risques dans les zones situées en amont et en aval, de contrôler strictement l'extension de l'urbanisation dans les zones d'expansion des crues, et d'éviter tous endiguements ou remblaiements nouveaux qui ne seraient pas justifiés pour la protection de lieux fortement urbanisés (Mariani et Mathot, 1994). En aucun cas, le PPR n'a pour objet d'évacuer définitivement par expropriation les habitants des zones exposées. La réalisation des plans de prévention des risques suscite des débats houleux à la Réunion sur certaines communes (Saint-Denis ; Saint-Paul…) car ils ont mis en évidence que de nombreux aménagements urbains ont été réalisés dans des zones présentant des risques d'inondation. Dans les quartiers Est de Saint-Denis les terrains protégés par les digues de la ravine Patates à Durand et du Butor ne sont toujours pas identifiés dans le PPRI approuvé par arrêté préfectoral le 14 décembre 2004 comme des zones dangereuses.

Conclusion

L'île de la Réunion n'a pas bénéficié d'un programme d'aménagement contre les inondations et elle a été bercée, comme beaucoup d'autres départements métropolitains par une longue utopie sécuritaire. Mais à la Réunion la construction de digues a été d'autant plus facile à justifier que l'île traversait pendant les années 1980 une période critique de la transition démographique qui nécessitait de loger de nombreux couples nés 20 ans plutôt. L'action volontariste du député Michel Debré, ancien Premier Ministre, en faveur du logement comme moyen d'intégration des populations réunionnaises dans un ensemble national a visé à supprimer les anciens bidonvilles pour les reconstruire aux mêmes emplacements. Si les premières localisations de ces anciens bidonvilles ou « camps » correspondaient à une situation de refuge par rapport à la ville coloniale, la reconstruction des nouveaux quartiers de logements sociaux dans les mêmes espaces inondables n'a été possible qu'avec un vaste programme d'endiguements financé par l'État. L'absence de responsabilité face à des inondations torrentielles a conduit les générations futures à gérer de nouveaux risques bien plus graves car les densités de population ont augmenté dans ces zones dangereuses. La difficulté de la prise en compte des risques d'inondation liés aux endiguements apparaît clairement dans les PPRI. Le silence de ces documents de vulgarisation dans des zones pourtant maintes fois inondées est de nature à les discréditer.

Contrairement à beaucoup d'autres départements nationaux, la Réunion bénéficie d'une bonne prévention pour les risques pluviométriques de type cyclonique qui a permis de sauver des inondations de nombreuses vies. La prévention spécifique contre les risques d'inondation doit s'appuyer

sur cette expérience d'un long partenariat avec la population. Face à la difficulté d'installer sur l'ensemble des ravines des capteurs pour l'annonce des crues et l'impossibilité de transmettre les alertes dans des délais raisonnables, il est urgent de développer une culture du risque d'inondation dont l'essentiel tient à une information explicite dense, continue et ciblée sur les secteurs les plus vulnérables.

Bibliographie

BARCELO (A.), ROBERT (R.), COUDRAY (J.), 1997. – « A Major Rainfall Event : The 27th February-5th March 1993 Rains on the Southeastern Slope of Piton de la Fournaise Massif », *Monthly Weather Review*, vol. 125, n° 12, p. 3341-3346.

BORY DE SAINT-VINCENT (J. B. G. M.), 1804. – *Voyage dans les quatre principales îles des mers d'Afrique, 1801-1802*, Paris/Marseille, Lafitte reprints, 1980, 904 p.

COMITÉ DE BASSIN, 2000. – *Atlas du SDAGE*, Saint-Denis, île de la Réunion, 41 cartes.

COMITÉ INTERMINISTÉRIEL DE L'ÉVALUATION DES POLITIQUES PUBLIQUES, 1997. – *La prévention des risques naturels*, Rapport d'évaluation, septembre 1997, Paris, La documentation Française, 701 p.

DAVY (L.), 1989. – « Une catastrophe naturelle : l'averse nîmoise du 3 octobre 1988 et ses conséquences hydrologiques », *Hydrologie Continentale*, n° 4, n° 2, p. 75-92.

DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'ÉQUIPEMENT, 1990. – *Schéma Technique de protection contre les Crues – Commune de Saint-Denis*, Diagnostic de l'état actuel 36 p., Conception des aménagements 30 p. annexes et plans, Saint-Denis, Bureau d'études BCEOM.

DEFOS DU RAU (J.), 1960. – *L'île de la Réunion, Étude de géographie humaine. Institut de géographie*, Faculté des Lettres de Bordeaux, Thèse de doctorat, 716 p.

DUFAU (J.), 1986. – *Le domaine public*, Paris, Le Moniteur, T. 1, p. 110.

DUPONT (G.), 1989. – *Saint-Denis de la Réunion*, Saint-Denis, Éditions du Tramail, 432 p.

GALLAIS (J.), 1994. – *Les tropiques. Terre de risques et de violences*, Paris, A. Colin, coll. « U », 281 p.

GAZZANIGA (J.-L.), 1990. – « Cours et droit de riveraineté », *Jurisclasseur : Droit rural*, fascicule C-3, Paris, Bibliothèque de la Sorbonne, p. 11.

HAURIE (J.-L.), 1987. – *Géodynamique des cirques de la Réunion, implication géotechnique et stabilité des versants*, Thèse de doctorat, Université scientifique, technologique et médicale de Grenoble, 284 p.

HOARAU (K.), 1994. – *L'intensité des cyclones tropicaux du sud-ouest de l'océan Indien, les risques et les dégâts à la Réunion*, Thèse de doctorat, Université de Paris IV, 417 p.

LORION (D.), 1999. – « Les crues et les divagations torrentielles, entre fatalité et prévention. Prévention et surveillance des crues torrentielles à la Réunion », *Travaux et documents*, n° 11, Saint-Denis, Université de la Réunion, Faculté des Lettres, p. 68-82.

—, 1995. – « Les risques d'inondation sur la Planèze des Cabris à l'île de la Réunion », *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, n° 4, p 342-350.

—, 2000. – *Aménagements et risques d'inondation à l'île de la Réunion*, Thèse de doctorat, Université de Paris X Nanterre, 529 p.

MAC AULIFF (J.-M.), 1902. – *Cilaos pittoresque et thermal, Guide médical des eaux thermales*, Bibliothèque départementale, Saint-Denis, Réunion, 269 p.

MARIANI (TH), MATHOT (Ph), 1994. – « Inondations, une réflexion pour demain, rapport de la Commission d'enquête sur les causes des inondations et les moyens d'y remédier », dans *les documents d'information de l'Assemblée Nationale*, Paris, 2 vol., 338 p.

MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, 1997. – *Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR)*, Guide général, Paris, La Documentation Française, 76 p.

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DU LOGEMENT, DE L'AMÉNAGEMENT ET DES TRANSPORTS, 1988. – *Plans d'exposition aux risques (PER), La cartographie des plans d'exposition au risque d'inondation*, Paris, La Documentation Française, 218 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, 1994. – *Ruissellement pluvial urbain – Guide de prévention. Évaluation du risque. Élément de méthode*, Paris, La Documentation Française, 85 p.

OBSERVATOIRE RÉUNIONNAIS DE L'EAU, 1993. – *Le cyclone tropical Colina et les événements hydrologiques majeurs du 1er trimestre 1993*, Saint-Denis, Conseil Général de la Réunion, 55 p. et annexes.

OEHLER (J.-F.), 2005. – *Les déstabilisations de flancs des volcans de l'Île de La Réunion (Océan Indien) : Mise en évidence, implications et origines*, Thèse de l'université Blaise-Pascal de Clermont Ferrand, 478 p.

OKAL (E.), (à paraître). « Le risque de tsunami à la Réunion », *Actes de colloque « La Réunion face aux risques naturels, gouvernance locale et coopération régionale » le 18 et 19 septembre 2006*, Saint-Denis, Région Réunion, Université de la Réunion.

PRÉFECTURE DE LA RÉUNION, BRGM, RECTORAT, 1995. – *Dossier Départemental des Risques Majeurs, Un exemple, la Réunion*, Saint-Denis, 76 p.

PRÉFECTURE DE LA RÉUNION, CONSEIL GÉNÉRAL, 1991. – *Livre blanc sur l'eau*, Assises locales de l'eau des 14 et 15 novembre 1991, 2 tomes, 220 p.

RAUNET (M.), 1991. – *Le milieu physique et les sols de l'île de la Réunion*, CIRAD (Centre de Coopération International en Recherche Agronomique), Saint-Pierre, Réunion, 438 p.

ROBERT (R.), 1986. – *Climat et hydrologie à la Réunion. Étude typologique et régionale des pluies et de l'écoulement*, Thèse de doctorat, Université de Montpellier, 438 p.

—, 1990. – « Pluies de grande intensité à la Réunion », *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie,* Montpellier, fasc. 1-2, p. 119-132.

Cet article a été reçu le 22 février 2006 et définitivement accepté le 23 octobre 2006.