

Prévention et gestion des risques d'éboulements sur les routes en relief difficile Le cas des routes nationales à l'île de la Réunion

MM. Jean-Jacques GUEGUEN & Marc CRUCHET

direction départementale de l'Équipement de la Réunion

jean-jacques.queguen@equipement.gouv.fr

brgm

m.cruchet@brgm.fr

1. INTRODUCTION

L'île de la Réunion est un département français situé dans l'océan indien à l'Est de Madagascar. Elle fait partie, avec les îles Maurice et Rodrigues, de l'archipel des Mascareignes. Son peuplement est récent.



Figure 1 – Position de l'île de la Réunion dans l'Océan Indien

Les premiers colons s'y installèrent dans la seconde moitié du XVIIème siècle. Sa population de 250 000 habitants en 1950 est actuellement de 730 000 habitants. En 2025, elle abritera 1 million d'habitants. Ce fort développement démographique est générateur d'une demande croissante dans les domaines du logement, des infrastructures et des déplacements. Du fait de la topographie montagneuse de l'île, l'urbanisation s'est essentiellement développée sur le littoral.

L'île est dotée de 2 aéroports internationaux, le plus important, Roland Garros, au Nord, est le principal vecteur touristique de l'île qui accueille 500 000 touristes par an.

Port Réunion assure un trafic global de l'ordre de 3 200 000 tonnes et importe 27 000 véhicules par an. Il n'y a pas de cabotage maritime à la Réunion.

Créé en 1882, le chemin de fer réunionnais reliant Saint-Benoît à Saint-Pierre fut abandonné en 1963 au profit de la route qui constitue aujourd'hui le seul moyen de communication intérieur. Le maillage routier demeure très limité (1 000 km de routes principales).

La construction des routes est récente et a été essentiellement réalisée dans la 2^{ème} partie du XX^{ème} siècle exigeant, pour certaines d'entre elles, d'importants terrassements à flanc de remparts.

Le département dispose aujourd'hui d'un réseau routier structurant national qui ceinture l'île (la R.N. 1 à l'Ouest et la R.N. 2 à l'Est) et d'une diagonale (la R.N. 3) qui emprunte les plaines entre les massifs du Piton des Neiges et de la Fournaise. D'autres voies, nationales (R.N. 5 vers Cilaos), départementales (R.D. 48 vers Salazie) ou communales desservent les cirques et les hauts de l'île.

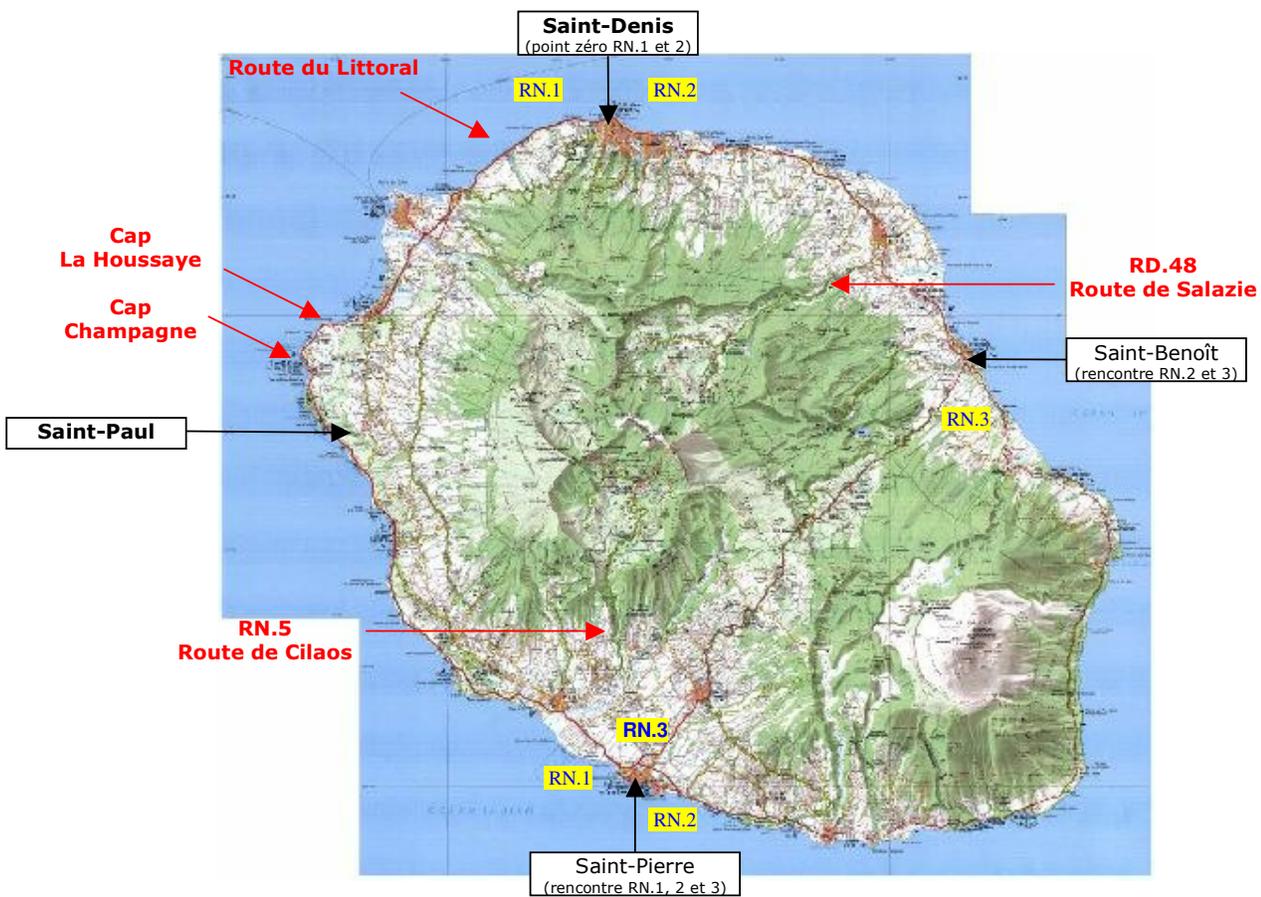


Figure 2 - Carte physique de l'île

La direction départementale de l'Équipement, antenne locale du ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer assure la gestion, l'entretien et l'exploitation des 400 km de routes nationales. Le linéaire de 2x2 voies, de 97 km, supporte des trafics de 40 à 60 000 véhicules par jour.

Certaines de ces voies sont situées sous des remparts de grande hauteur. C'est le cas de :

- la R.N. 1 dite route du littoral ou route en corniche, sur un linéaire de 11,500 km (P.R. 1+500 à 13+000) supporte un trafic de 48 000 véhicules par jour en 2002 ;
- la R.N. 1 entre les P.R. 29+000 et 34+000 serpente au pied des caps « Marianne », « La Houssaye » et « Champagne » et supporte un trafic de 36 000 véhicules par jour en 2002 ;
- la R.N. 5, dessert Cilaos ville de 6 000 habitants. Entre les P.R. 6+000 et 35+000, elle se situe sur un linéaire de 29 km à flanc de remparts qui atteignent plusieurs centaines de mètres de hauteur.

La faiblesse du maillage routier, les caractéristiques géologiques et climatiques créent des contraintes d'exploitation particulièrement exigeantes pour le service gestionnaire de ces voies.

2. LES RISQUES NATURELS A LA RÉUNION

2.1. Le milieu physique

Géologie :

L'île de La Réunion est un volcan essentiellement sous-marin, issu d'un «point chaud» actif depuis 67 millions d'années, dont seuls 3% du volume (soit 18 millions de km³) émergent. Elle est composée des deux massifs du Piton des Neiges et du Piton de la Fournaise.

L'édification du massif du Piton des Neiges s'est effectuée lors de longues périodes d'activité volcanique, séparées par des périodes de calme éruptif. Elle a débuté par la mise en place, entre 2 100 000 et 430 000 ans de la série des « océanites ». Le massif du Piton de la Fournaise, plus récent, a commencé à s'édifier il y a plus de 530 000 ans, sur le flanc sud-est du Piton des Neiges.

Si les grandes structures géomorphologiques de l'île sont relativement simples, elles deviennent complexes dans le détail, à l'échelle de l'affleurement. Le jeu conjoint de l'érosion et des éruptions au cours de l'histoire géologique a abouti à une forte hétérogénéité des terrains. Sur un même site se juxtaposent des formations de comportement mécanique très différent. Ce sont des coulées de lave massives d'épaisseur décamétrique à hectométrique qui arment les sommets de remparts, des empilements métriques de coulées de lave et de couches scoriacées, des pyroclastites, des brèches et des alluvions.

Des dykes ou des sills recourent les formations volcaniques et compartimentent les massifs.



Figure 3 – Vue aérienne de la route du littoral

Climat :

L'île de La Réunion est soumise à un régime d'alizés de sud-est, dirigé par l'anticyclone de l'océan Indien. Pendant l'hiver austral (de mai à novembre), le courant d'alizé est généralement stable, induisant un temps relativement frais et sec. Durant l'été austral (décembre à avril), l'éloignement de l'anticyclone vers le Sud et l'abaissement de la zone de basses pressions intertropicales, affaiblissent les alizés et donnent un temps chaud, humide et pluvieux. Les précipitations moyennes annuelles sont comprises entre 1 000 mm sur la côte Ouest, « sous le vent », et plus de 5 500 mm sur les reliefs Est, « au vent ».

C'est pendant la saison estivale que peuvent se créer les cyclones tropicaux. Une des résultantes de cette situation est l'intensité exceptionnelle des précipitations : La Réunion détient des records mondiaux pour des durées comprises entre 12 heures (1 170 mm) et 15 jours (6 083 mm). Ces pluies diluviennes poussent les équilibres naturels à leur limite et engendrent de nombreux mouvements de terrain.

Relief :

D'une superficie de 2 500 km² pour 207 km de côtes dont 40 km de plages, l'île présente une forme elliptique (70 km x 50 km), avec un grand axe allongé selon une direction NW-SE. Les planèzes inclinées de 10 à 18 vers l'océan sont incisées par des ravines profondes aux berges abruptes (remparts). L'érosion du cœur du massif volcanique du Piton des Neiges a abouti à la formation de trois cirques, vastes dépressions circulaires de 10 km² chacune.

Les reliefs volcaniques (planèzes, cônes stromboliens,...) ont subi les agressions marines et continentales. Les falaises correspondent aux escarpements littoraux façonnés par la houle. La remontée actuelle du niveau marin provoque une attaque des reliefs. Les falaises sont soit actives et érodées en pied par la houle (zone d'érosion), soit protégées par des cordons de galets ou de sables (zone de sédimentation). On trouve également des escarpements littoraux en retrait de la côte : ce sont des falaises mortes dont l'origine remonte aux précédentes transgressions marines. Leur hauteur peut atteindre 200 m (exemple de la falaise de la route du littoral entre Saint-Denis et La Possession).

Les remparts sont le résultat de l'incision des flancs du volcan par l'érosion continentale. Ces abrupts ont parfois une origine tectonique (bordures de caldera). Les dénivelés dépassent communément 1 000 m et peuvent atteindre 1 500 m. Les falaises et les remparts étant infranchissables, les routes longent ces reliefs.

L'origine des escarpements est parfois, pour partie, d'origine anthropique. Pour franchir les caps, les gorges et les défilés, des abattages importants sur plusieurs dizaines de mètres de hauteur, ont été effectués lors des constructions des premières routes. Ces escarpements ont retrouvé un aspect naturel.

2.2. Les phénomènes naturels dangereux

Les mouvements de terrain les plus fréquents à la Réunion sont les chutes de pierres et de blocs (éléments de lave ou de scories). Les empilements de couches scoriacées et de coulées de lave d'épaisseur métrique sont des terrains très propices au déclenchement de chutes de blocs. La couche scoriacée constituée par la semelle et le toit des coulées de lave, friable, s'érode facilement. Les blocs de la coulée de lave sus-jacents se retrouvent en surplomb et basculent dans le vide.

La taille des blocs libérés gravitairement varie de quelque cm^3 à plusieurs m^3 .



Figure 4 – Chute de blocs sur la route du littoral

Si le volume dépasse la dizaine de m^3 , on parle d'éboulement. Un autre mécanisme de rupture est à l'origine des éboulements des falaises et des remparts : l'écaillage des parois. Des panneaux d'épaisseur métrique délimités par des fissures parallèles à la paroi se détachent du rempart ou de la falaise. Les volumes mis en jeu vont de quelques dizaines de m^3 à plusieurs centaines de milliers de m^3 .

3. LA GESTION DES RISQUES D'ÉBOULEMENT SUR LES ROUTES

3.1. La surveillance et le suivi

- Les procédures d'alerte

Les services de l'État, sous l'autorité du Préfet, se sont dotés d'un système d'alerte cyclonique qui comprend 4 phases : la vigilance cyclonique lorsqu'une perturbation est sur zone ; l'alerte orange lorsque la trajectoire de la dépression est susceptible de menacer l'île ; l'alerte rouge lorsque la dépression tropicale ou cyclone est dans un rayon d'environ 300 km centré sur l'île ; la phase de prudence après le passage de l'événement.

Durant l'alerte rouge, l'activité économique est stoppée, les habitants ont interdiction de quitter leur résidence et les routes sont fermées. Ces dernières ne sont réouvertes qu'après évaluation des dégâts et rétablissement de la viabilité.

- Le patrouillage

Un patrouillage renforcé a été mis en place sur les routes à risques. Par exemple, la route du littoral fait l'objet d'un patrouillage en continu, 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 à raison d'une rotation à l'heure. Outre leurs tâches traditionnelles (information, interventions sur accidents, petit entretien), ces patrouilles recensent précisément les chutes de blocs (date, lieu, poids, nombre d'impacts). Ces informations permettent notamment de dresser une corrélation entre les événements pluvieux et les éboulements, qui permettra à l'avenir d'affiner les niveaux de risques. Elles apportent également une sécurité juridique complémentaire à l'exploitant.

- Les missions de surveillance des falaises, remparts et dispositifs de protection

Au moins deux fois par an, avant et après la saison cyclonique, ainsi qu'après les événements pluvieux importants ou les feux de falaise, une visite systématique des remparts est réalisée par l'exploitant.

Ces visites permettent de dresser un état des lieux de la falaise (état de la végétation et de son évolution), de repérer les fissures importantes et les résurgences et de contrôler les dispositifs passifs de retenue des blocs installés sur les parois. Elles donnent lieu à un rapport détaillé et à la préconisation de mesures préventives.

Lors des inspections, des zones potentiellement instables sont parfois repérées. Le cas le plus fréquent est le repérage de fissures ouvertes délimitant des compartiments rocheux de plusieurs centaines voire de plusieurs milliers de m³. Ces sites sont alors mis en observation et suivis pour connaître l'activité de la fissure et appréhender le risque. Pour ce faire, des mesures du déplacement relatif des masses rocheuses sont effectuées à partir de repères fixes.



Figure 5 – Extensomètre en crête du Cap Champagne

Sur des sites sensibles (P.R. 5+200 de la route du littoral et Cap Champagne), le déplacement est contrôlé plusieurs fois par jour par des extensomètres. Les mesures de déplacement sont stockées dans une centrale d'acquisition, reliée ou non à un modem pour consultation depuis les bureaux de la D.D.E.

Par ailleurs, chaque éboulement donne lieu à une reconnaissance in situ pour identifier la zone de départ et apprécier les risques secondaires. Le cas échéant, une visite hélicoptérée de la falaise, voire une reconnaissance par cordistes, est organisée.

Les conclusions de ces visites peuvent justifier des nettoyages ou purges de falaise organisées immédiatement - la gestion du trafic se fait par microcoupures - ou différées aux heures de moindre trafic, lors de coupures totales de la voie.

Ces purges sont réalisées manuellement par cordistes équipés de cannes, de vérins hydrauliques ou de coussins gonflés à l'air comprimé. L'explosif est très rarement utilisé afin d'éviter des désordres secondaires dans le massif. Deux sociétés d'hélicoptère sont présentes sur l'île et cinq entreprises locales peuvent mobiliser rapidement 12 à 25 cordistes.

Avant la mise en œuvre de travaux de protection, des études géologiques et géotechniques sont engagées. Elles permettent une évaluation de la menace par la détermination de la nature des instabilités et des volumes concernés et la compréhension des mécanismes de déclenchement des mouvements de terrain ainsi que des modes de propagation. L'étude trajectographique vise à évaluer l'énergie des masses en mouvement en un point donné et définir leur trajectoire. Elle s'appuie sur des levés topographiques et des profils en travers précis.

3.2. Protection contre les éboulements et les chutes de blocs

Le choix des protections contre les éboulements et les chutes de blocs dépend de nombreux paramètres : l'importance du trafic routier, les enjeux économiques, l'environnement naturel, les contraintes physiques et les possibilités techniques.

L'accroissement du trafic routier au cours des dernières décennies, lié au développement de l'île, exige des niveaux de protection de plus en plus élevés. La protection des voies interurbaines appelle des moyens plus élaborés que celle d'une route de montagne, du fait des exigences économiques de plus en plus pressantes.

Ainsi, les tronçons de route les plus protégés sont situés aux entrées des agglomérations (Saint-Denis, Saint-Paul). Dès que le réseau routier est saturé et que les véhicules stationnent sous les falaises, la protection doit être extrêmement efficace, la probabilité d'impact sur véhicules étant accrue.

Sur le plan technique, on distingue :

- les méthodes dites passives : il s'agit de contrôler la propagation des masses en mouvement en stoppant leur course par des écrans ou en les canalisant par des déflecteurs ;



Figure 6 – Filets déflecteurs sur la route du littoral

- les méthodes dites actives : la protection vise à empêcher le départ des masses par des ancrages ou par la pose de revêtements sur la paroi.

Les écrans :

Ces techniques sont généralement faciles à mettre en oeuvre. Des écrans sont disposés en travers de la pente, entre la falaise et la route. Si l'espace disponible est suffisant, l'écran est constitué par un mur de gabions complété par une fosse. Par exemple, la route du littoral est équipée sur toute sa longueur d'un système de fosses et gabions qui canalise 99 % des 10 000 tonnes de blocs produits par la falaise chaque année.

Des écrans bois ou des barrières grillagées, haubanées, sont utilisés lorsque la route, exposée à des chutes de pierre, est accolée au pied du relief.

Sur les glacis en pied d'escarpement, les protections sont constituées d'écrans de filets métalliques munis de freins dont le rôle est d'absorber l'énergie (exemple : Cap La Houssaye).



Figure 7 - Dispositifs d'arrêts au Cap La Houssaye

Ces dispositifs peuvent contenir des blocs de plus de 5 tonnes dont les vitesses de chute atteignent 100 km/h. Les caractéristiques de l'ouvrage sont déterminées en fonction de l'énergie des blocs.

Les déflecteurs :

Les trajectoires des blocs et des pierres qui se détachent des escarpements rocheux sont complexes. Les éléments rocheux roulent, rebondissent, éclatent lors de leur impact. Pour se protéger contre les projections et les rebonds défavorables, il est parfois nécessaire de recouvrir les escarpements par des nappes de filets métalliques et/ou de grillages. Les masses en mouvement sont guidées dans leur chute jusqu'au pied du relief où sont construits les pièges (écrans, fosses).

Le revêtement des parois :

Cette technique est employée sur les falaises surplombant les chaussées (exemple de la falaise du Cap La Houssaye sur la commune de Saint Paul). La paroi, préalablement nettoyée, est recouverte par une nappe de filets métalliques, tendus et plaqués contre le rocher. Si les masses sont volumineuses (plusieurs m³), le filet utilisé est renforcé par des câbles ou doublé (double nappe).

Une très large gamme de filets est aujourd'hui proposée par les industriels : filet anti-sous-marin (A.S.M.) ou équivalents, filets à maille hexagonale traités contre la corrosion, géogrilles adaptées aux terrains friables. La combinaison de ces diverses techniques de filet peut s'avérer, dans certains cas, non satisfaisante. On procède alors au recouvrement de la paroi par du béton projeté. Ce procédé permet une imperméabilisation du terrain qui freine sa dégradation.

A la Réunion, le béton projeté est utilisé pour le traitement des parois constituées de couches de scories, sensibles aux agressions météorologiques (pluies, sécheresse). Son utilisation est fréquente lorsque l'on souhaite consolider le massif par des ancrages, notamment dans les zones urbaines.

Autres techniques de protection :

Des opérations de foudroyage de panneaux rocheux ont été menées sur des sites particulièrement dangereux où les techniques courantes présentées ci-dessus sont délicates et dangereuses à mettre en œuvre par les techniciens opérant en falaise, en particulier lorsque les masses rocheuses décollées de la paroi sont en limite de stabilité (écaille disloquées). Pour réduire les vibrations, l'abattage est réalisé par des tirs en mode séquentiel avec une charge unitaire explosive la plus faible possible.

L'ancrage des masses rocheuses permet de stabiliser les blocs de très grands volumes (blocs ou écailles de plusieurs dizaines de m³) qui ne peuvent être maîtrisés par les dispositifs courants. Les coulées de lave massives qui arment les sommets des escarpements sont fréquemment ancrées (exemple de la falaise de Manapany sur la commune de Saint-Joseph).

Les entrées des tunnels routiers généralement exposées aux chutes de pierres et aux éboulements sont protégées par des « casquettes » en béton armé ou au moyen de filets métalliques. Le prolongement du tunnel par une structure bétonnée assure une protection efficace contre les chutes de blocs (exemple du tunnel du Cap Bernard sur la route du littoral).

Les conditions topographiques exceptionnelles de l'île – remparts de plus de 1 000 mètres – font qu'il est parfois impossible de protéger la route par les dispositifs précités. Dans ce cas, seules des solutions d'évitement (exemples : tunnel de Peter Both, reconstruction d'une digue dans le lit de la rivière du Bras de Cilaos à îlet à Furcy) permettent de rétablir l'itinéraire dans des conditions de sécurité acceptables.



Figure 8 : Évitement d'un éboulement actif de 10 000 m³
(R.N. 5, route de Cilaos)

4. L'EXEMPLE DE LA ROUTE DU LITTORAL ENTRE ST-DENIS ET LA POSSESSION

4.1. Du chemin des Anglais à l'actuelle route du littoral

La première réalisation d'une liaison entre Saint-Denis et La Possession remonte à 1735. Améliorée 40 ans plus tard, cette voie passant par La Montagne devient le chemin des Anglais en 1810. L'idée de passer par la côte prend corps en 1854 sous l'impulsion du gouverneur Hubert DELISLE mais les travaux entrepris sont rapidement abandonnés.

Ce n'est qu'un siècle plus tard, en 1955 que le département de la Réunion prend la décision de construire, entre Saint-Denis et La Possession, une route moderne longeant le littoral. Le projet consiste à abattre largement la falaise pour constituer une assise d'enrochement. Le chantier entrepris en 1960 aboutit à l'ouverture, en juin 1963, d'une route bidirectionnelle qui se substitue à la route de La Montagne (R.D. 41) itinéraire de 32 km particulièrement sinueux et malaisé. Faut d'enrochements suffisants, la route suit le pied de falaise au plus près. La mauvaise tenue des terrains ne permet de réaliser que deux tunnels dont l'un est aujourd'hui abandonné. La route est donc très exposée à des chutes de pierres, à des éboulis, voire à des écroulements de moyenne et grande ampleurs qui occasionnent accidents et fermetures temporaires (de 19 à 75 jours par an). Par la jurisprudence DALLOT (arrêt du 6 juillet 1973), le Conseil d'État reconnaît à cette route le caractère d'un ouvrage exceptionnellement dangereux de nature à engager la responsabilité de l'État. Par ailleurs, le trafic passe de 3 400 véhicules par jour en 1964 à 9 200 en 1971.

En 1972, il est donc décidé de moderniser cette liaison, d'intérêt économique majeur, en l'éloignant du pied de la falaise sans l'exposer trop fortement aux houles cycloniques, tout en doublant sa capacité.

Cette 2x2 voies est mise en service en février 1976 après 29 mois de travaux au pied d'un massif rocheux hétérogène et discontinu. Située à une côte moyenne de + 8,60 m par rapport au zéro du nivellement général de la Réunion (le marnage à la Réunion est de l'ordre d'un mètre), elle est protégée de la mer par un mur en « terre armée » et une carapace de tétrapodes. Le coût de cette nouvelle infrastructure s'élève à 860 millions de francs (valeur 1976) soit 444 M.€ en coût actualisé 2003 pour un linéaire de 11,5 km.

L'écoulement des eaux, la forte pluviosité, la mise en charge du massif et les phénomènes connexes de dessiccation font de la falaise un milieu fragile et évolutif qui continue à un degré, certes, nettement atténué, à menacer les usagers sur cette nouvelle infrastructure. Le nouvel ouvrage reste soumis à des éboulements ponctuels de quelques tonnes et de grande masse variant entre 200 et 25 000 m³, qui font encore des victimes parmi les usagers (17 morts de 1976 à ce jour, le dernier en 1997).

Parallèlement les trafics croissent pour atteindre aujourd'hui 48 000 véhicules par jour. Les risques augmentent avec la densité de circulation et le taux d'occupation des voies. Les légitimes aspirations à une sécurité accrue s'expriment de manière plus forte.

C'est pourquoi dès 1983 est institutionnalisé le principe de basculement de la circulation dès que l'intensité de la pluie dépasse 15 mm en 24h00 et ce pour une durée de 72 heures. En effet, on a observé que la chute de blocs est cinq fois plus fréquente après un important événement pluvieux qu'en période sèche.

Par ailleurs, il s'avère que le premier impact est 6 à 8 fois plus fréquent sur la chaussée amont que sur la chaussée aval. Au total la chaussée amont est 4 fois plus atteinte que la chaussée aval et les masses concernées y sont plus importantes.

La cour administrative d'appel de Paris, dans son arrêt du 16 mai 1989 – ministre de l'Équipement contre consorts BABET-IVOULA – valide les seuils mis en place par l'administration. En 1997, une commission d'experts internationaux présidée par M. MOISSONNIER confirme la cohérence des seuils pluviométriques et modes d'exploitation retenus.



Figure 9 – Éboulement de 500 m³ sur la route du littoral
avril 2003

4.2. Concilier sécurité et fluidité

- Le renforcement de la sécurité par des équipements passifs :
Des années 1980 à nos jours, l'ensemble du linéaire est équipé de fosses et murs en gabions d'une hauteur de 2 à 4 mètres. Ce dispositif permet d'arrêter plus de 99 % des éboulements de faible et moyenne ampleurs.

Ce dispositif est complété par des filets de protection sur les points les plus actifs et sensibles, notamment en sortie du chef lieu St Denis (P.R. 1+000 à 3+500) qui ne fera plus l'objet de basculement de circulation à partir de février 1998.

Les investissements consentis sont dans les 10 dernières années de l'ordre de 33 M.€.



Figure 10 – Filets déflecteurs de la route du littoral (P.R. 2)

- La mise en œuvre de la 2+1

Le constat de l'engorgement de l'itinéraire en période de basculement, les congestions de trafic induites à ses extrémités, l'insécurité routière en exploitation bidirectionnelle amènent en 1997 monsieur le directeur des routes à opter pour un mode de gestion expérimental à 3 voies (2+1) sur la chaussée côté mer. Ce nouveau mode de gestion est opérationnel dès 1999 pour un investissement spécifique de 12 M.€ hors renforcement du mur en terre armée, également traité par cloutage à cette occasion (27 M.€).

Ce mode de gestion permet d'organiser en période pluvieuse 3 voies de circulation sur la chaussée la plus éloignée de la falaise : 2 dans le sens le plus chargé, 1 dans l'autre sens, selon le mouvement pendulaire du trafic.



Figure 11 – Machine de transfert de blocs

Les débits ainsi écoulés, sont, en l'absence d'incidents, de 2 400 véhicules par heure dans les 2 voies réduites et de 1 300 véhicules par heure dans la voie unique. Les deux sens de circulation sont séparés par un dispositif de retenue destiné à éviter les chocs frontaux entre véhicules, constitué de 5 000 blocs de béton de 2 mètres de longueur et d'un poids unitaire de 700 kg.

Cette chaîne de blocs, stockée sur l'accotement côté mer, d'un poids total de 3 500 tonnes, est déplacée par deux machines de transfert qui sont activées indépendamment ou simultanément. Ces prototypes se déplacent à 5 km/heure et permettent un déport des blocs de l'ordre de 4 mètres. Un à deux transferts sont nécessaires pour un passage en 1+2 puis en 2+1.

Les basculements d'extrémité sont gérés par des dispositifs métalliques d'interruption de terre-plein central déplacés manuellement par des agents.

La signalisation d'information et de police par panneaux à messages variables est commandée depuis un centre de gestion de trafic situé dans les locaux de la direction départementale de l'Équipement.

4.3. Le recueil des données pluviométriques et le déclenchement des basculements

Quatre sites de la route du littoral sont équipés de pluviomètres automatiques espacés de 2 à 4 km (P.R. 3+000, 5+500, 8+500, 12+900). Ces pluviomètres sont reliés par fibres optiques à un ordinateur de Météo France et doublés par des pluviomètres à lecture directe.



Figure 12 – Route du littoral en mode basculé

Les données sont mises à jour par pas de 30 minutes. Elles sont analysées et un automate pré-alerte téléphoniquement l'exploitant dès que la pluviométrie atteint 10 mm. Au-delà de 15 mm, un nouveau message de dépassement de seuil est adressé à l'exploitant qui met en œuvre immédiatement les mesures de basculement de la circulation.

La ou les machines de transfert de blocs sont activées ainsi que le centre régional de gestion de trafic qui coordonne les opérations de basculement, commande les panneaux d'information et de police, organise l'information à l'usager (fax aux autorités, aux professionnels de la route, médias; interventions en direct sur les ondes, mise à jour audiotel et Internet).

Un réseau de 30 caméras de surveillance de l'itinéraire permet de suivre l'avancement du chantier et l'évolution du trafic.



Figure 13 – Photo du C.I.G.T.

La durée de mise en œuvre du basculement est de 2h30 à 3h00. Chaque opération coûte 15 000 € et nécessite la présence de 9 agents.

4.4. Le bilan des mesures de gestion et les perspectives

Le mode basculé a permis de diminuer de façon significative l'accidentologie liée à des chutes de blocs. Le système 2+1 assure une meilleure réactivité et fiabilité lors des événements pluvieux. Il offre une meilleure sécurité aux usagers en empêchant les chocs frontaux. Il a permis de réduire de moitié les congestions de trafic.

L'augmentation de la demande en déplacements exige de trouver des solutions complémentaires. Une poursuite de l'amélioration de la sécurité de l'itinéraire par la pose de nouveaux dispositifs en falaise permettront de réduire les durées des basculements.

A moyen terme, il est prévu de moderniser l'itinéraire par une digue en mer sur 7 km et un passage en tunnel sur 4 km. Un transport en commun en site propre type train-tramway est projeté sur l'emprise du projet.

5 – CONCLUSION

L'expérience technique, juridique de 2 décennies de gestion des risques naturels à la Réunion, en particulier sur les routes exposées, montre qu'il est possible de lutter contre les éboulements limités.

L'enjeu des prochaines années consiste à développer la recherche et l'expérimentation en matière de prévision des éboulements de grande ampleur grâce aux nouvelles technologies.