HAL
open science

Les crues et les divagations torrentielles, entre fatalité et prévention. Prévision et surveillance des crues torrentielles de l'île de La Réunion

David Lorion

To cite this version:

David Lorion. Les crues et les divagations torrentielles, entre fatalité et prévention. Prévision et surveillance des crues torrentielles de l'île de La Réunion. Travaux & documents, 1999, Propos géographiques sur le Sud-Ouest de l'océan Indien, 11, pp.69–82. hal-02175037

HAL Id: hal-02175037

https://hal.univ-reunion.fr/hal-02175037v1

Submitted on 2 Sep 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les crues et les divagations torrentielles, entre fatalité et prévention. Prévision et surveillance des crues torrentielles à l'île de La Réunion

David Lorion
PRAG géographie
université de La Réunion

Introduction

Les crues torrentielles et les divagations des eaux sont des phénomènes fréquents sur les pentes volcaniques des îles tropicales. Sur les jeunes planèzes, la vigueur des pentes associée aux pluies de grande intensité liées au passage des cyclones tropicaux est à l'origine du phénomène d'érosion, de ravinement, de crues et de divagations torrentielles d'une extrême violence. La jeunesse des coulées volcaniques basaltiques limite l'encaissement du lit et favorise l'absence de berges. Les lits des « ravines » n'apparaissent dans l'espace que sous la forme d'une trace de ravinement envahie par une végétation à broussailles (voir photographie 1). Lors des crues, les eaux divaguent et submergent des routes, des maisons. L'île de La Réunion vit avec cette menace permanente. Les ravines et les bras (affluents des ravines et des rivières) entrent en crue à chaque pluie de forte intensité.

A cette forme de ravinement par débordement ou divagation des crues torrentielles, on peut observer assez fréquemment lors d'épisodes pluvieux importants des inondations de piedmont. Ces inondations sont liées à la brusque rupture de pente au contact entre la fin de la planèze et l'étroite plaine littorale qui s'est développée par accumulation fluvio-marine. L'urbanisation s'est très tôt développée sur cette bande côtière qui présentait l'avantage dans cette île montagne d'offrir des espaces plats. L'île a vu une guirlande de saintes villes et villages (Saint-Pierre, Saint-Louis, Saint-Paul, Saint-Denis, ...) se développer tout autour des massifs montagneux

sauf sur les terres du « pays brûlé ». L'association de ces inondations de piedmont et de l'urbanisation galopante a très tôt mis en évidence le risque majeur de submersion. L'attitude face à ce phénomène fut d'endiguer après une étude technique et théorique sur les débits de pointe de crue[1] et les moyens financiers dont on pouvait disposer. Au vu des premières crues, les études durent être ajustées (voir photographie 2).

La réalisation des Schémas Techniques de Protection contre les Crues (STPC) devait s'articuler en trois volets, la protection par endiguement, l'information préventive et l'action réglementaire. Seul le premier volet a été réalisé et trop souvent dans l'optique de récupération foncière à aménager, détournant ainsi le volet de protection de son objet initial. Dans cette politique de lutte contre les inondations, le financement du suivi de la surveillance et de la prévision à court terme ont été largement oubliés. Les différents dossiers du troisième chapitre du Dossier Départemental des Risques Majeurs s'intitulent la surveillance satellitale, le suivi pluviométrique, le suivi des mouvements de terrain, la surveillance du volcan, la surveillance des eaux d'alimentation, etc. Mais en ce qui concerne les risques d'inondation le dossier s'intitule la protection contre les crues et non la surveillance des risques d'inondations. Devant l'immense chantier que représente l'endiguement de toutes les ravines dangereuses de l'île, face à l'absence d'efficacité à long terme de cette entreprise pharaonique, il apparaît de plus en plus évident qu'une politique de précaution, de prévention et de surveillance doit être développée. Il est urgent, dans un souci d'aménagement du territoire pour un développement durable de cet espace insulaire, de prendre en compte les contraintes naturelles et les risques de divagation torrentielle et d'inondations de piedmont. Mais actuellement l'urgence pour les autorités est restée encore la protection par endiguement des espaces à risque

1. Mis en place à partir de 1984, à la suite notamment du cyclone Hyacinthe, le programme d'endiguement des ravines (PPER) a pour objet d'aider les collectivités locales à réaliser des ouvrages de protection des lieux habités contre les crues (Contrats de plan Etat-Région IXe et Xe plans). Exclusivement mobilisé jusqu'en 1988 vers des opérations physiques d'endiguement et de protection de secteurs particulièrement exposés de l'île, le programme prend en compte dans le Xe plan, des aides aux études de référence sur le risque d'inondation désignée sous l'appellation de Schémas Techniques de Protection contre les Crues (STPC). Ces STPC qui définissent des priorités d'aménagement servent de base pour l'attribution des aides aux aménagements physiques des lieux actuellement exposés aux crues centennales.

d'inondation densément urbanisé. Comment mieux sécuriser la population ? Comment l'avertir au moment de la crise ? Comment vivre avec un risque naturel caractérisé par la soudaineté et la violence des phénomènes ? Si aujourd'hui les conditions dans lesquelles se développent la crue torrentielle sont connues, son suivi et sa surveillance manquent encore de moyens.

IDENTIFICATION D'UN RISQUE ET GESTION D'UNE CRISE

Les crues torrentielles à La Réunion concernent des bassins versants de faible taille inférieurs à 100 km^2. Ces bassins versants ont des fortes pentes et sont situés dans une zone où les précipitations font partie des records mondiaux sur des laps de temps compris entre 12 heures et 15 jours. Ces pluies peuvent résulter de développements orageux très actifs mais isolés ou alors elles sont directement la conséquence de systèmes dépressionnaires de type cyclones tropicaux. Ces cyclones tropicaux peuvent intéresser les îles de la zone du Sud-Ouest de l'océan Indien (Rodrigues, Maurice, Madagascar), alors que certains développements orageux ne concernent qu'une partie de l'espace réunionnais (les pluies de novembre 1991 sur Sainte-Rose/Sainte-Anne ; les pluies de février 1998 sur Saint-Benoît).

Les temps de réponse de ces bassins versants sont très faibles, de l'ordre de quelques heures (entre une demi-heure à six heures). Les crues sont donc caractérisées par leur soudaineté et la violence de la montée des eaux. Par exemple, lors des pluies de Firinga, entre l'intensité maximum sur la Plaine des Chicots à Saint-Denis et la pointe de crue de la Rivière des Pluies, moins d'une heure sépare les deux évènements. Entre 6 heures du matin le 29 janvier 1989 et à midi le même jour, le débit est passé de quelques m^3/s à 200 m^3/s. Deux heures et demie plus tard le débit atteignait 225 m^3/s. Les temps de propagation de la crue sont extrêmement variables mais toujours très courts et leur identification reste très aléatoire.

La seule observation des débits en amont des ravines ne permet pas de disposer d'une avance suffisante pour que la diffusion de l'information et l'organisation de l'évacuation soient efficaces. Quels que soient les moyens dont on dispose l'alerte ne peut pas permettre de gérer la crise dans des conditions optimales. L'information hydrologique arrivant toujours trop tard, il faut aller chercher d'autres informations le plus en amont possible de la crue torren-

tielle. Il faut observer les pluies génératrices de crues avec des moyens techniques de plus en plus performants et mettre en place les outils de prévision des précipitations intenses à très court terme. Les radars sont actuellement les outils les plus performants pour cette prévision (prévision de l'aléa) mais encore faut-il associer les résultats obtenus avec les conditions du milieu naturel et humain pour définir réellement le risque.

La gestion de la crise doit s'appuyer sur des structures administratives et techniques existantes qui ne sont pas adaptées à la problématique de crues et des divagations torrentielles qui sont des événements très rapides. Tout la zone ne sera pas concernée lors de l'avènement de la crue torrentielle. La densité du réseau de ravines ne permet de surveiller telle ou telle petite ravine en particulier. D'autre part, pour agir efficacement, il est nécessaire d'alerter à temps des populations souvent isolées les unes des autres. L'imminence du danger en pleine nuit complique encore la situation en aggravant les difficultés de communication. D'un côté les services techniques (Météo France, DDE, Préfecture) dotés de moyens considérables surveillent l'ensemble régional, et, de l'autre côté, les responsables locaux sont chargés de gérer la crise sur les lieux de l'événement souvent face à la détresse humaine. Ils doivent prendre toutes les décisions le plus rapidement possible en matière de sécurité des biens et des personnes. Dans le cadre de la gestion et de la prévention, ces deux échelles de l'espace ne disposent pas des mêmes informations et la communication est extrêmement difficile. Il serait fort utile de voir émerger un échelon de surveillance hydrologique et hydrométéorologique dans le cadre des bassins versants qui assurerait un relais local assez proche du terrain et disposerait de moyens techniques d'observation pour réagir en lieu et place de l'événement. Il reste bien sûr à définir sous quelle autorité ces relais peuvent travailler et quelles devraient être leurs responsabilités.

Dans des secteurs à fort ravinement sur les planèzes jeunes, par exemple sur la planèze des cabris ou sur la planèze de Sainte-Anne, il peut être nécessaire de descendre encore au niveau local. La surveillance et la prévision hydrologique sont des données quantitatives. Il faut apprécier le plus tôt possible l'intensité, l'extension, la localisation et la durée du phénomène. On est, dans ce cas, dans le domaine de la prévention du risque torrentiel où chaque équipement vulnérable (ponts, radiers, berges instables, maisons à proximité...) a été auparavant identifié par les acteurs locaux.

LES MOYENS DE SURVEILLANCE MÉTÉOROLOGIQUE ET D'ALERTE

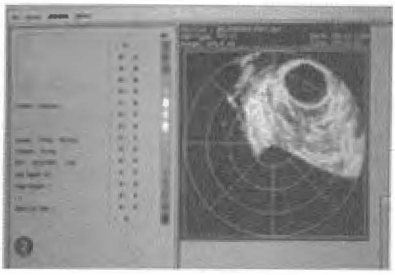
Surveiller des crues torrentielles et prévenir des débordements ou des divagations est très difficile et toujours incertain. Le système de collecte et d'information des données hydrologiques et météorologiques a fait d'immenses progrès depuis les grandes inondations des années 80 et la mise en place consécutive d'un Observatoire Réunionnais de l'Eau (ORE), ainsi que du développement régional des services météorologiques de Météo France. Cependant malgré ces progrès importants, la prévision n'est jamais certitude mais toujours probabilité.

Si la surveillance satellitale a permis à la météorologie de faire beaucoup de progrès et d'être plus efficace, l'extrême irrégularité des climats intertropicaux rend encore très aléatoire la prévision du temps. A La Réunion, l'insularité et l'isolement au cœur de cet océan Indien augmentent un peu plus les incertitudes de la prévision. Actuellement, il existe, pour compléter les stations d'observation terrestres, peu nombreuses dans la zone, des stations d'observation en mer qui fonctionnent pendant une année sur batterie et qui envoient des informations (pressions, températures, vitesses du vent) au fur et à mesure de leur dérive. Ces bouées dérivantes sont larguées par les capitaines des navires commerciaux et ne sont pas récupérées. Pour les mesures dans la troposphère, elles se font à l'aide de radiosondages classiques de 15 à 18 km d'altitude. La collecte des données se fait aussi en temps réel par un réseau de 21 stations automatiques (réseau MIRIA). Cependant la mesure des précipitations au sol reste ponctuelle. Si la densité du réseau est suffisante pour les grandes unités continentales, dans une île tropicale et montagneuse avec de fortes variabilités spatiales des pluies, les données transmises restent insuffisantes pour déclencher à temps une annonce de crue.

En plus de ces observations devenues maintenant classiques, les météorologistes disposent d'un nouvel outil qui permet non plus seulement de définir la position des différents phénomènes mais de préciser ses caractères. Cet outil, c'est le radar. Si le vent dans les grandes masses nuageuses cycloniques pouvait être estimé suivant des modèles de différentes configurations nuageuses (technique Dvorak), les précipitations, elles, restaient encore très imprécises. Le principe du radar exploite les principes électromagnétiques de réflexion d'ondes sur les goulettes d'eau dans la masse nuageuse.

Photographie 1 : Ravine Blanche à Saint-Pierre. Absence de berges et les broussailles ont envahi le lit de la ravine. Lors de la crue pendant Firinga, le 29 janvier 1989, l'inondation avait submergé tout le quartier de la Ravine Blanche jusqu'au littoral. La crue a dépassé 500 m^3/s dans cette section au droit du pont de la RN1 lors du passage du cyclone Firinga le 29 janvier 1989.

Photographie 2 : Canal Patates à Durand à Saint-Denis. Débordement des eaux lors de la crue pendant l'épisode pluvieux de Hyancinthe 1980.



Photographie 3 : Photographie du radar Doppler (10 cm) qui a été installé au Colorado en 1993. (Photographie tirée du livre de Mireille Mayoka, *Les cyclones à La Réunion*, Météo France, 1998)

Photographie 4 : Photographie de l'écran informatique où sont visibles les informations transmises par le radar. Les zones de fortes pluies apparaissent en rouge foncé (gris foncé sur fond noir sur une image en noir et blanc) alors qu'au centre, l'œil (absence de nuages) est bien visible. Ces informations sont reçues à la station de travail du Chaudron Météo France à l'approche du cyclone Daniella, le 8 décembre 1996. (Photographie tirée du livre de Mireille Mayoka, *Les cyclones à La Réunion*, Météo France, 1998)

Plus la densité en eau est importante, plus la réflexion est complète. L'image récupérée sur des écrans informatiques permet alors d'apprécier (suivant l'intensité de la couleur) et de localiser les zones de fortes pluies. Cependant cet outil nécessite un emplacement optimum pour pouvoir fournir des données de bonne qualité et son rayon d'action est seulement de 150 km. Si l'on voulait des informations plus précises dans des zones montagneuses son utilisation optimum serait sans doute moindre. Actuellement l'utilisation des images radars reste encore plus qualitative que quantitative dans les petits bassins versants, mais son aide est essentielle car elle peut intégrer un ensemble de données dans des zones de montagne où les densités du réseau au sol demeurent insuffisantes.

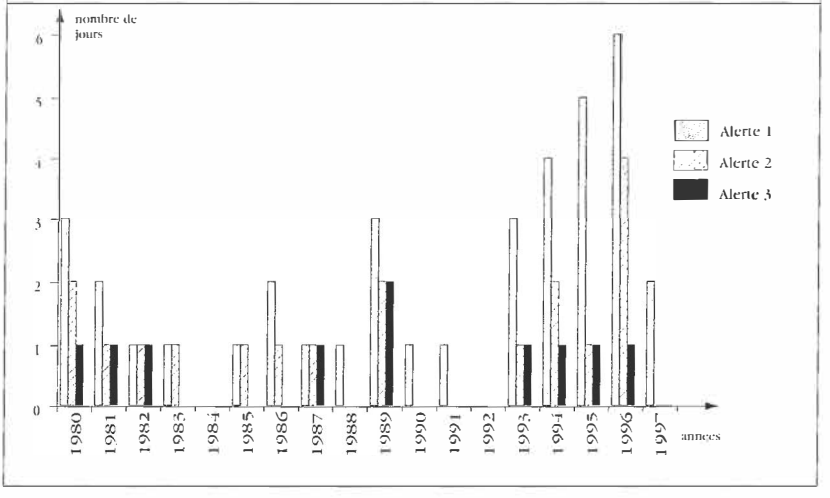
La première phase d'alerte est la mise en place du Plan de Secours Spécialisé (PSS) cyclone. Ce plan a pour objet de mettre en alerte les services préfectoraux, d'informer la population et d'organiser les secours pendant la période dite de « vigilance cyclonique ». Concrètement cette phase permet aux responsables dans les communes de compter les personnels qui vont assurer les secours et de vérifier les locaux (souvent les classes et les réfectoires d'école) qui vont recevoir la population en danger. Plusieurs dizaines de familles sont concernées par cette opération dite d'ouverture des centres de secours et dans les villes plus importantes, ce sont

plusieurs centaines de personnes qui sont hébergées lors des phases d'alerte. La bonne organisation de ce déplacement préventif a sauvé la vie à plus d'une personne. Une bonne gestion de l'information et une organisation des transferts de la population dans des lieux sûrs sont sans doute un des moyens les plus efficaces pour éviter le pire dans des situations météorologiques paroxysmiques. Les nouvelles alertes cycloniques à La Réunion datent de 1993, elles ont remplacé les alertes 1, 2 et 3 qui étaient appliquées suivant la proximité du phénomène. Dès l'alerte n° 1, les établissements scolaires étaient

LES NOUVELLES ALERTES CYCLONIQUES À LA RÉUNION DEPUIS 1993 :

VIGILANCE CYCLONIQUE : mise en garde contre le péril cyclonique. Une perturbation cyclonique évolue dans la zone et présente une menace potentielle pour La Réunion dans les jours qui viennent.
ALERTE ORANGE : la menace cyclonique se précise. Il peut y avoir danger pour l'île dans les 24 heures à venir. Les établissements scolaires et les crèches ferment mais la vie économique continue.
ALERTE ROUGE : le danger cyclonique est imminent ; le phénomène affectera l'île dans les heures qui viennent. Il est alors interdit de circuler ; et même de sortir de chez soi. Le passage en alerte rouge est annoncé avec un préavis de 3 heures, pour permettre à la population de se mettre à l'abri.

Graphique 1 - Bilan des passages en alerte



fermés et la vie économique s'arrêtait dès l'alerte n° 2. La fréquence des alertes répétitives au cours de la saison cyclonique alors que le temps restait beau discréditait ces annonces. La mise en place de la notion de « Vigilance » depuis 1993 a permis à la population de mieux s'impliquer dans la gestion de la crise sans que toute la vie sociale et économique ait à s'interrompre brutalement.

Lors d'une situation critique en phase d'approche des cyclones tropicaux ou de la présence de masses nuageuses actives et épaisses, la direction de Météo-France est chargée d'informer le préfet qui convoque une cellule de crise. Suivant les données pluviométriques prévisibles un Plan de Secours Spécialisé « Fortes Pluies » (PSS) est enclenché. La notion de fortes pluies est définie par le franchissement de certains seuils d'intensité déterminés de manière statistique sur la base des observations pluviométriques. L'aléa est exprimé en terme de probabilité d'occurrence à l'aide d'une échelle à trois niveaux et un zonage en cinq zones est établi en fonctions des statistiques pluviométriques pour la localisation de l'alerte.

Graphique 2 - Seuil de fortes pluies

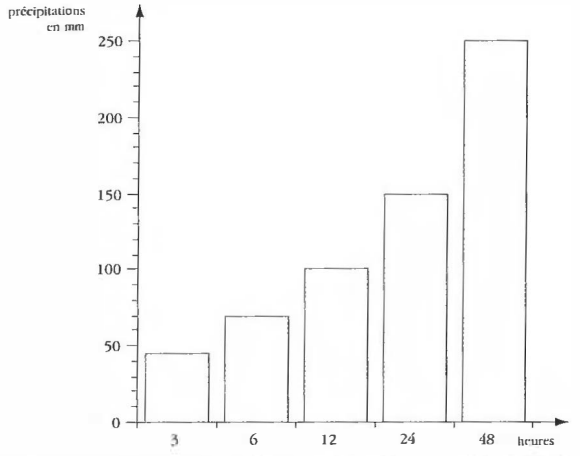
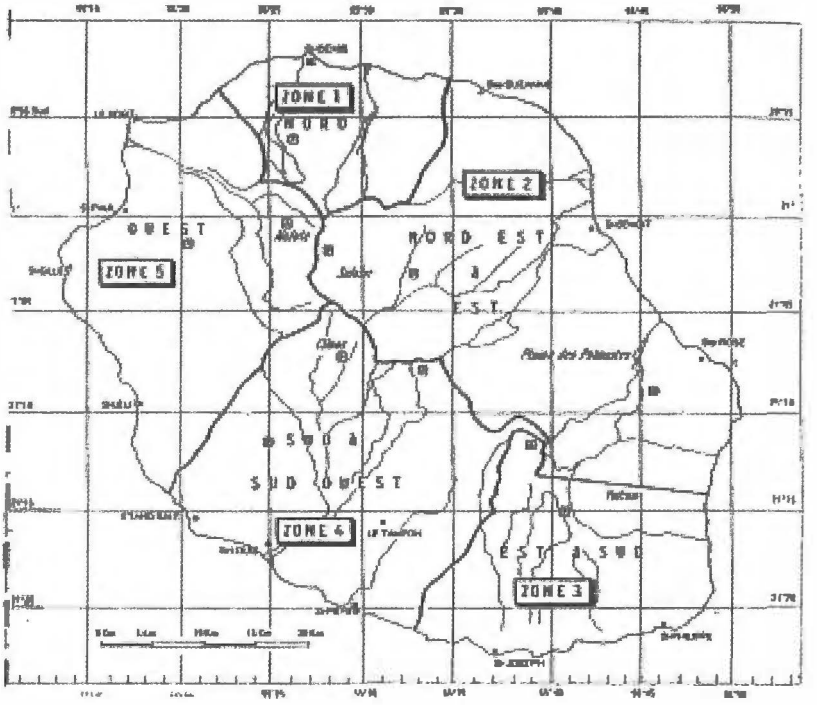


TABLEAU 1 — LES INDICES CARACTÉRISANT LE DEGRÉ DU RISQUE

RISQUE	NATURE	PROBABILITÉ
1	Risque de fortes pluies	20 à 50%
2	Risque important de fortes pluies	50 à 80%
3	Risque très important de fortes pluies	Supérieur à 80%

ZONAGE ÉTABLI EN FONCTION DES STATISTIQUES PLUVIOMÉTRIQUES POUR LES ALERTES FORTES PLUIES



CARTE 1 : Carte établie par le SIRDPC et Météa France. (Dossier Départemental des risques majeurs : Un exemple La Réunion, mars 1995)

Les avis de fortes pluies sont ensuite communiquées aux responsables de la Préfecture et des communes suivant les zones concernées.

LA SURVEILLANCE HYDROLOGIQUE ET L'ALERTE

La surveillance hydrologique paraît très difficile à mettre en place. En effet, assurer la surveillance de bassins de très petites tailles et donc très nombreux entraîne des difficultés matérielles et un coût économique non négligeable si l'on veut assurer une couverture homogène de toutes les zones à risque.

L'embâcle d'une buse, la chute d'un arbre dans un lit de la ravine, l'éboulement d'une digue sauvage, peuvent à tout moment entraîner une diffluence et des phénomènes de ravinements catastrophiques le long d'une route ou dans une zone résidentielle. On peut

parler dans ce cas de risques hydrologiques diffus le long de plusieurs axes de ravinements prédéfinis.

Cependant ces contraintes ne doivent pas empêcher l'étude des possibilités de la surveillance de crues. Celle-ci a bénéficié ces dernières années, grâce aux observatoires, des progrès de la collecte des données en temps réel et du développement de logiciels de surveillance et d'aide à la décision. Ces outils ont été développés surtout pour l'annonce des crues dans les grands bassins versants de plaines où l'extension de la submersion des eaux laisse le temps de s'organiser. Mais dans des secteurs particulièrement exposés, certains torrents ont été aussi équipés de systèmes de surveillance automatique et d'alerte. Pour des bassins un peu plus grands (bassin hydrographique lié aux grandes dépressions dans le massif de la Fournaise ou du Piton des Neiges), le radar météorologique peut apporter un complément d'observation car il permet une visualisation globale et spatiale des champs de pluies. Il peut permettre aussi de délimiter plus facilement les zones d'intensité maximale.

Les systèmes de surveillance dit classiques sont aujourd'hui les plus utilisés pour les petits bassins versants à écoulement torrentiel, par exemple celui installé sur le Paillon dans l'arrière-pays niçois. Ce système de surveillance comporte des capteurs pour mesurer dans les périodes de crise tous les paramètres sensibles, des interfaces d'acquisition et des supports de transmission pour la collecte des données, un système de gestion du réseau, des logiciels d'analyse et d'aide à la décision, des opérateurs prévisionnistes pour la décision de l'alarme.

Les difficultés restent dans l'utilisation et le coût de fonctionnement et d'entretien de ces outils de surveillance. Par exemple pour la mesure d'eau en rivière, le flotteur mécanique est encore le plus facilement utilisé, mais il reste peu fiable lorsque les vitesses de montée sont très fortes. Les capteurs de pression peuvent présenter des avantages mais aussi des contraintes, il faut adapter des capteurs à chaque site particulier. Pour les autres capteurs des précipitations au sol, l'expérience est déjà plus grande. Le capteur à auget est le seul vraiment opérationnel actuellement, même s'il présente aussi des inconvénients liés notamment au bouchage et au déréglage.

La transmission de ces données a été largement améliorée, notamment par la radiophonie, mais dans les zones montagneuses qui présentent un plus grand danger de crues torrentielles, les équipements et les relais exigent des redondances pour fiabiliser la

transmission. L'avenir est sans doute la transmission par satellite à condition que les coûts diminuent. Cette amélioration passe par une plus grande performance des vecteurs existants.

La gestion des données collectées pose moins de problème à condition que l'on investisse dans des développements informatiques. Les différentes étapes passent par le déclenchement des cycles de scrutation, le dialogue avec les capteurs de données in situ, la récupération et le décodage des messages, puis le traitement par un logiciel d'aide à la décision adaptée aux conditions locales, et enfin l'archivage de ces données.

Le logiciel informatique d'aide à la décision le plus courant est de type pluie-débit. Ces logiciels fournissent à partir des précipitations réelles des indications sur l'évolution des débits à l'exutoire ou à la station où est installé le limnigraphe de référence. Ce logiciel traite le bassin versant dans sa globalité et à un moment donné de l'intensité des pluies sans savoir quel sera l'évolution future de l'épisode pluvieux. Il est donc difficile de fiabiliser une prise de décision à un moment donné. Cependant il existe maintenant des logiciels permettant de croiser des informations hydrologiques collectées en temps réel avec des informations météorologiques et des informations de terrain propres au domaine surveillé (un pont cadre maçonné, un radier, une berge sensible, un domaine bâti, une zone de débordement). La corrélation de l'ensemble de ces informations peut permettre une analyse rapide et efficace de la situation et donc de la décision. Les utilisateurs de tels systèmes doivent être des spécialistes de la question hydrologique mais aussi du terrain.

Cependant la rapidité de la montée des eaux dans certains cas et sur certains bassins versants rend quasi inopérantes les solutions dites classiques que l'on vient de décrire. On peut alors envisager pour certains petits bassins versants des dispositifs d'alarme à partir de capteurs. A l'exemple des sirènes qui ont été installées en aval des grands barrages hydroélectriques, des sirènes peuvent avertir la population. Mais rapidement on peut trouver de nombreuses objections à cette méthode de surveillance et d'alerte sommaire. Où sera placée la sirène ? Car si dans un tissu urbain dense, on peut imaginer que l'efficacité de celle-ci soit grande, dans des milieux semi-ruraux, l'identification d'un tel signal et les opérations d'évacuation restent aléatoires. Il existe sûrement des sites intéressants d'installation de tels signaux d'alarme, mais de toute évidence cette mesure ne peut pas être généralisée.

CONCLUSION

La protection par endiguement a été privilégiée depuis les grands cyclones des années 80 et du début des années 90 (Hyacinthe, 1980 ; Clotilda, 1987 ; Firinga, 1989 ; Colina, 1993 ; Hollanda, 1994). Dans toutes les villes, des STPC ont été mis en place par des bureaux d'études. La réalisation des travaux n'est pas encore achevée, car même dans de bonnes conditions de financement de l'Etat (80%), les communes et surtout les petites communes ne peuvent pas encore financer le reste de la somme tellement celle-ci est gigantesque. La tentation de récupérer des espaces à aménager après endiguement de certaines ravines est alors forte car cet espace peut alors financer partiellement l'endiguement. Cette dérive peut entraîner une augmentation du risque car les milieux concernés sont encore plus urbanisés.

Naturellement, les endiguements sont parfois indispensables sur certaines portions du lit des ravines dont les berges ont été urbanisées à outrance et où le risque d'inondations et de divagations torrentielles concernent chaque année des dizaines ou des centaines de personnes. Mais cette protection par endiguement doit aussi faire l'objet d'une information préventive et surtout d'une action réglementaire au travers des PPRI (Plans de Prévision des Risques d'Inondation) et des autres documents d'urbanisme (POS). Les endiguements ont tendance à justifier l'extension de l'urbanisation ou de zones industrielles sur des espaces où les risques de submersion sont importants. C'est une politique dangereuse !

Dans cette lutte contre le risque de ravinement et d'inondation, il faut aussi privilégier les systèmes de surveillance et de prévision. L'amélioration de cette surveillance passe par une augmentation de manière significative de la densité des réseaux automatiques de mesure des précipitations dans les zones sensibles, notamment dans certaines zones de montagne et sur des secteurs connus pour êtres exposés. Il est possible de définir à La Réunion des secteurs où se dessinent des « pyramides de pluies » dans lesquelles peuvent se développer des « nœuds pluviométriques », c'est-à-dire des zones suffisamment localisées (Hauts de Sainte-Rose, Saint-Benoît, Grand-Ilet, Sud du massif de la Fournaise, mi-pente du Grand Bénard vers Petite France...) pour intensifier la surveillance.

Rechercher des équipements fiables et robustes qui peuvent, en matière de capteurs, transmettre des données « intelligentes ». Améliorer les interfaces et les protocoles qui peuvent êtres sécurisés

et normalisés pour se développer dans des secteurs éloignés et difficiles d'accès. Poursuivre l'amélioration des modèles de prévisions de débits et aller jusqu'au bout de leur intégration opérationnelle tout en ajustant ces modèles avec l'expérience de terrain dans le contexte local. Développer la surveillance hydrométéorologique avec les conditions hydrologiques réunionnaises et les informations météorologiques régionales au sein d'un centre de surveillance et de prévision spécifique pour le risque torrentiel tropical.

BIBLIOGRAPHIE

MAYOKA Mireille, *les cyclones à La Réunion*, Météo France, 1998.

Dossier départemental des risques majeurs : un exemple, La Réunion, Mars 1995.

Crues et laves torrentielles, Actes du colloque des 23, 24, 26 juin 1992, Société hydrotechnique de France.

Guide d'estimation des débits de crue à La Réunion, BCEOM/SOGREAH, 1992.

Le cyclone Tropical Firinga, Etude Hydrologique général, DDAF/REDETAR/Section hydrologie, 1989.

ROBERT René, *Climat et hydrologie à La Réunion*, Thèse d'Etat, Université de Montpellier, 1985.

Les Schémas Techniques Contre les Crues (STPC), mis en place depuis 1984.

MIQUEL Jacques, *Guide pratique d'estimation des probabilités de crues*, Eyrolles, 1984.

DURET Michel, *Pluies génératrices de crues à La Réunion*, DDE, première étude 1982, seconde étude 1985.