



Guide

**sur les modalités
de gestion
des eaux pluviales
à La Réunion**



Photos de couverture :

1	3
2	

1. © Source EGIS – dossier Nouvelle Route du Littoral
3. © Région Réunion

GRAPHICA

IMPRIMÉ SUR PAPIER ÉCOLOGIQUE FSC
DL N° 5465 - 10/2012



CHAPITRE 1

Introduction



1.1 **Objet du guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales de La Réunion**

Le Comité de Bassin a adopté le 2 décembre 2009 le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux 2010-2015 de La Réunion.

Une des orientations de ce SDAGE vise à « réduire l'aléa inondation en améliorant la prise en compte du risque pluvial ». Cette ambition est également affichée dans l'orientation fondamentale 3 relative à la lutte contre les pollutions.

Si les phénomènes liés à une mauvaise gestion des eaux pluviales sont désormais bien connus (augmentation des vitesses d'écoulement et réduction des temps de concentration, augmentation des débits de pointe, dégradation de la qualité des eaux ruisselées), le contexte réunionnais présente des spécificités qui rendent indispensable une gestion efficace des eaux pluviales :

- un climat tropical caractérisé par une saison humide et cyclonique parfois paroxysmique (records mondiaux de pluviométrie sur les périodes comprises entre 12 heures et 15 jours) et une saison sèche marquée ;
- une forte pression démographique conduisant à un rythme d'urbanisation très rapide (entre 1989 et 2003, la surface urbanisée a été multipliée par 2 dans les bas, 3 dans les mi-pentes et 5,5 dans les hauts) renforçant la problématique amont-aval ;
- des milieux naturels de grande qualité, qu'il s'agisse d'espaces terrestres (cours d'eau, étangs...) ou marins (lagon), qui constituent généralement les exutoires des eaux ruisselées ;

Compte tenu de ces enjeux, l'État a souhaité élaborer un guide à destination des aménageurs afin de les aider dans la démarche de conception des aménagements de gestion des eaux pluviales. Ce guide s'est notamment attaché à compléter les méthodes et réglementations nationales par une approche intégrant les caractéristiques réunionnaises, notamment sur :

- la définition des paramètres hydrologiques à prendre en compte dans la gestion des eaux pluviales ;
- la synthèse des réglementations locales à intégrer dans la conception des aménagements ;
- l'identification des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales adaptées au contexte réunionnais.

1.2 Méthode générale pour la gestion des eaux pluviales

Le schéma suivant décrit, en huit étapes, les questions à traiter lors de la conception du projet. Il précise les chapitres du guide et les étapes clés de la démarche

CONTEXTE

ÉTAPE 1 À QUELLE PROCÉDURE LE PROJET EST-IL SOUMIS AU TITRE DE LA LOI SUR L'EAU ?

- Quelle est la superficie totale du projet et la superficie imperméabilisée ?
- Quel est le bassin versant intercepté par le projet ?
- Y a-t-il des zones imperméables existantes à prendre en compte ?

[Chapitre 2.3](#)

ÉTAPE 2 LES MODALITÉS DE GESTION DES EAUX PLUVIALES SONT-ELLES IMPACTÉES PAR D'AUTRES RÉGLEMENTATIONS ?

- Quelles sont les contraintes liées aux documents locaux (Plan local d'urbanisme, schéma directeur des eaux pluviales, plan de prévention des risques, règlement sanitaire départemental...)
- Ces documents fixent-ils un débit de fuite du rejet, des objectifs de qualité ?

[Chapitre 2.4](#)

DÉBIT DE REJET ET RETENTION ÉVENTUELLE

ÉTAPE 3 COMMENT ÉVALUER LES INCIDENCES DU REJET DE LA ZONE AMÉNAGÉE ?

- Quel est le milieu récepteur (cours d'eau, zone récifale, réseau...)?
- D'autres projets concernant le même secteur sont-ils connus? Déjà autorisés?
- Y-a-t'il des points sensibles? (zones urbaines inondables, ouvrage sous-dimensionné...)

[Chapitre 2.4.2](#)

ÉTAPE 4 QUEL DÉBIT FAUT-IL RESPECTER EN SORTIE DE PROJET ?

- Calculer le débit à l'état initial en sortie de projet en choisissant la méthode de calcul appropriée.
 1. **Réseau communal**: demander au gestionnaire du réseau l'autorisation de rejet dans le réseau communal. Si le débit du projet est acceptable par le réseau, l'aménageur n'a pas l'obligation de réaliser un dossier loi sur l'eau (mais il faut une convention de gestion).
 2. **Océan**: pas de limitation de débit (sauf cas particulier de zones).
 3. **Milieu naturel**: pas d'aggravation de la situation initiale, $Q_{\text{final}} = Q_{\text{initial}}$.
- Calculer le débit à l'état final, après réalisation des aménagements

[Chapitre 3](#)

ÉTAPE 5 QUEL VOLUME D'EAU DE PLUIE FAUT-IL ÉVENTUELLEMENT STOCKER ?

- Choisir la période de retour de la pluie de projet en fonction des enjeux aval ;

Chapitre 4.1

- Calculer le volume à l'aide de la méthode des pluies.

Chapitre 4.3.1

ÉTAPE 6 L'OUVRAGE PROPOSÉ EST-IL ADAPTÉ AU CONTEXTE ?

- L'ouvrage respecte-t-il les contraintes de débit de fuite et de volume calculés précédemment ?
- Est-il situé hors zone inondable ?
- La défaillance de l'ouvrage est-elle prévue (surverse de sécurité, chemin des eaux en aval, by-pass...) ?
- L'infiltration est-elle possible (caractéristiques du sol, nappe ou captage AEP proche ?),

ÉTAPE 7 : QUEL TRAITEMENT DOIT ÊTRE IMPOSÉ AVANT REJET ?

- Nature des produits ?
- Type de pollution possible (chronique, accidentelle) ?

Chapitre 4.4.1

MODE DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

ÉTAPE 8 : QUEL TYPE D'OUVRAGE EST LE PLUS ADAPTÉ ?

- Quelles techniques peuvent être envisagées en fonction des critères existants (contraintes du site, objectifs qualitatifs et quantitatifs)
- Le projet doit-il être adapté pour optimiser la gestion des eaux pluviales ?

Chapitre 4.4.2

CHAPITRE 2

Contexte réglementaire



LA PROTECTION DE LA RESSOURCE EN EAU ET DES MILIEUX AQUATIQUES ET LA NÉCESSAIRE PROTECTION DES PERSONNES ET DES BIENS FACE AUX RISQUES D'INONDATION ONT AMENÉ LES AUTORITÉS À LÉGIFÉRER SUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES. LE SOCLE RÉGLEMENTAIRE RELATIF À CET ENJEU EST DÉCRIT DANS LE PRÉSENT CHAPITRE.

2.1 Définition et cadre juridique d'ensemble

Selon la jurisprudence de la Cour de cassation (13 juin 1814 et 14 juin 1920) les **eaux pluviales** sont les eaux de pluie, mais aussi les eaux provenant de la fonte des neiges, de la grêle ou de la glace tombant ou se formant naturellement sur une propriété, ainsi que les eaux d'infiltration. La notion d'**eaux de ruissellement** ne semble pas avoir de contenu juridique spécifique. Elle est présente dans la législation associée à celle d'eaux pluviales ou à celle de crue.

Le **régime juridique** de ces eaux pluviales est fixé pour l'essentiel par les articles 640, 641 et 681 du code civil, qui définissent les droits et devoirs des propriétaires fonciers à l'égard de ces eaux.

L'article 640 du code civil indique que « *les fonds inférieurs sont assujettis envers ceux qui sont plus élevés à recevoir les eaux qui en découlent naturellement sans que la main de l'homme y ait contribué* ». Ceci crée donc **une servitude** et le propriétaire qui subit la servitude ne doit ni empêcher

l'écoulement des eaux, ni aggraver la servitude du fonds inférieur. Si l'usage des eaux ou la direction qui leur est donnée aggrave cette servitude (article 641), les propriétaires de terrains pourront obtenir une indemnisation dans ce cas (ex : si les eaux pluviales ont été canalisées pour être déversées en un seul point alors qu'auparavant elles s'écoulaient naturellement sur l'ensemble du terrain). Les propriétaires auront à démontrer l'existence d'un préjudice.

L'article 681 indique que la commune a le droit de laisser s'écouler vers des fonds inférieurs les eaux pluviales qui tombent sur son domaine public comme sur son domaine privé. Elle ne doit cependant pas aggraver l'écoulement naturel de l'eau de pluie qui coule de ses terrains vers les fonds inférieurs.

2.2 Schéma de synthèse

Ce schéma a pour objet d'indiquer les textes réglementaires en lien avec la gestion des eaux pluviales. Le détail de ces textes figure en annexe I.

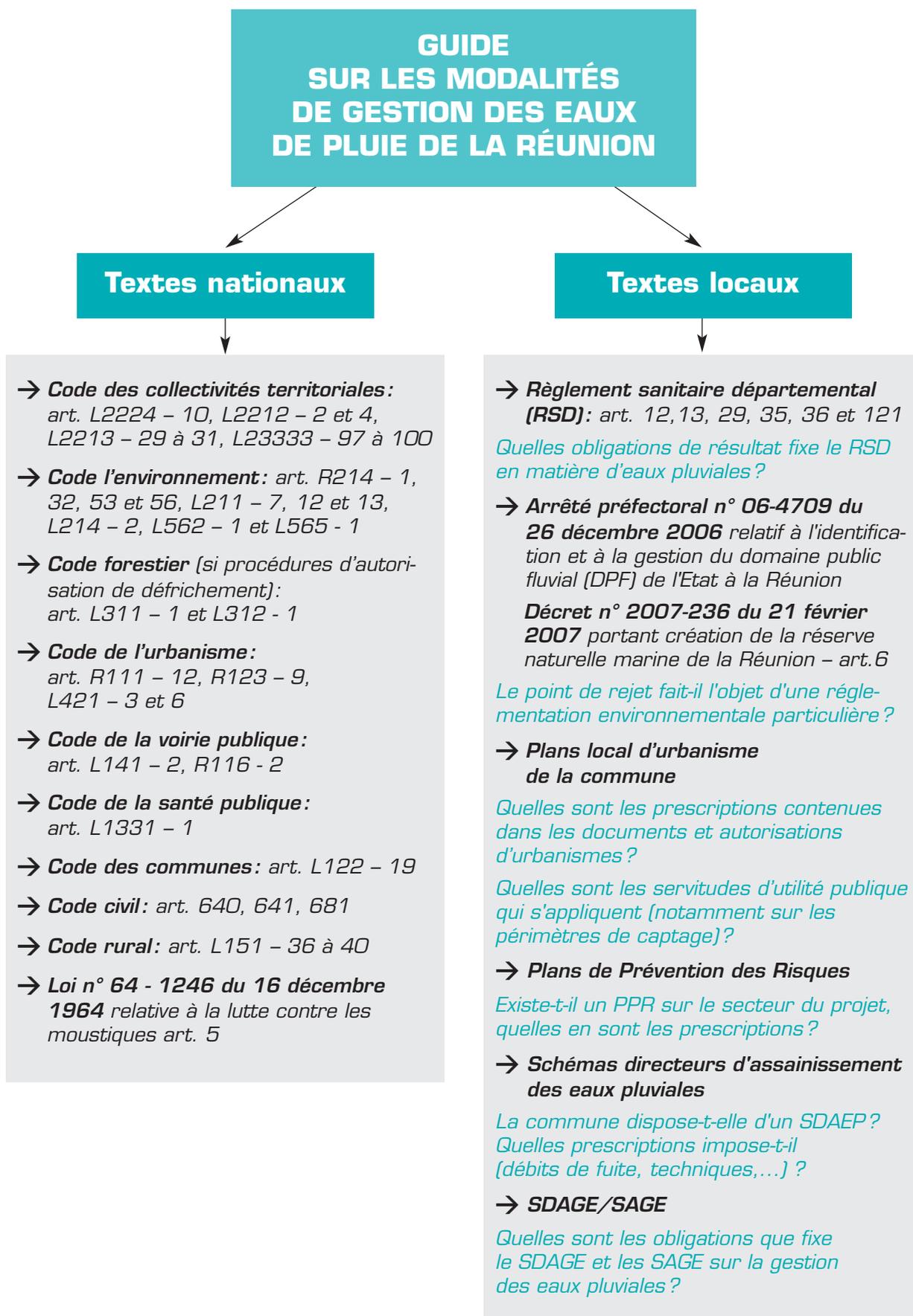


Figure 2.1. : schéma de synthèse indiquant les textes réglementaires liés à la gestion des eaux pluviales

2.3 Régime juridique des eaux pluviales au titre de la loi sur l'eau

2.3.1 Rappel de la nomenclature Eau

La nomenclature des installations, ouvrages, travaux et activités soumis à autorisation ou à déclaration au titre de la « loi sur l'eau » est fixée par l'article R.214-1 du Code de l'Environnement. La rubrique 2.1.5.0 fixe le cadre juridique relatif aux rejets d'eaux pluviales :

Cas des rejets dans un réseau :

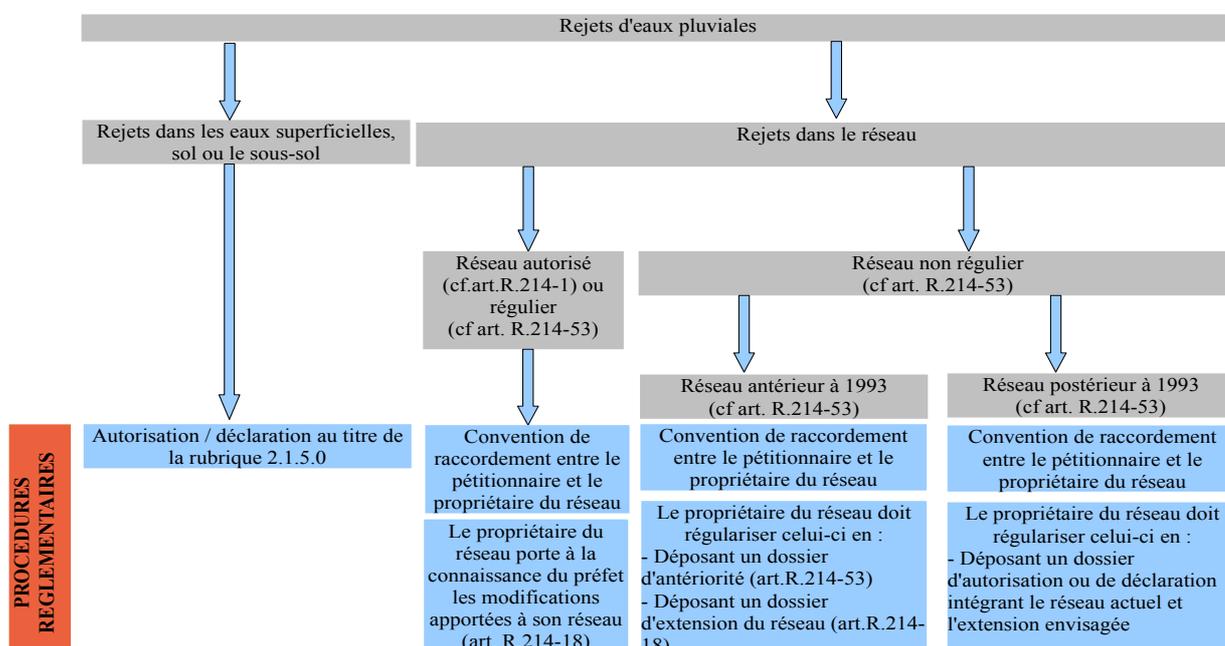
Dans le cas d'un rejet dans un réseau, qu'il soit public ou privé, ce raccordement doit être autorisé par le gestionnaire de ce réseau (qui précise les conditions de ce déversement). Contrairement aux dispositions prévues pour les eaux usées, il n'y a pas d'obligation à accepter les eaux pluviales (cf. art. L.1331-1 du Code de la Santé Publique)

Dès lors que la gestion des eaux pluviales d'un projet se traduira par un seul point de rejet dans un réseau urbain bétonné existant (hors fossé de bord de route), la rubrique 2.1.5.0 ne sera pas appliquée.

Dans ce cas, le pétitionnaire devra produire au service police de l'eau

2.1.5.0. Rejet d'eaux pluviales dans les eaux douces superficielles ou sur le sol ou dans le sous-sol, la surface totale du projet, augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet, étant :

1. Supérieure ou égale à 20 ha : Autorisation.
2. Supérieure à 1 ha mais inférieure à 20 ha : Déclaration



une autorisation formelle de la collectivité gestionnaire du dit réseau, qui après avoir pris connaissance du projet et de ses caractéristiques hydrologiques et hydrauliques, les autorise à s'y raccorder.

En cas de rejets multiples dont certains directement dans le milieu naturel, le projet sera soumis à déclaration ou autorisation au titre de la rubrique précitée.

Cas des installations classées pour la protection de l'environnement

Conformément aux dispositions prévues par l'article L.214-1 du Code de l'Environnement, les projets relevant de la nomenclature des installations classées ne sont pas soumis aux procédures d'autorisation et déclaration loi sur l'eau. L'article L.214-7 du Code de l'Environnement précise néanmoins que ces projets restent soumis aux dispositions des articles L.211.1, L.212-1 à L.212-11, L.214-8, L.216-6 et L.216-13.

En pratique, le pétitionnaire intégrera la méthodologie développée dans le présent guide en ce qui concerne l'analyse de l'état initial (§ 2.4), l'analyse hydrologique (§3) ainsi que la méthode de dimensionnement. Les objectifs imposés aux ICPE en matière de gestion des eaux pluviales peuvent différer en raison de l'obligation de contrôler la qualité de ces eaux avant leur rejet (*cf. article 9 de l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation*).

2.3.2 Objectifs réglementaires imposés pour la gestion des eaux pluviales

Les objectifs réglementaires indiqués ci-après sont ceux imposés au titre du Code de l'Environnement. Ils peuvent être complétés par d'autres réglementations détaillées dans le paragraphe 2.4.

La gestion des eaux pluviales est basée sur deux principes :

■ **La non aggravation de l'état initial (au niveau quantitatif)**

Ce principe, issu de la réglementation fixée par le Code Civil, impose donc que les effets de l'imperméabilisation soient intégralement compensés ($\Delta = 0$). La période de retour sur laquelle ce calcul doit être effectué est définie dans le *chapitre 4.1*. Cette période de retour ne pourra être inférieure à 10 ans.

■ **Le traitement des eaux pluviales, adapté au contexte, afin de ne pas remettre en cause le respect des objectifs de qualité des masses d'eau (au niveau qualitatif)**

Le pétitionnaire doit préciser la sensibilité du milieu récepteur et évaluer les conséquences négatives potentielles de son projet, afin de les réduire à la source. Le *chapitre 4.4* détaille les modalités de calcul de ce traitement.

2.3.3 Calcul de la superficie à prendre en compte pour l'application de la nomenclature Eau

La surface qui doit être prise en compte correspond à la surface totale du projet, augmentée de **la surface correspondant à la partie du bassin naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet** (cette seconde partie constitue le bassin versant intercepté). Il s'agit donc de considérer l'ensemble des surfaces sur lesquelles s'écoulent des eaux de pluies qui vont par la suite ou immédiatement transiter par le projet (cf. *méthode de calcul dans le chapitre 3.3.2.2*). Cette surface devra être utilisée pour l'ensemble des calculs des débits d'écoulements.

Dans le cas où aucun ruissellement extérieur n'est collecté par le projet, la superficie à considérer se réduit donc au terrain d'emprise du projet.

Le tableau suivant indique, en fonction de la taille du projet, les cadres juridiques associés.

Par ailleurs, pour la détermination du type de procédure, il faut totaliser les superficies correspondant :

- au projet de collecte et de rejet d'eaux pluviales et

- au réseau de collecte déjà réalisé par la même personne sur le même site hydraulique.

Les projets dont la surface est inférieure à 1 hectare (type logement individuel) ne sont pas soumis à un cadre juridique. Néanmoins, ces projets, s'ils s'accumulent, contribuent également à l'augmentation des ruissellements causée par l'imperméabilisation du sol. Il est donc recommandé, dans le cas d'un tel projet, de se référer aux préconisations du présent guide.

2.4 Données et réglementations à intégrer dans la définition du projet

En complément des objectifs fixés par le Code de l'Environnement, il appartient au décideur d'intégrer dans la définition de son projet les données susceptibles d'orienter ses choix et de s'assurer de la conformité de son projet avec les réglementations auxquelles sera soumis par ailleurs son projet.

TABLEAU 2.1 : RÉGIME JURIDIQUE SOUMIS AU PROJET SELON SA SUPERFICIE

Superficie totale du projet	> 20 ha	1 ha < S < 20 ha	< 1 ha
Cadre juridique	Dossier d' autorisation loi sur l'eau	Dossier de déclaration au titre de la loi sur l'eau	Absence de régime juridique, informations inscrites sur le permis de construire (suivre les préconisations du guide)

Le chapitre suivant détaille la liste et le contenu des documents qu'il importe de consulter pour vérifier la compatibilité du projet par rapport aux prescriptions.

2.4.1 Les risques naturels

L'ensemble de la Réunion est exposé à des risques d'inondation ou mouvement de terrain dont l'intensité est susceptible de mettre en péril la sécurité des personnes et l'intégrité des biens. Afin d'assurer un aménagement compatible avec les impératifs de sécurité précités, l'État a la charge d'élaborer, en concertation avec les acteurs locaux, des Plans de Prévention des Risques (PPR), dont le contenu est défini par l'article L.562-1 du Code de l'Environnement. Ainsi ils sont destinés à :

- établir la cartographie des zones constructibles et celles soumises à prescriptions
- définir les règles d'urbanisme, de construction et de gestion applicables à ces zones. A ce titre, les PPR peuvent

réglementer les modalités de gestion des eaux pluviales afin de ne pas aggraver le risque inondation en aval ou de limiter les impacts en cas de crue (pose de clapets anti-retour,...). Les zones situées en aléa mouvement de terrain peuvent également intégrer des prescriptions particulières afin de limiter les infiltrations d'eaux pluviales particulièrement néfastes à la stabilité des terrains.

- identifier des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à prendre par les particuliers et les collectivités territoriales.

La carte page suivante présente l'état d'avancement des PPRi à la Réunion.

Les règlements des PPRi approuvés, fixant les prescriptions à prendre en compte pour un projet d'aménagement peuvent être consultés dans les communes ou sur le site internet de la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement à l'adresse suivante :

www.risquesnaturels.re

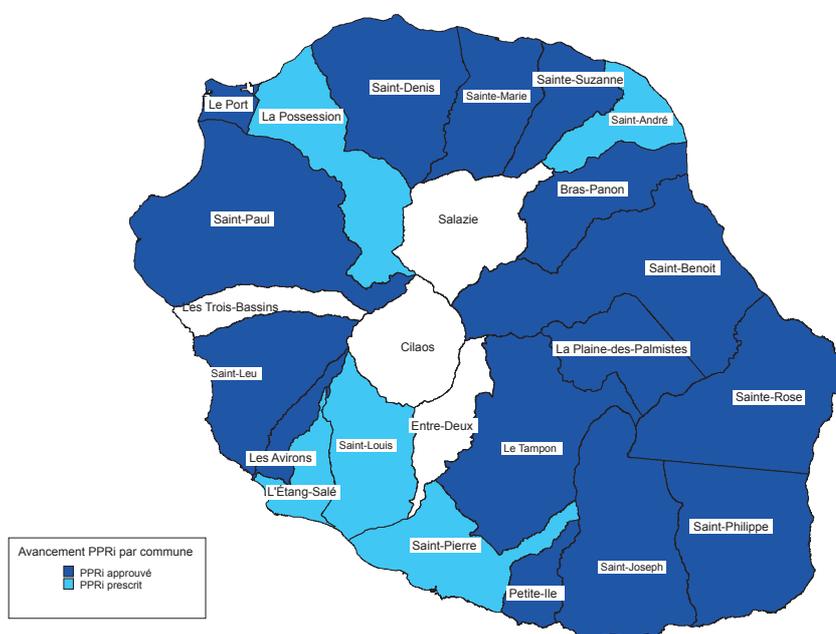


Figure 2.2: carte de l'état d'avancement des procédures PPRi à la Réunion (septembre 2012)

2.4.2 Les plans locaux d'urbanisme (PLU)

Le Plan Local d'Urbanisme a deux objectifs principaux : exprimer un projet urbain et définir la réglementation des sols permettant de le mettre en œuvre. A ce jour, l'intégralité de la Réunion est couverte par un plan local d'urbanisme (ou un plan d'occupation des sols)

Ce document est élaboré par la commune à l'issue d'un diagnostic approfondi portant sur tous les aspects nécessaires à la planification urbaine, qu'il s'agisse de l'état initial de l'environnement, de la dynamique démographique mais également de l'adéquation entre la capacité des réseaux existants (eau, électricité,...) et le développement urbanistique.

Le PLU contient un nombre important d'informations qui permettent de vérifier la compatibilité du projet. L'attention de l'aménageur doit notamment être attirée sur le règlement de la zone concernée par le projet. Ce règlement précise la destination générale de la zone mais précise également les conditions d'occupation de celle-ci (types d'occupation autorisées ou interdites, hauteurs, aspects extérieurs, voiries,...).

Une attention particulière doit être portée sur l'article 4 du règlement du PLU. Conformément aux dispositions prévues par l'article R.123-9 du Code de l'Urbanisme, cet article peut en effet comprendre « *les conditions de desserte des terrains par les réseaux publics d'eau, d'électricité et d'assainissement* ». Ainsi, il peut intégrer la maîtrise des eaux pluviales à l'aide de prescriptions ou de recommandations (par exemple : limiter le débit autorisé de rejet, modifier le mode de collecte des EP en privilégiant par exemple les modes superficiels plutôt que canalisés, préconiser un mode

d'évacuation des EP : rejet au réseau/infiltration). Le mode de dépollution des eaux pluviales peut également figurer dans le règlement d'assainissement : dégrillage, débouage, dessalage, filtrage. Il est aussi possible d'interdire le rejet de certaines eaux de ruissellement dans les ouvrages superficiels de stockage.

2.4.3 Les outils de planification de la gestion de l'eau

2.4.3.1 Le SDAGE et les SAGE

Le Code de l'Environnement prévoit la mise en place de deux outils de planification pour la gestion des eaux (sous tous ses aspects) à une échelle cohérente :

- Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), disponible sur le site www.comitedebassin-reunion.org, approuvé par le Comité de Bassin de la Réunion en décembre 2009
- Les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux, élaborés par les commissions locales de l'eau de chacune des 4 façades de la Réunion (Nord, Est, Sud, Ouest)

Ces différents documents peuvent définir des prescriptions particulières en matière de gestion des eaux pluviales (objectifs réglementaires, choix des techniques) auxquelles devront se contraindre les maîtres d'ouvrages soumis à une procédure loi sur l'eau, conformément aux articles L.212-1 et L.212-5-2 du code de l'environnement

2.4.3.2 Les schémas directeurs eaux pluviales

Le schéma directeur des eaux pluviales (SDEP) est codifié à l'article L.2224-10 du Code Général des Collectivités Territoriales :

« Les communes ou leurs établissements publics de coopération délimitent, après enquête publique :

- **Les zones où des mesures doivent être prises pour limiter l'imperméabilisation des sols et pour assurer la maîtrise du débit et de l'écoulement des eaux pluviales et de ruissellement.**
- **Les zones où il est nécessaire de prévoir des installations pour assurer la collecte, le stockage éventuel et, en tant que de besoin, le traitement des eaux pluviales et de ruissellement lorsque la pollution qu'elles apportent au milieu aquatique risque de nuire gravement à l'efficacité des dispositifs d'assainissement »**

Le SDEP constitue l'outil qui permet à la collectivité de concevoir une politique cohérente de gestion des eaux pluviales à l'échelle de la commune intégrant, d'une part, une programmation de travaux et, d'autre part, définissant les modalités de gestion des eaux pluviales adaptées aux caractéristiques du terrain et du milieu récepteur.

Afin de mener à bien l'élaboration du Schéma Directeur des Eaux Pluviales, la commune réalise un diagnostic intégrant un recensement des réseaux et ouvrages existants, une analyse de leur fonctionnement, une caractérisation de la pluviométrie locale, le recensement des zones sensibles aux inondations par ruissellement d'eaux pluviales et des zones sensibles aux apports de pollution par

les eaux pluviales. Suite à son approbation, le SDEP devrait, à terme, être intégré au plan local d'urbanisme afin de compléter le diagnostic initial (sur le volet réseaux existants), préciser les règles de desserte en réseaux applicables (article 4 du règlement du PLU), voire, prévoir certains emplacements réservés de gestion des eaux pluviales.

En conclusion, le Schéma Directeur des Eaux Pluviales constitue un outil indispensable pour l'aménageur qui y trouvera :

- des informations générales sur l'hydrologie du secteur concerné ;
- la localisation des réseaux existants et leurs capacités ;
- le type de solution à mettre en œuvre pour gérer les eaux pluviales ;
- les règles particulières applicables (par exemple le débit de fuite ou les solutions à mettre en place).

À noter que l'article L.2333-97 du Code Général des Collectivités Territoriales prévoit désormais que la collectivité peut mettre en place une taxe pour la gestion des eaux pluviales, les recettes recueillies permettant de financer la collecte, le transport, le stockage et le traitement des eaux pluviales (R.214-53).

La figure ci-après détaille l'état d'avancement des procédures d'élaboration des SDEP à La Réunion :

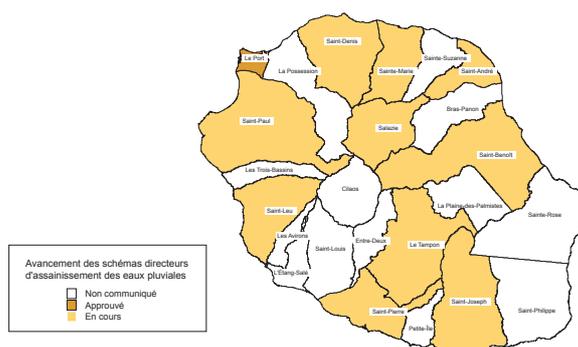


Figure 2.3 : État d'avancement des schémas directeurs eaux pluviales des 24 communes de La Réunion

2.4.4 Les enjeux sanitaires

2.4.4.1 Les périmètres de protection de captage

Les captages et forages d'eau destinés à l'alimentation humaine sont sensibles à tous rejets (eaux usées, eaux pluviales, effluents...). Leur degré de vulnérabilité aux écoulements pluviaux est conditionné par le type d'eau prélevée :

- les captages d'eaux superficielles sont les plus sensibles au lessivage des bassins versants et à tout rejet situé à l'amont de la prise d'eau (notamment en lien avec les pesticides) ;
- les captages d'eaux souterraines par puits ou forages, à priori mieux protégés, peuvent, dans certains cas, être également très vulnérables compte tenu d'un contexte hydrogéologique défavorable (ex. faible profondeur de la nappe captée, protection insuffisante par les terrains de recouvrement, possibilité de transferts rapides des eaux vers la nappe captée, etc....).

Les arrêtés préfectoraux instaurant les périmètres de protection interdisent, dans certains cas, des aménagements ou des pratiques qui porteraient atteinte à la qualité des eaux captées, en particulier à l'intérieur des périmètres de protection rapprochée (interdiction d'infiltration des eaux pluviales par exemple). En cas de projet dans un des périmètres, le pétitionnaire devra prendre l'attache du service gestionnaire de la servitude pour préciser les règles applicables en matière de gestion d'eaux pluviales.

2.4.4.2 La lutte anti-vectorielle

Certaines espèces de moustiques de la Réunion sont potentiellement vectrices de maladies de type arbovirose (chikungunya, dengue, fièvre de la vallée du Rift, West Nile) et parasitaire (paludisme). Le stade larvaire du moustique nécessitant des points d'eaux stagnantes, la gestion des eaux pluviales ne doit pas être à l'origine de nouveaux lieux de ponte. Or les bassins d'eau, qu'ils soient aériens ou souterrains, sont propices à la création de nouveaux lieux de ponte.

Le pétitionnaire devra respecter les points de réglementation suivants :

- Les réserves d'eau non destinées à l'alimentation, les bassins d'ornement ou d'arrosage, ainsi que les autres réceptacles, sont vidangés aussi souvent qu'il est nécessaire en particulier pour empêcher la prolifération des insectes.
- Leur nettoyage et désinfection sont effectués aussi souvent qu'il est nécessaire et au moins 1 fois par an (article 36 du Règlement Sanitaire Départemental)
- Les propriétaires, locataires, exploitants ou occupants de cultures irriguées ou arrosées et de prés inondés devront remettre ou maintenir en état de fonctionnement et de salubrité, réservoirs, canaux, vannes, fossés, digues et diguettes, ainsi que tous systèmes d'adduction ou d'évacuation des eaux. Les mêmes obligations incomberont, dans les mêmes conditions, aux organismes distributeurs d'eau et aux concessionnaires de chutes et retenues d'eau (article 5 de la loi n° 64-1246 du 16 décembre 1964).

Au vu de ces textes, il importe donc que le maître d'ouvrage intègre la lutte antivectorielle dans sa réflexion en limitant la présence permanente d'eau stagnante (la durée de présence d'eau doit être inférieure à celle d'un cycle larvaire complet qui est de l'ordre d'une semaine) et en précisant les conditions d'entretien et d'accès à ces bassins ou retenues d'eau.

2.4.5 Les enjeux environnementaux

2.4.5.1 Éléments généraux

La gestion de l'eau, et plus particulièrement des eaux pluviales, doit répondre aux objectifs de préservation des milieux naturels (aquatiques et terrestres), dans toutes leurs dimensions. Par ses actions multiples (lessivage des sols, surverse des réseaux, érosion des sols,...), ces eaux peuvent en effet être à l'origine de dégradations (érosion, affouillement,...) ou de pollutions multiples qu'elles soient brutales (effets de chocs lors des fortes pluies) ou chroniques (dégradation progressive de la qualité des milieux). Force est de constater que les caractéristiques climatiques réunionnaises, avec des pluies de forte intensité, l'absence de milieux aquatiques pérennes dans les ravines sèches, la bonne capacité hydraulique de ces ravines et l'impact estimé comme négligeable des évacuations d'eau en mer ont longtemps amené à considérer la question de la qualité des eaux pluviales comme secondaire face aux risques d'inondation.

Cette situation n'apparaît plus défendable aujourd'hui où la qualité des espaces naturels de la Réunion est désormais reconnue mondialement et où les impacts des eaux pluviales sur les espaces naturels tels que

le lagon¹ ou les zones humides sont désormais bien connus. Le présent chapitre a pour objectifs de proposer une première identification des secteurs les plus vulnérables aux risques de pollution et de présenter les modalités d'intégration de ces enjeux environnementaux dans la définition du projet d'aménagement.

Les données relatives aux zones à enjeux environnementaux sont disponibles sur le site de la DEAL.

2.4.5.2 Les milieux naturels terrestres

A. Le Parc National de la Réunion

Créé par décret du 5 mars 2007, le Parc National de La Réunion définit une zone centrale (ou zone de cœur) et une zone périphérique ou d'adhésion. Ces deux zones sont soumises à des objectifs et des réglementations différentes :

- le cœur de Parc présente une valeur environnementale et patrimoniale particulièrement élevée. À ce titre, le décret précité édicte les règles permettant de répondre à cet objectif de préservation ;
- l'aire d'adhésion fixée par le décret du 5 mars 2007 fixe les limites maximales des territoires des communes ayant vocation à adhérer à la charte du Parc national.

Cette charte, dont l'élaboration relève de l'Établissement Public du Parc National, précisera les orientations de protection, de mise en valeur et de développement durable.

¹ – « Protection des récifs coralliens contre la pollution d'origine pluviale », Conseil Régional, 1993

En cas de projet dans l'une de ces deux zones, le pétitionnaire pourra prendre l'attache du Parc National pour préciser la compatibilité de son projet avec les règles applicables.

B. Les ZNIEFF

Les Zones Naturelles d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique sont des sites d'intérêt patrimonial pour les espèces vivantes et les habitats. Inventoriées pour le compte du Ministère de l'Écologie, elles constituent une des sources principales de la connaissance du patrimoine naturel. On distingue deux catégories de zones :

- les **ZNIEFF de type I**, de superficie réduite, sont des espaces homogènes d'un point de vue écologique et qui abritent au moins une espèce et/ou un habitat rares ou menacés, d'intérêt aussi bien local que régional, national ou communautaire ;
- les **ZNIEFF de type II** sont de grands ensembles naturels riches, ou peu modifiés, qui offrent des potentialités biologiques importantes. Elles peuvent inclure des zones de type I et possèdent un rôle fonctionnel ainsi qu'une cohérence écologique et paysagère.

Ces zones n'ont pas de valeur juridique directe mais permettent une meilleure prise en compte de la richesse patrimoniale dans l'élaboration des projets susceptibles d'avoir un impact sur le milieu naturel.

C. Les sites classés et inscrits

Les sites classés et inscrits sont, au sens de la loi française du 2 mai 1930, reprise aux articles L. 341-1 à 22 du Code de l'Environnement, les sites naturels dont l'intérêt pay-

sager, artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque exceptionnel justifie un suivi qualitatif sous la forme d'une autorisation préalable pour les travaux susceptibles de modifier l'état ou l'apparence du territoire protégé. Le **classement** est une protection forte qui correspond à la volonté de maintien en l'état du site désigné, ce qui n'exclut ni la gestion ni la valorisation. Les sites classés ne peuvent être ni détruits ni modifiés dans leur état ou leur aspect sauf autorisation spéciale. L'**inscription** à l'inventaire supplémentaire des sites constitue une garantie minimale de protection. Elle impose aux maîtres d'ouvrage l'obligation d'informer l'administration 4 mois à l'avance de tout projet de travaux de nature à modifier l'état ou l'aspect du site. À la Réunion, on recense 5 sites classés (les grottes des 1^{ers} Français, la Ravine Bernica, la Rivière des Roches, le Voile de la Mariée, la Pointe au Sel) et 2 sites inscrits (la Mare à Poule d'eau et la Ravine Saint Gilles).

D - Les Espaces Naturels Sensibles

Les Espaces Naturels Sensibles (ENS) ont pour objectif de préserver la qualité des sites, des paysages, des milieux naturels et d'assurer la sauvegarde des habitats naturels. Ils répondent également à un objectif d'aménager ces espaces pour être ouverts au public, sauf exception justifiée par la fragilité du milieu naturel. Mis en place par le Conseil Général, ces espaces font l'objet d'un droit de préemption (permettant l'acquisition prioritaire par le CG) et de conventions pluriannuelles de gestion destinées à concilier les objectifs de préservation et de valorisation de ces espaces. À la Réunion, environ 46 sites potentiels ont été identifiés comme éligibles au titre d'Espaces Naturels Sensibles².

² – Schéma départemental des Espaces Naturels Sensibles, BCEOM – Mai 2005.

Bien que ces espaces ne fassent pas l'objet d'une réglementation particulière en matière d'occupation du sol, dans la pratique leur aménagement ne peut être envisagé en raison de leur valeur patrimoniale et des droits de préemption évoqués précédemment.

E. Les espaces remarquables du littoral

Selon l'article L.146-6 du Code de l'Urbanisme, « *les documents et décisions relatifs à la vocation des zones [...] préservent les espaces terrestres et marins, sites et paysages remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel et culturel du littoral* ». Les espaces remarquables du littoral d'intérêt régional ont fait l'objet d'une délimitation dans le cadre du SAR (pour une couverture d'environ 12 000 hectares) que les documents d'urbanisme de rang inférieur (SCOT, PLU) devront préciser lors de leur élaboration.

L'article R.146-6 du Code de l'urbanisme indique que peuvent être implantés dans ces espaces (après enquête publique dans les cas prévus par les articles R. 123-1 à R. 123-33 du code de l'environnement) les aménagements légers, à condition que leur localisation et leur aspect ne dénaturent pas le caractère des sites, ne compromettent pas leur qualité architecturale et paysagère et ne portent pas atteinte à la préservation des milieux.

F. Les réserves Naturelles

Une réserve naturelle est un espace naturel protégeant un patrimoine naturel remar-

quable par une réglementation adaptée tenant aussi compte du contexte local. En fonction des enjeux, de la situation géographique et du contexte local, l'initiative du classement en réserve naturelle revient à l'État ou à la Région. L'autorité administrative à l'initiative du classement confie localement la gestion à un organisme qui peut être une association, une collectivité territoriale, un regroupement de collectivités, un établissement public, des propriétaires, un groupement d'intérêt public ou une fondation. Une réserve naturelle nationale terrestre est recensée à La Réunion : l'Étang de Saint-Paul. Une réserve naturelle volontaire (Étang de Bois Rouge) existe également (son passage en réserve naturelle nationale sera décidé prochainement).

Ces différentes réserves naturelles font l'objet d'une réglementation (en général par décret) dont l'un des fondements repose sur l'interdiction de tous les travaux susceptibles de modifier l'état ou l'aspect des lieux.

G. Les Zones Humides

L'article R.211-108 du Code de l'Environnement indique que les critères à retenir pour l'identification des zones humides sont relatifs à la morphologie des sols liée à la présence prolongée d'eau d'origine naturelle et à la présence éventuelle de plantes hygrophiles (en l'absence de végétation hygrophile, la morphologie des sols suffit).

Ces zones humides présentent de multiples fonctionnalités : la préservation de la biodiversité (habitat pour les espèces aquatiques, terrestres et aviaires,...), la régulation quantitative de la ressource (recharge ou décharge de nappes, contrôle des inondations,...) ou encore l'amélioration de la

qualité de l'eau (rétention, enlèvement et transformation de nutriments,...).

Le Conservatoire Botanique National des Mascariens a réalisé en 2010, pour le compte de la DIREN, un recensement des zones humides à La Réunion. Ce recensement, réalisé par le croisement de 2 critères (sols hydromorphes et espèces végétales indicatrices), a permis l'identification de 210 zones humides pour une surface cumulée de 8883 ha.

Outre l'application de la rubrique 2.1.5.0 de la nomenclature loi sur l'eau, « l'assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblais de zones humides ou marais » est également soumise à procédure au titre de la loi sur l'eau (si la surface est supérieure à 1 ha, autorisation, si supérieure à 0,1 ha, déclaration).

2.4.5.3 Les milieux marins

Les milieux marins se situent aux exutoires des réseaux d'eaux pluviales ou des ravines. Si, au regard de la nomenclature loi sur l'eau, la rubrique relative au rejet d'eaux pluviales ne concerne que les rejets « dans les eaux douces superficielles ou sur le sol ou dans le sous-sol », les impacts potentiels de ces rejets sur les milieux marins peuvent être très néfastes que ce soit par les pollutions susceptibles d'être engendrées ou par l'augmentation des eaux douces déversées³.

D'autres rubriques de la nomenclature Eau sont susceptibles de s'appliquer aux rejets d'eaux pluviales en fonction des niveaux de rejet (rubrique 2.2.2.0. et 2.2.3.0 notamment)

³ – Schéma départemental des Espaces Naturels Sensibles, BCEOM – Mai 2005.

A. Réserve Naturelle Marine

Créée par décret n°2007-236 du 21 janvier 2007, la réserve naturelle nationale marine de la Réunion s'étend sur un linéaire de 40 km entre le Cap La Houssaye (Saint-Paul) et la Roche aux Oiseaux (Étang-Salé les Bains). Elle vise à assurer la connaissance, la conservation et la restauration des zones récifales, de leur faune et de leur flore.

Les effets néfastes d'une gestion déficiente des eaux pluviales sont connus :

- augmentation des débits ruisselés liés à l'urbanisation progressive des bassins versants ;
- effets des pollutions aggravés par l'augmentation des rejets (liés aux imperméabilisations) et l'absence de traitement appropriés.

S'ils sont communs à l'ensemble des zones littorales, les effets néfastes sont particulièrement importants sur la zone du lagon. Pour ces motifs, une réglementation a été mise en place pour les rejets dans cette zone.

L'article 6 du décret n° 2007-236 indique :

« Il est interdit d'abandonner, de laisser écouler ou de jeter tout produit ou organisme de nature à nuire à la qualité de l'eau, de l'air, du sol ou du site ou à l'intégrité de la faune et de la flore. Les rejets directs domestiques et de piscines sont interdits. Les débouchés artificiels à l'intérieur des plates-formes récifales, constituées par les récifs frangeants et embryonnaires dénommés localement les « lagons », et sur les pentes externes d'effluents urbains, industriels ou pluviaux, même assainis et existant avant l'acte de classement, doivent être résorbés ou réorientés vers des exutoires appropriés dans un délai fixé par le préfet ».

À ce titre, il importe que le pétitionnaire dont le projet est situé en amont des zones délimitées par le décret prenne préalablement contact avec le gestionnaire du réseau d'eaux pluviales afin de déterminer dans quelles conditions il peut limiter ses impacts. La mise en place rapide de SDEP sur les communes concernées par le périmètre de la réserve est une nécessité pour assurer le respect de cet article.

2.4.6 Principes d'intégration des enjeux environnementaux dans la gestion des eaux pluviales

A. Éléments préliminaires

Les dossiers soumis à autorisation ou déclaration au titre de la nomenclature Eau doivent indiquer « les incidences du projet sur la ressource en eau, le milieu aquatique, l'écoulement, le niveau des et la qualité des eaux ». Cette analyse devra être menée via le questionnement suivant :

- Mon projet est-il situé dans une zone présentant des enjeux environnementaux ? Les données listées ci-dessus permettent de fournir des premiers éléments de réponse à cette question. Elles permettent également d'identifier les réglementations auxquels pourraient être soumis le projet.
- Mon projet peut-il impacter indirectement des zones à enjeux environnementaux ?

Par ses rejets, tout projet est susceptible d'avoir des impacts sur le milieu récepteur.

Au-delà d'une analyse « périmétrale » limitée à l'emprise stricte du projet, le pétitionnaire prendra connaissance des milieux environnants son projet afin d'évaluer les conséquences négatives potentielles des pollutions qu'il est susceptible de générer.

- Les points de rejets dans les eaux superficielles devront être implantés pour minimiser les incidences sur les eaux réceptrices et assurer une dilution optimale ;
- L'ouvrage ne devra pas faire obstacle à l'écoulement des eaux ni retenir les corps flottants ;
- Toutes dispositions devront être prises pour prévenir l'érosion du fond des berges et éviter la formation de dépôt ;
- Un accès au point de rejet devra être aménagé afin d'en assurer l'entretien et la surveillance

CHAPITRE 3

Hydrologie



3.1 Schéma récapitulatif de l'approche hydrologique

Le schéma page suivante décrit le cheminement d'une pluie jusqu'au milieu récepteur. Il rappelle les éléments significatifs à prendre en compte dans une démarche de conception des ouvrages, et précise les chapitres du guide s'y référant.

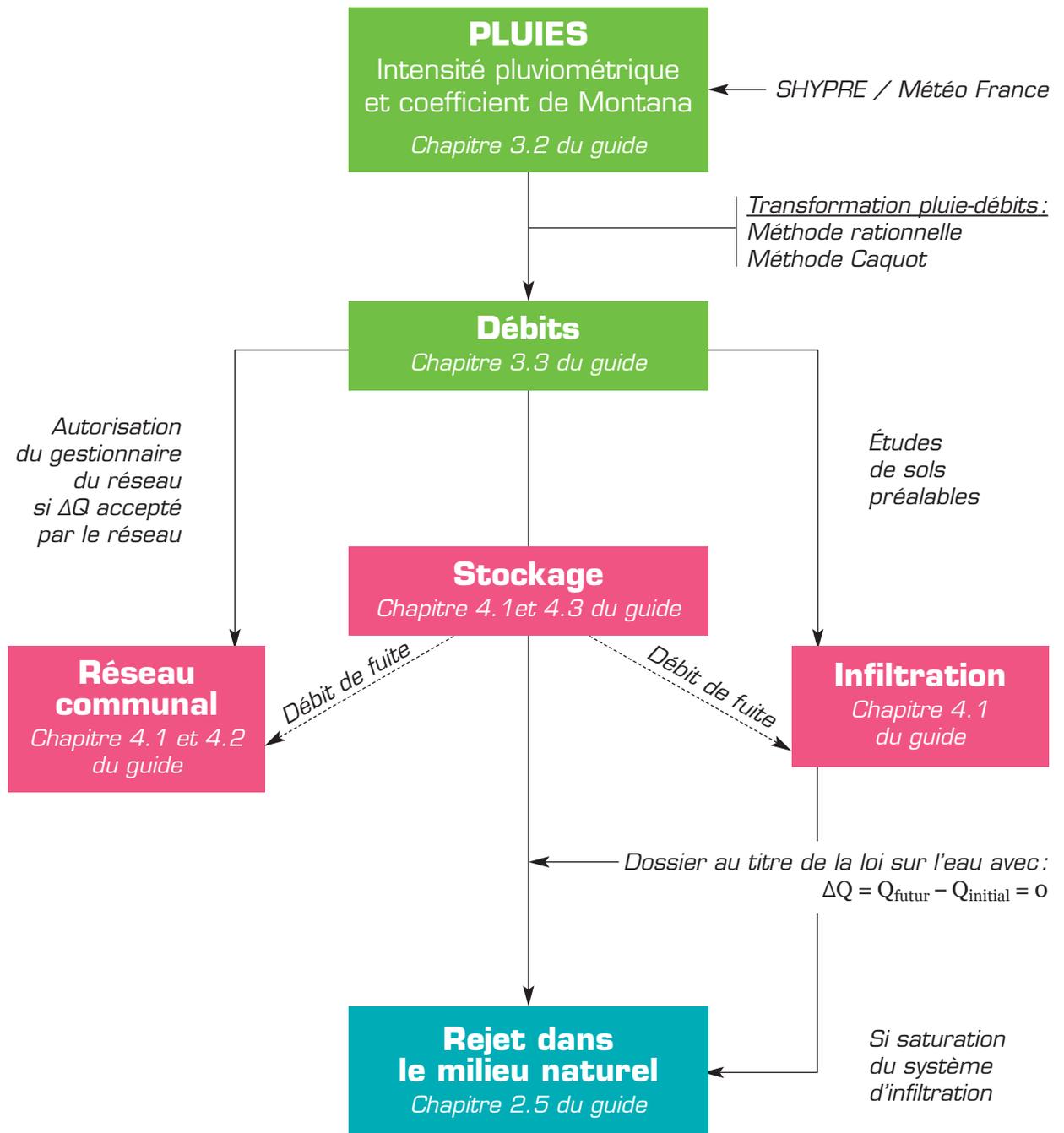


Figure 3.4 : schéma récapitulatif de l'approche hydrologique

3.2 Caractéristiques du bassin versant

Les différentes méthodes de transformation pluie-débit font appel à plusieurs paramètres d'entrée. Ces paramètres peuvent faire varier sensiblement les débits obtenus. Ce chapitre a pour objet de définir précisément les paramètres d'entrée afin de donner une cohérence et des éléments de comparaisons pour les calculs effectués à la Réunion lors de projets d'aménagement. Le bassin versant est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont d'un point donné. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel il est possible de tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite. Les principales caractéristiques du bassin versant sont :

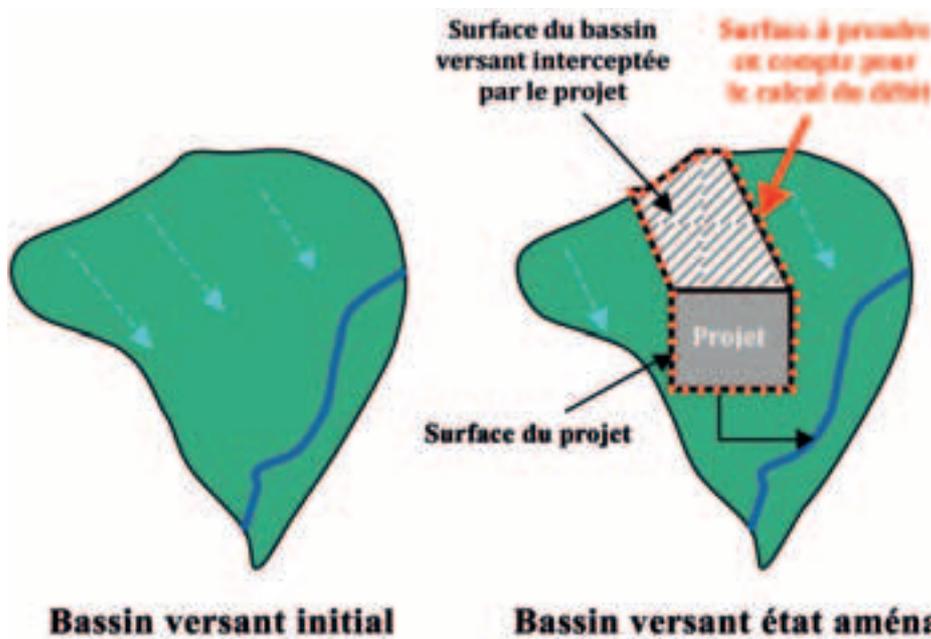
- S : la surface ;
- L : chemin hydraulique du plus long parcours de l'eau ;

- i : pente moyenne le long de ce chemin ;
- E : coefficient d'allongement sans unité (cf.p.35) ;

3.2.1 Surface du bassin versant intercepté

Dans le cadre de la détermination des calculs de débits à l'exutoire du projet, la surface qui doit être prise en compte correspond à la surface totale du projet, augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet (cette seconde partie constitue le bassin versant intercepté).

Il s'agit donc de considérer l'ensemble des surfaces sur lesquelles s'écoulent des eaux de pluies qui vont par la suite ou immédiatement transiter par le projet. Cette surface devra être utilisée pour l'ensemble des calculs des débits d'écoulements.



Bassin versant initial

Bassin versant état aménagé

La délimitation du bassin versant et le calcul de la surface interceptée sont réalisés à partir des données topographiques du bassin versant.

3.2.2 Temps de concentration

L'analyse du comportement hydrologique d'un bassin versant (système hydrologique) consiste à étudier la réaction hydrologique du bassin face à une sollicitation (la précipitation). Cette réaction est mesurée par l'observation de la quantité d'eau qui s'écoule à l'exutoire du système (le point de rejet). La représentation graphique de l'évolution du débit Q en fonction du temps t constitue un hydrogramme.

La réaction hydrologique d'un bassin versant à une sollicitation particulière est

caractérisée par sa vitesse de réaction (temps de montée t_m , défini comme le temps qui s'écoule entre l'arrivée de la crue et le maximum de l'hydrogramme) et son intensité (débit de pointe Q_{max} , volume maximum V_{max} , etc.). Ces deux caractéristiques sont fonctions du type et de l'intensité de la précipitation qui le sollicite mais aussi d'une variable caractérisant le bassin versant : le **temps de concentration, correspondant au temps nécessaire à l'eau pour parcourir la distance hydraulique la plus grande du bassin versant jusqu'à l'exutoire.**

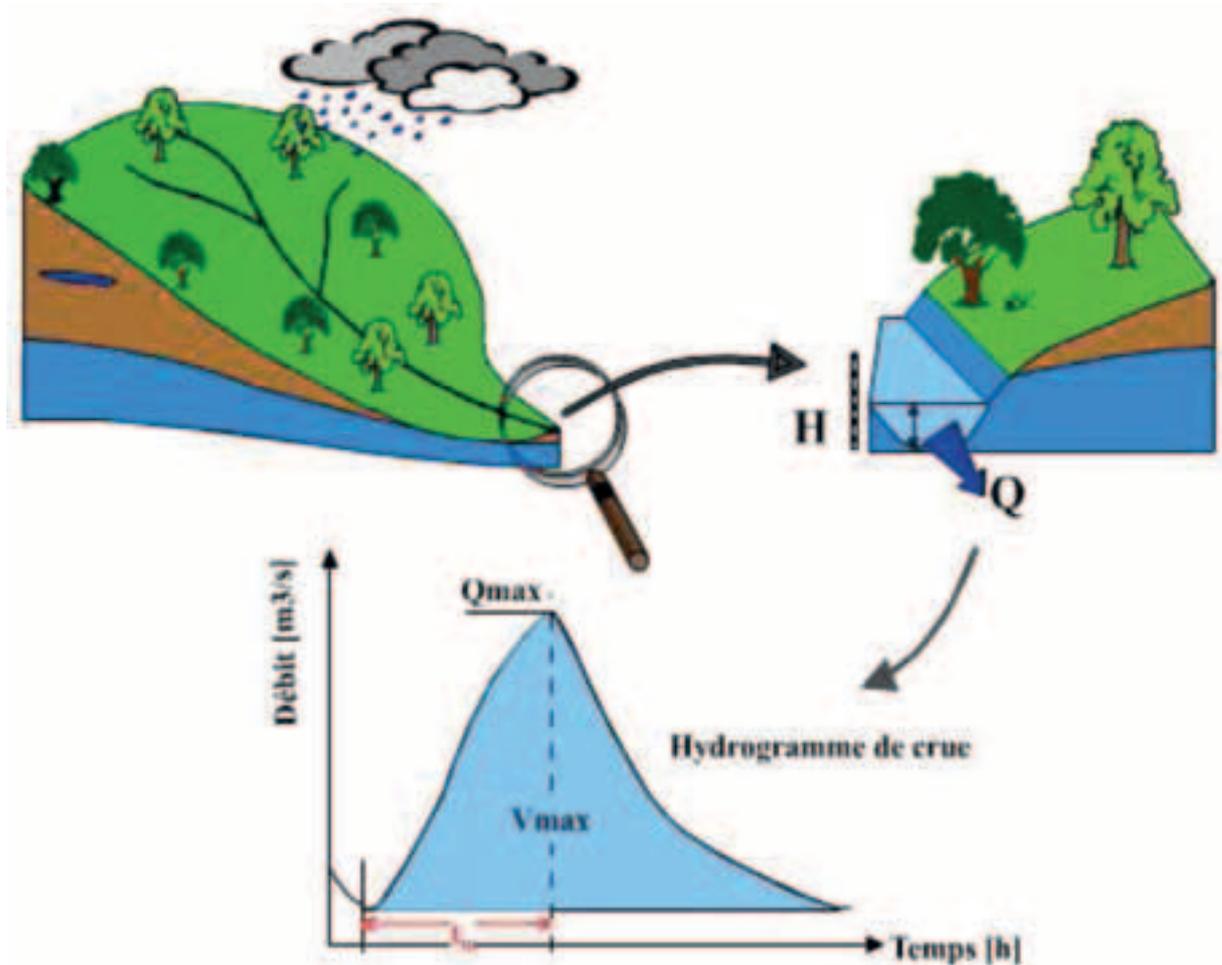


Figure 3.5: principes d'analyse du comportement hydrologique du bassin versant et hydrogramme résultant.

La détermination de ce temps de concentration constitue un outil fondamental dans la détermination de l'intensité de la pluie modélisée (l'intensité maximale d'une pluie diminue en fonction de sa durée).

L'analyse de sensibilité menée dans le cadre du présent guide a montré que l'estimation du temps de concentration (en fonction de la forme, de la surface et de la pente du bassin versant) pouvait très fortement varier

en fonction de la formule retenue (avec parfois des valeurs passant du simple au double). Ceci a montré la nécessité de mettre en œuvre une pondération des différentes méthodes de calcul des temps de concentration afin de « lisser » les singularités des différentes formules.

Il a donc été retenu une évaluation du temps de concentration faisant intervenir la moyenne des formules suivantes :

Surface du bassin versant	S < 20 ha	20 ha < S < 200 ha	200 ha < S
Temps de concentration	Méthode des rectangles équivalents Kirpich 2 Richards	Méthode des rectangles équivalents Passini Richards	Richards Passini

Les formules de calcul de temps de concentration sont les suivantes :

Méthode des rectangles équivalents	$T_c = \frac{1}{60} \times \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}$	Tc en mn	L _i : longueur du sous bassin versant en m V _i : vitesse d'écoulement dans le tronçon i en m/s
Kirpich 2	$T_c = \frac{4 \times (S \times L)^{0,25}}{i^{0,375}}$	Tc en mn	S : surface du bassin versant en Km ² L : longueur du chemin hydraulique le plus long en Km i : pente en m/m ou %
Richards	$\frac{T_c^3}{T_c+1} = 9,81 \times \frac{KL^2}{CRi}$	Tc en h	L : longueur du chemin hydraulique le plus long en Km i : pente en m/m ou % C : coefficient de ruissellement du bassin R : H + H/Tc (H : hauteur d'eau en mm pendant la durée Tc en h) K : à déterminer en fonction du produit CR (cf. annexes)
Passini	$T_c = 0,108 \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{i}}$	Tc en h	S : surface du bassin versant en Km ² L : longueur du chemin hydraulique le plus long en Km i : pente en m/m ou %

3.2.3 Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est le rapport entre la « pluie nette », c'est-à-dire le débit ruisselant en sortie de la surface considérée et la « pluie brute », celle tombée sur cette surface.

Il dépend essentiellement de la nature du sol, du type d'occupation ainsi que de l'intensité de la pluie (plus la pluie est intense, plus le ruissellement sera fort).

Si, dans la réalité, le coefficient de ruissellement varie au cours de l'épisode pluvieux (le sol se gorgeant au fur et à mesure de la pluie qui tombe), il n'existe pas de modélisation suffisamment précise pour caractériser ce fonctionnement.

Il est donc généralement retenu une valeur de ruissellement constante au cours de l'évènement pluvieux.

Les analyses menées dans le cadre du Guide d'Estimation des Débits de Crue (GEDC) avaient permis de retenir les valeurs suivantes pour une **pluie décennale** :

- terrain semi-perméable dans l'ensemble : 0,5 ;
- terrain peu perméable dans l'ensemble : 0,7 ;
- terrain mixte ou indéfini : 0,6 ;
- terrain urbanisé : 1.

Il convient de noter qu'avec ces éléments et l'application de la formule rationnelle, l'imperméabilisation de zones naturelles a pour conséquence le doublement des débits décennaux.

L'évaluation fine du coefficient de ruissellement s'effectuera de la manière suivante :

Le coefficient de ruissellement sera calculé par pondération des superficies des sous-bassins avec le coefficient de ruissellement associé. Ce dernier traduit la nature du sol et la couverture végétale.

Formule de calcul :

$$C_r = \frac{\sum_1^n C_i \times S_i}{S}$$

avec,

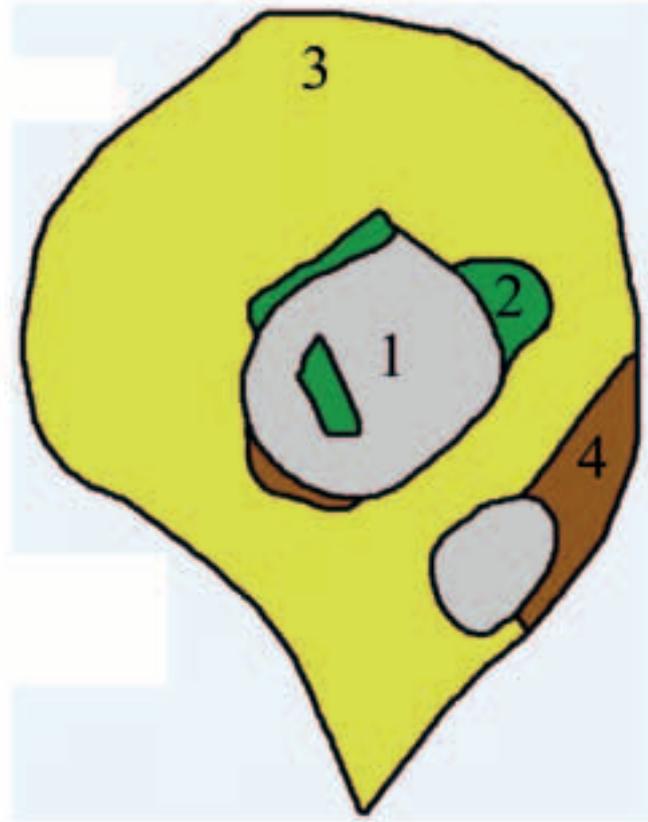
- S, surface totale du bassin versant ;
- S_i, surface des sous bassins versant ;
- C_i, coefficient de ruissellement ou coefficient d'imperméabilisation des sous bassins versants ;
- C_r, coefficient de ruissellement pondéré.

La détermination des coefficients de ruissellement sera faite par reconnaissance de la nature du sol et de la couverture végétale.

Compte tenu de l'absence de données contraires ou plus précises, ces valeurs sont retenues pour les calculs hydrologiques

A titre d'exemple, on peut imaginer le découpage suivant :

- 1: terrain urbanisé
- 2: terrain mixte
- 3: terrain semi-perméable
- 4: terrain peu perméable



$$C = \frac{C_1 \times S_1 + C_2 \times S_2 + C_3 \times S_3 + C_4 \times S_4}{S}$$

$$\text{A.N : } C = \frac{1 \times S_1 + 0,6 \times S_2 + 0,5 \times S_3 + 0,7 \times S_4}{S}$$

Figure 3.6 : exemple de calcul d'un coefficient de ruissellement pondéré

3.3 Pluviométrie

3.3.1 Examen des données existantes

En 1992 a été réalisé (par BCEOM et Sogreah) le **guide d'estimation des débits de crue à La Réunion** (GEDC) qui avait pour objectif de servir de référence en matière de calcul des débits de crue de projet. Ce document découpait ainsi la Réunion en 10 zones sur lesquelles une relation pluie-altitude est déterminée pour une durée de 24 heures et une période de retour de 10 ans.

Des abaques permettaient ensuite de déterminer, à partir de cette information, les pluies pour la période de retour 100 ans (par un coefficient de 1,6) et/ou sur les temps de concentration ainsi que les débits pour toute ravine.

Si cet outil robuste permet une première approche hydrologique, ses limites doivent être précisées :

- **La zone de validité de la méthode est connue (surface du bassin versant < 10 km², altitude médiane inférieure à 1200 mètres, temps de concentration < 10 minutes)**
- **Les données météorologiques utilisées pour la construction de la méthode datent désormais de plus de 20 ans. Or, plus l'échantillon est important, meilleure sera la précision de la donnée statistique**
- **Les formules proposées par le GEDC, de type « $P_{24} = aZ + b$ » sont très approximatives et ne**

permettent pas de représenter finement la variabilité spatiale des pluies à la Réunion

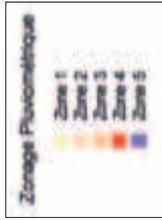
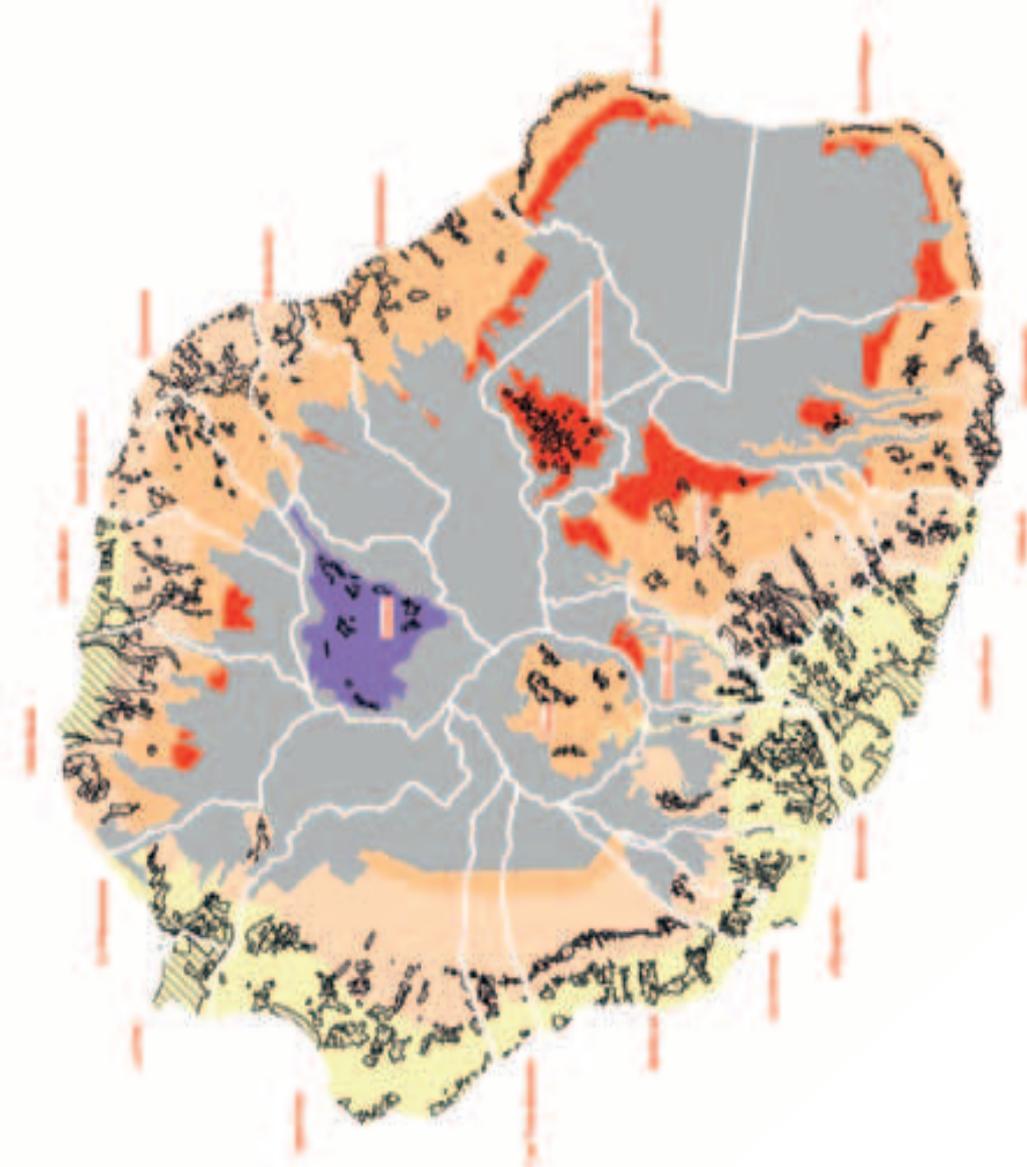
Entre 2003 et 2005, le CEMAGREF a développé, avec Météo-France, la méthode **SHYPRE** (Simulation d'HYdrogrammes pour la PREdétermination des crues). Cette méthode, déjà utilisée en métropole, vise à déterminer, pour chaque km² de l'île, les caractéristiques de pluie pour des durées variant de 1 à 72 heures et de périodes de retour comprises entre 2 et 100 ans.

Compte tenu des coûts d'acquisition des données SHYPRE (notamment en cas de bassin versant étendu) et des objectifs du guide, il a été retenu la démarche suivante, adaptée au niveau d'enjeu de chaque projet :

- **L'acquisition des données pluviométriques pour les projets à forts enjeux (nécessitant la construction d'un modèle hydrologique détaillé)**
- **La construction, à partir des données régionalisées SHYPRE, d'une cartographie simplifiée des pluies (sur le modèle du découpage de la métropole en 3 zones prévu par l'instruction technique de 1977) utilisable pour les projets les plus fréquents**

Le choix de la méthode d'acquisition des données de pluie sera déterminé en début de démarche par le maître d'ouvrage en lien avec le service instructeur.

Carte du zonage pluviométrique simplifié
 Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à La Réunion - 2012



Commune	Zonage pluviométrique (altitude en m)									
	0	100	250	500	1000	1000	1600	1600	3071	3071
Sainte-Marie	1	2	2	3	4	4	4	4	4	4
Saint-Denis	1	2	2	3	3	4	4	4	4	4
Le Port	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
La Possession Bas	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
La Possession Haute	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Saint-Paul	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Trois Bassins	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Saint-Leu	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Les Avirons	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
L'Étang-Salé	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Cilaos	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Saint-Louis	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
L'Entre-Deux	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Saint-Pierre	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Le Tampon	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Petite-Île	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Saint-Joseph	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4
Saint-Philippe	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
Saint-Rose	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
Saint-Benoît (Sud RN 3)	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
La Plaine des Palmistes	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
Saint-Benoît (Nord RN 3)	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
Bras-Pieron	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4
Salazie	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4
Saint-André	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Sainte-Suzanne (Est Riv)	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Sainte-Suzanne (Ouest Riv)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Carte du zonage pluviométrique simplifié - Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à La Réunion - 2012

3.3.2 Présentation des données pluviométriques régionalisées

La méthodologie ayant permis d'aboutir à la construction des données figurant dans ce paragraphe est détaillée dans l'annexe 2 du présent guide. L'objectif du présent zonage étant de simplifier le choix de la pluviométrie pour les aménagements liés à l'urbanisation, surtout concentrée sur la cote et les versants de moyenne altitude. En dehors, on se trouve dans des zones naturelles qui le resteront, puisqu'elles ont été intégrées dans le cœur du récent Parc National. On a donc appliqué le masque du cœur de Parc sur la carte du zonage, ce qui permet de gommer une part importante des effets de seuils relevés ci-avant. Enfin, on y a superposé le périmètre des zones urbanisées de la BD Carto.

AVERTISSEMENT : Les données pluviométriques à utiliser et la précision exigée seront à adapter aux niveaux d'enjeux du projet. Ainsi, les projets de dimensions importantes ou à enjeux très forts nécessiteront une analyse plus fine que le zonage fourni dans le cadre de ce guide

3.3.2.1 Évaluation de la pluie de projet

Dans un premier temps, il appartient au porteur de projet d'identifier la zone sur laquelle se situe son projet. A l'instar du découpage qui prévalait pour la métropole dans l'instruction de 1977, la Réunion est découpée en 5 zones aux caractéristiques pluviométriques relativement proches.

Étape 1 : identifier la zone dont relève le projet (voir page précédente)

Étape 2 : déterminer les coefficients de Montana à retenir pour chaque zone

Chacune de ces zones est caractérisée par la valeur de pluie décennale horaire suivante :

Zone	Coefficient A	Coefficient B
1	60	+ 0,33
2	72	+ 0,33
3	85	+ 0,33
4	100	+ 0,33
5	130	+ 0,33

NB : La valeur du coefficient A, fournit également la pluie décennale horaire de chaque zone

Étape 3 : Passage du décennal à d'autres périodes de retour

Par souci de simplicité, on a cherché les ratios permettant de passer du décennal aux autres périodes de retour (5, 20, 30 ans). Les ratios médians retenus sont les suivants : $i_{15}/i_{10} = 0,87$, $i_{20}/i_{10} = 1,13$, $i_{30}/i_{10} = 1,20$

Soit avec une loi du Gumbel (pour une durée de 0,1 à 2h)

$$i_{(d,T)} = i_{(1h,10ans)} \times [0.186 \times \text{LN}(T) + 0.572] \times d^{-0.33}$$

3.4 Calcul des débits

Dans le cadre de l'élaboration de ce guide, le choix de la méthode de transformation pluie débit à utiliser par les aménageurs (ou bureaux d'études) pour estimer les débits ruisselés est le suivant :

- Méthode rationnelle ;
- et méthode Caquot si la pente est inférieure à 5%.

3.4.1 Présentation des méthodes de transformation pluie-débits à utiliser

3.4.1.1 Méthode rationnelle

A - Théorie

La formule est la suivante :

$$Q_T = \left(\frac{1}{6} \right) \times C_T \times I \times S$$

où :

- Q_T : débit de pointe de période de retour T de l'hydrogramme en m³/s ;
- C_T : coefficient de ruissellement pour la pluie de période de retour T ;
- S : surface du bassin versant en ha ;
- I : intensité de l'averse en mm/mn, soit $I(T,F) = a(F) \times T_c^{-b(F)}$ avec les coefficients a et b (dits de Montana) issus de la pluviométrie, et avec T_c en mn pour avoir Q en m³/s.

NB : le coefficient 1/6 est un coefficient d'unité ; il s'explique par les unités retenues pour les différents paramètres

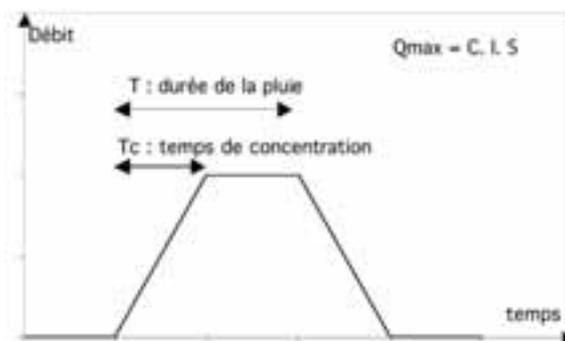


Figure 3.7 : forme de l'hydrogramme élémentaire calculée par la formule rationnelle

L'intensité maximale de la pluie étant décroissante en fonction de sa durée, l'hypothèse retenue par la méthode rationnelle est que la durée de la pluie est égale au temps de concentration, ceci constituant donc le scénario le plus défavorable.

B - Limites de validité

Selon le guide du CERTU « La ville et son assainissement », les hypothèses de linéarité et les difficultés d'évaluation des variables limitent nécessairement le domaine d'utilisation de la formule rationnelle. La non prise en compte de l'amortissement dans le transfert des écoulements limite sa validité à des petits bassins versants disposant de systèmes de collecte ramifiés, sans ouvrage de stockage temporaire et suffisamment pentus pour limiter les phénomènes d'influence aval.

Cette méthode rationnelle a par ailleurs été utilisée à la Réunion pour l'estimation des débits de pointe du Guide d'Estimation des Débits de Crue de 1992. La limite de validité de 10 km² fixée par le GEDC (supérieure à celle définie par l'instruction technique de 1977) a été ensuite reprise par le

Guide Technique de l'Aménagement Routier élaboré par le SETRA en 2006 (pour les bassins versants méditerranéens, les bassins versants réunionnais s'approchant des spécificités de ces derniers).

Essentiellement destiné aux bassins versants ruraux, il est retenu les limites de validité suivantes :

$$C_T > 0,2$$

$$S < 10 \text{ km}^2$$

Bassin versant qui ne contient pas d'ouvrages de retenue.

3.4.1.2 Méthode superficielle ou méthode de Caquot

A - Théorie

C'est la méthode ponctuelle la plus communément utilisée en France métropolitaine pour calculer des débits maximums pour un bassin versant urbain. Décrite dans l'instruction technique de 1977, elle établit le débit de pointe de fréquence de dépassement F :

$$Q_{p\text{brut}} = K^{\frac{1}{u}} \times i_{\text{pond}}^{\frac{v}{u}} \times C_T^{\frac{1}{u}} \times S^{\frac{w}{u}}$$

avec

- i_{pond} , pente pondérée du thalweg définie par : $\frac{1}{\sqrt{i}} = \frac{1}{L} \times \sum \frac{\Delta L}{\sqrt{i_{\Delta L}}}$ (en m/m)
(avec L plus long parcours de l'eau)

- C_T coefficient de ruissellement pour la période de retour T ;
- S, superficie du bassin versant (en ha) ;

Les coefficients suivants intègrent les caractéristiques locales de la pluie, à travers les coefficients de Montana. La méthode de définition de ces coefficients est décrite dans le paragraphe 3.3.2.1

- $K = 0,5^{b(t)} \times \frac{a(T)}{6,6}$;
- $u = 1 + 0,287 \times b(T)$;
- $v = -0,41 \times b(T)$;
- $w = 0,95 + 0,507 \times b(T)$.

La formule superficielle est valable pour les bassins versant d'allongement moyen $E = 2$ ($E = \frac{L}{100 \times \sqrt{S}}$ avec L plus long parcours de l'eau, L en centaine de mètre si S en ha).

Dans le cas où le bassin versant présente soit une forme très allongée, soit très ramassée, il conviendra d'appliquer un coefficient correctif de forme déduit de E par la formule suivante⁴ :

$$m = \left(\frac{E}{2} \right)^{0,7 \times b(t)}$$

On a alors :

$$Q_t = Q_p = Q_{p\text{corrigé}} = m \times Q_{p\text{brut}}$$

⁴ - Guide CERTU 2003, « La ville et son assainissement ».

B- Limites de validité

L'instruction technique de 1977 définissait les limites de validité de la méthode : surface du bassin versant inférieure à 200 hectares, pente comprise entre 0,2 % et 5 %, coefficient d'imperméabilisation supérieur à 20 %. Selon le guide du CERTU « La ville et son assainissement », il convient de retenir que la méthode de Caquot ne s'applique correctement qu'à des bassins versant urbains, homogènes, équipés d'un réseau

d'assainissement correctement dimensionné, sans ouvrages spéciaux (de stockage ou de dérivation), et fonctionnant à surface libre.

L'expérience acquise en utilisant des logiciels de simulation hydraulique montre que ces conditions sont rarement rassemblées dans un bassin versant dès lors que sa surface dépasse quelques dizaines d'hectares.

Les limites de validité retenues sont :

Bassins versants urbains homogènes sans ouvrage de stockage

$$S < 200 \text{ ha}$$

$$0,2 \% < i < 5 \%$$

$$CT > 0,2$$

**T (périodes de retour) limitées à 10 ans
(ajouter un coefficient pour des périodes de retour supérieures).**

3.4.2 Présentation de la fiche standard de résultats à fournir par l'aménageur

Nom de la commune : Nom du projet : Date :				
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES				
Nature du point de rejet (nature, réseau, infiltration,...) :				
Surface du projet en ha :				
Nom, surface du bassin versant (ha) :				
Surface du projet + surface du bassin versant intercepté (ha) :				
Zone météorologique :				
PARAMÈTRES D'ENTRÉE				
Longueur du chemin hydraulique le plus long :				
Pente moyenne le long de ce chemin :				
Coefficient d'allongement :				
Temps de concentration (min) **	Formule 1	Formule 2	Formule 3	Moyenne ou pondération
OBJECTIF DE PERFORMANCE DES OUVRAGES				
Période de retour à prendre en compte :				
Coefficient de ruissellement (état initial) :				
Coefficient de ruissellement (état final) :				
Coefficient de Montana	a		b	
Méthode de calcul débits :				
Valeurs débits (m ³ /s)	État initial		État final	
ΔQ				

CHAPITRE 4

Dimensionnement des ouvrages



4.1 Période retour à prendre en compte – pluie de projet

Dans le cadre de la réalisation d'un aménagement, la période de retour à prendre en compte est un élément primordial dans la phase d'élaboration d'un projet d'aménagement.

En effet, elle a un impact direct sur le dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales.

Le présent chapitre a pour objet de fixer la période de retour à prendre en compte pour les aménagements réalisés sur l'île de la Réunion.

4.1.1 La norme NF EN 752

La norme EN 752 a été actualisée en février 2008. Elle remplace les normes 752-1 à 752-7 précédemment utilisées et définit les prescriptions en matière de performance qui sont à mettre en œuvre.

4.1.1.1 Présentation générale de la norme

Le choix de la période de retour à prendre en compte doit constituer un équilibre entre le niveau de protection à fournir et les coûts engendrés.

C'est sur la base de cette période de retour que les ouvrages seront dimensionnés, tout en veillant à ce que les inondations provoquées par des événements plus importants aient un impact minimum sur les personnes et les installations.

Le réseau doit fonctionner principalement à écoulement libre (pas de mise en charge des conduites).

Les prescriptions de la norme NF EN 752 s'appliquent dès le point où l'effluent quitte le bâtiment ou le système d'évacuation de la toiture jusqu'au point de rejet dans le milieu naturel ou de sa prise en charge par un système de traitement (station de traitement des eaux usées). Les collecteurs ou réseaux sous un bâtiment et qui ne font pas partie du système d'évacuation du bâtiment sont concernés par la présente norme.

TABLEAU 4.1 : FRÉQUENCE DE CALCUL DES INONDATIONS

Lieu d'installation	Période de retour (1 sur « n » années)	Probabilité de dépassement pour une année quelconque
Zones rurales	1 sur 10	10 %
Zones résidentielles	1 sur 20	5 %
Centre-ville Zones industrielles Zones commerciales	1 sur 30	3 %

La norme NF EN 752 précise qu'en l'absence de spécifications de critères de conception dans les réglementations nationales, locales ou par l'autorité compétente, les valeurs de fréquence des inondations indiquées dans le tableau 4.1 peuvent être utilisées :

Pour mémoire, le dispositif d'indemnisation au titre des catastrophes naturelles (dit CAT-NAT) indique que celui-ci est mis en oeuvre pour les phénomènes d'intensité anormale (avec pour les inondations, l'indication d'une période de retour 10 ans). Ainsi, le respect de la norme NF EN 752 doit permettre, en théorie, d'empêcher les inondations par ruissellement urbain qui ne seraient pas couvertes par le dispositif CATNAT.

4.1.1.2 Adaptation de la norme NF EN 752 à La Réunion

La norme NF EN 752 prévoit la possibilité d'adapter les niveaux de protection en fonction du contexte locale. Cette adaptation nécessite toutefois un diagnostic détaillé du fonctionnement hydrographique et des enjeux exposés sur les zones concernées. À ce titre, il apparaît vivement souhaitable que les communes se dotent d'un Schéma Directeur d'Eaux Pluviales destiné d'une part, à préciser les niveaux de protection du réseau existants (et en corollaire à définir les travaux de remise à niveau à engager) et d'autre part, à éventuellement adapter les niveaux de protection aux caractéristiques locales.

À défaut de prescriptions plus précises dans les documents communaux (Schémas Directeurs d'Eaux Pluviales), la période de retour à prendre en compte pour le dimensionnement des projets est celle figurant dans la norme NF EN 752 (paragraphe 4.1.1.1).

4.2 Dimensionnement des réseaux

Si les eaux pluviales ruisselées sur la surface du projet ont pour exutoire un réseau d'eaux pluviales, il convient de déterminer les dimensions de ce réseau. L'objectif de ce chapitre est de présenter les paramètres d'entrée et le principe de calcul retenu pour dimensionner le réseau. Ce chapitre présentera également une fiche de résultats standards à fournir par l'aménageur dans le dossier loi sur l'eau.

4.2.1 Présentation de la méthode calcul de dimensionnement

La formule la plus couramment utilisée et conseillée dans le Guide CERTU, « *La ville et son assainissement* », pour calculer les dimensions du réseau d'évacuation des eaux pluviales, dans le cas des écoulements à surface libre, est la formule de Manning-Strickler, qui se met sous la forme :

$$S = \frac{Q}{K \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}}$$

avec,

- S, Section du réseau en m²
- Q, débit en m³/s
- K, coefficient de Manning – Strickler en m^{1/3}/s
- Rh, rayon hydraulique (rapport entre la section mouillée en m² et le périmètre mouillé en m) en m
- I, la pente de la ligne de charge en m/m

4.2.2 Présentation des paramètres d'entrée

Les paramètres Q_e et I sont déterminés au préalable.

Pour les coefficients K (coefficient de Manning Strickler) et R_h (rayon hydraulique) les modalités de calcul sont les suivantes :

Coefficient de Manning-Strickler

Le tableau ci-dessous indique des ordres de grandeur des valeurs du paramètre K (coefficient de Manning-Strickler).

Ces valeurs correspondent à de bonnes conditions hydrauliques (exemptes de pertes de charge singulières) et il n'est pas rare que les valeurs réelles soient inférieures de 10 % à 20 % aux valeurs indiquées.

TABLEAU 4.2 : EXEMPLES DE VALEURS DU COEFFICIENT DE MANNING-STRICKLER APOUR DIFFÉRENTS MATÉRIAUX⁵

Nature des parois	Coefficient K ($m^{1/3}/s$)
Tuyaux les plus lisses (PVC)	100
Revêtements en mortiers lissés très bien réalisés	85 à 90
Grès – enduit ordinaire	80
Béton lisse	75
Maçonnerie ordinaire	70
Béton dégradé – maçonnerie ancienne	60
Rivière régulière en lit rocheux ou berges en terre enherbées	50
Rivière en lit de cailloux – berges en terre dégradées	40
Berges totalement dégradées – torrent transportant de gros blocs	15 à 20

⁵ – Guide CERTU, « la ville et son assainissement », 2003

Le rayon hydraulique

Le tableau suivant indique différentes formules de calcul suivant la forme de la conduite.

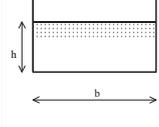
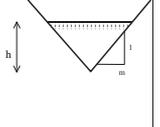
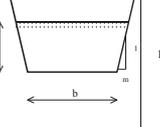
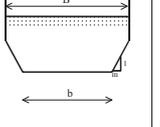
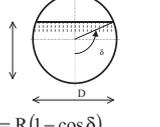
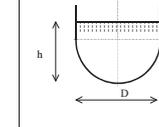
						
Surface S		$S = m.h^2$	$S = bh + m.h^2$	$S = Bh - \frac{(B-b)^2}{4m}$	$S = \frac{D^2}{4} (\delta - \sin \delta \cos \delta)$	$S = Dh + D^2 \left(\frac{\pi}{8} - \frac{1}{2} \right)$
Périmètre mouillé P		$P = 2h\sqrt{1+m^2}$	$P = b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$P = 2h + b + \frac{(B-b)(\sqrt{1+m^2}-1)}{m}$	$P = D\delta$	$P = 2h + D \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right)$
Rayon Hydraulique R_h		$R_h = \frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}$	$R_h = \frac{bh + mh^2}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$R_h = \frac{S}{P}$	$R_h = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin \delta \cos \delta}{\delta} \right)$	$R_h = \frac{S}{P}$
Largeur B		$B = 2mh$	$B = b + 2mh$	B	$B = D \sin \delta$	$B = D$
Profondeur hydraulique D_h		$D_h = \frac{h}{2}$	$D_h = \frac{bh + mh^2}{b + 2mh}$	$D_h = \frac{S}{B}$	$D_h = \frac{D(\delta - \sin \delta \cos \delta)}{4 \sin \delta}$	$D_h = \frac{S}{B}$
$S.y_G$		$Sy_G = \frac{mh^3}{3}$	$Sy_G = \left(\frac{b}{2} + \frac{mh}{3} \right) h^2$	$Sy_G = \frac{Bh^2}{2} - \frac{h(B-b)^2}{4m} + \frac{(B-b)^3}{24m^2}$	$Sy_G = \frac{D^3}{8} \left(\frac{\sin \delta - \frac{\sin^3 \delta}{3}}{\delta \cos \delta} \right)$	$Sy_G = \frac{D}{2} \left(h - \frac{D}{2} \right)^2 + \frac{\pi D^2}{8} \left(h - \frac{D}{2} \right) + \frac{D^3}{12}$

Tableau 4.3: formules à utilisées pour déterminer R_h ⁶

6 – José VAZQUEZ
(Systèmes Hydrauliques Urbains – ENGEES)

Des abaques permettant de déterminer le diamètre d'une conduite circulaire sont indiqués en annexe 4.

4.2.3 Présentation de la fiche de résultats à fournir par l'aménageur

Nom de la commune : Nom du projet : Date :
Calcul de dimensionnement d'une canalisation d'un réseau d'assainissement pluvial
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES
Forme du réseau à dimensionner :
Type de matériaux :
Méthode de calcul utilisée pour déterminer le débit entrant (Rationnelle et/ou Caquot ou modèle) :
.....
PARAMÈTRES D'ENTRÉE
Débit entrant Q_e (m ³ /s) :
Pente de la ligne de charge (m/m) :
Rayon hydraulique R_h en m (formule et valeur) :
Coefficient de Manning-Strickler K retenu :
RÉSULTATS DES CALCULS
Section de la canalisation en m ² :

Figure 4.8 : fiche standard de résultats du calcul de dimensionnement d'une canalisation d'un réseau pluvial d'assainissement à fournir par l'aménageur

Cette fiche standard permettra de visualiser rapidement les paramètres d'entrée utilisés et les résultats obtenus pour le calcul de dimensionnement de la canalisation d'eaux pluviales.

4.3 Dimensionnement des ouvrages de stockage

L'objectif de ce chapitre est de calculer le volume maximum susceptible d'arriver dans un bassin de retenue des eaux pluviales pour une période de retour donnée et d'en déduire le volume de la retenue et la loi de vidange.

Seules sont prises ici en compte des considérations de type hydraulique.

Le *chapitre 4.4* indique les éléments de dimensionnement liés aux aspects limitation des flux de polluants.

4.3.1 Présentation de la méthode calcul de dimensionnement

La méthode de calcul choisie pour dimensionner les ouvrages de stockage dans le cadre de ce présent guide est la **méthode des pluies**.

L'analyse parallèle des conditions d'utilisation des méthodes des pluies et des volumes ont montré que cette dernière était difficilement applicable à la Réunion en raison de la nécessité de disposer de données statistiques observées sur le secteur.

Cette méthode peut être utilisée dans le cas d'un réseau homogène, sans ouvrage spécial ni autre bassin de retenue à l'amont du bassin de retenue que l'on souhaite dimensionner, à condition que le volume total de la retenue soit inférieur à 500 m³ (volume pouvant être porté à 1 000 m³ en l'absence de risques importants en cas de dysfonctionnement).

Cette méthode s'appuie sur plusieurs hypothèses, elle suppose :

- **que le débit de fuite de l'ouvrage est constant ;**
- qu'il y a transfert instantané de la pluie à l'ouvrage de retenue, c'est à dire que les phénomènes d'amortissement dus au ruissellement sur le bassin sont négligés.

Cette méthode n'est donc applicable que pour les bassins versants relativement petits, inférieurs à 200 hectares⁷. Les méthodes d'évacuation après stockage (écoulement libre ou infiltration) sont basées sur le même principe, seules les modalités de calcul du débit de fuite variant.

4.3.2 Paramètres d'entrée et déroulement du calcul

Pour appliquer la méthode des pluies, deux paramètres d'entrée sont préalablement requis :

- **débit de fuite :**
 - rejet dans le réseau : le débit de fuite est imposé par la commune,
 - rejet dans le milieu naturel : le débit de fuite est, soit fixé par un zonage pluvial, soit égal au débit rejeté avant aménagement (non aggravation de l'état initial $\Delta Q = 0$)
 - infiltration : le débit de fuite est imposé par la nature du sol
- **les coefficients de Montana** sont déterminés au *chapitre 3.3.2.1*.

⁷ – Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales, p.38. Agence de l'eau, 1994.

Déroulement du calcul:

La 1^{re} étape consiste à déterminer la courbe de la hauteur précipitée en fonction du temps par la formule suivante :

$$h(t) = a \times t^{1-b}$$

Avec a et b en mm/min et t en min et h en mm.

La 2^e étape consiste à construire la courbe (droite) de l'évolution des hauteurs d'eau à évacuer en fonction des durées d'évacuation.

Au préalable, il faut calculer le débit de fuite spécifique en mm/h en fonction du temps par la formule suivante :

$$q_s = 360 \times \frac{Q_s}{S_a}$$

Avec q_s en mm/h, Q_s en m³/s et S_a en ha.

Où S_a est la surface active de ruissellement alimentant l'ouvrage de stockage. Elle est déterminée par le produit du coefficient de ruissellement C et de la surface totale du bassin versant drainé.

La 3^e étape consiste à tracer conjointement la hauteur précipitée pour une période de retour donnée et la courbe représentant l'évolution des hauteurs d'eau à évacuer en fonction des durées d'évacuation.

La forme du graphique obtenue est représentée ci-dessous.

Les différences $\Delta h(t)$ entre les courbes $q_s(t)$ et $h(t)$ correspondent aux hauteurs à stocker pour différentes durées. Le maximum Δh_{max} correspond à la hauteur totale à stocker. Le volume d'eau à stocker se détermine alors facilement par la formule suivante :

$$V = 10 \times \Delta h_{max} \times S_a$$

Avec V en m³, Δh_{max} en mm et S_a en ha.

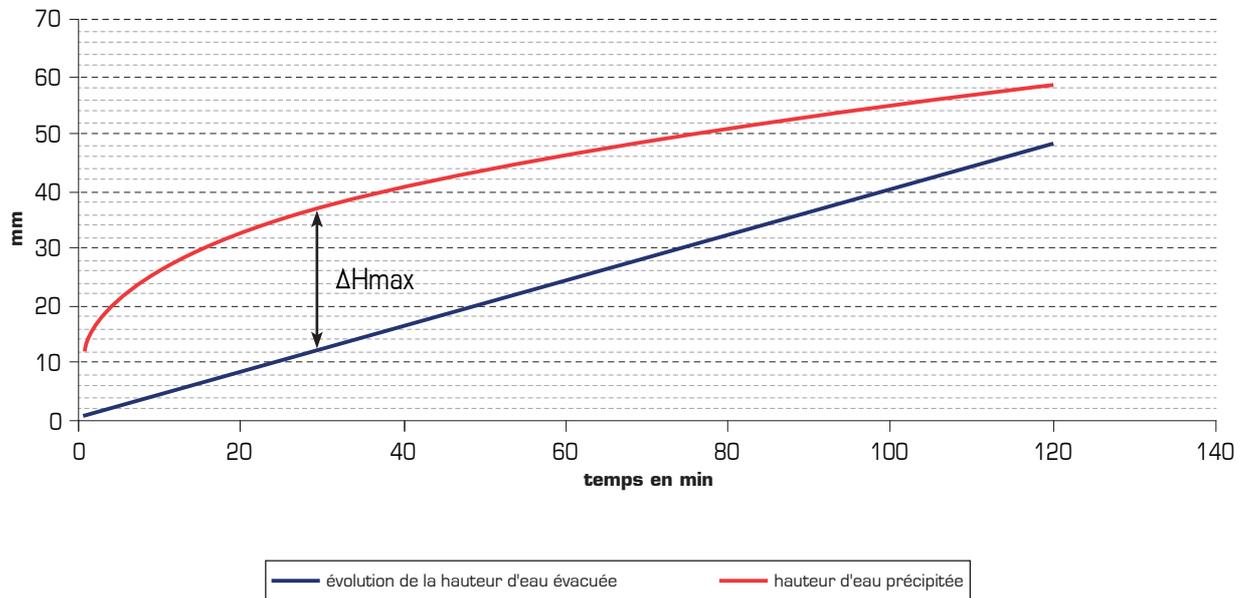


Figure 4.9: Superposition de la courbe Hauteur précipitée et la courbe d'évacuation

Cette procédure de calcul est issue du Guide « *La ville et son assainissement – Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau, CERTU, 2003* ». Cette méthode de calcul est également détaillée dans le « *Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales* », Agence de l'eau, 1994.

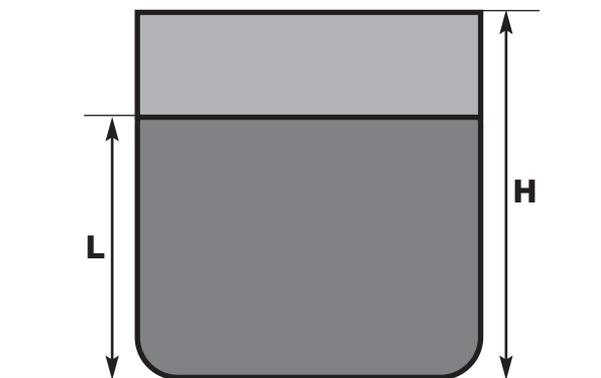
$$Q_s = K_s \times S \times H/L$$

Où Q_s est le débit infiltré (m^3/s), K_s (m/s) la conductivité hydraulique ou coefficient de perméabilité, S (m^2) la section de la colonne, H (m) la charge hydraulique et L la hauteur de la colonne de sol saturé.

4.3.3 Cas des dispositifs d'infiltration

Dans le cas d'un ouvrage de stockage destiné à permettre l'infiltration, le débit de fuite est fourni par la formule de Darcy :

La valeur de K_s peut être déterminée simplement par le bureau d'étude via un essai de perméabilité (méthode de Porchet). A défaut, on utilisera l'échelle suivante :



Afin d'assurer l'efficacité du dispositif, la conductivité doit être comprise en 10^{-5} et 10^{-2} m/s. Dans le cas d'une perméabilité $> 10^{-2}$, des dispositifs devront être envisagés pour empêcher la lessiviation des sols.

TABLEAU 4.3: ORDRES DE GRANDEUR DE LA CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE DANS DIFFÉRENTS SOLS (MUSY & SOUTTER, 1991)

K_s (m/s)	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
K_s (mm/h)	1000			100	10					
Type de sols	Graviers sans sable ni éléments fins		Sable avec gravier, sable grossier à sable fin		Sable très fin, Limon grossier à limon argileux		Argile limoneuse à argile homogène			
Possibilités d'infiltration	Excellentes		Bonnes		Moyennes à faibles		Moyennes à faibles			

Source : Guide technique – Recommandation pour la faisabilité, la concertation et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain – Graie – 2006

4.3.4 Présentation de la fiche standard de résultats à fournir par l'aménageur

Nom de la commune : Nom du projet : Date :
Calcul de dimensionnement d'un ouvrage de stockage
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES
Type de bassin envisagé : Type de milieu récepteur en aval de l'ouvrage de stockage : Station météo France utilisée :
PARAMÈTRES D'ENTRÉE
Débit entrant Q_S (m ³ /s) : Débit rejeté avant aménagement Q_i (m ³ /s) : $\Delta Q = Q_S - Q_i$ (m ³ /s) : <i>(en cas de rejet dans un milieu naturel)</i> Coefficient de Montana : a (mm/min) : b :
Surface active de ruissellement alimentant l'ouvrage de stockage, S_a en ha :
RÉSULTATS DES CALCULS
Volume de stockage V en m ³ :

Figure 4.10 : fiche standard de résultats du calcul de dimensionnement d'un ouvrage de stockage à fournir par l'aménageur

Cette fiche standard permettra de visualiser rapidement les paramètres d'entrée utilisés et les résultats obtenus pour le calcul de dimensionnement d'un ouvrage de stockage.

4.4 Dimensionnement des ouvrages de traitement des pollutions

Les eaux de ruissellement se chargent, tout au long de leur parcours, de différents types de particules (qu'il s'agisse d'éléments trace métallique (ETM), de pesticides, voire d'autres polluants) qui se retrouvent dans les matières en suspension (MES). La nature des surfaces lessivées influe par ailleurs très fortement sur les concentrations finales de ces différentes substances (distinction nette entre les secteurs résidentiels et les chaussées routières par exemple). Le traitement des MES constitue donc l'étape fondamentale dans l'abattement des pollutions générées par les eaux pluviales.

Le principe de base imposé pour la gestion qualitative des eaux pluviales est la non- dégradation du milieu récepteur.

Si, en métropole, la qualité des cours d'eau est évaluée de manière systématique à partir d'une grille d'indicateurs (détermination des seuils de qualité pour MES, DBO₅, DCO,...), une telle démarche n'a pas encore abouti localement. En l'attente de ces éléments, **il importe que le dossier « loi sur l'eau » détaille les sources de pollution potentielles (en fonction notamment du type d'implantation envisagé) et évalue la qualité du milieu récepteur afin de préciser le niveau de traitement qui doit être envisagé pour l'opération.** A titre d'exemple, les zones où les circulations seront importantes (avec les pollutions routières liées) devront faire l'objet d'un traitement systématique.

4.4.1 Caractérisation de la pollution générée par les eaux pluviales

Les éléments quantitatifs évoqués ci-après sont basés sur des références bibliographiques métropolitaines. En effet, en l'absence de données locales plus précises, on se basera sur ces valeurs nationales pour effectuer les calculs de pollution.

Les méthodes de calcul des flux polluants sont à adapter aux pollutions susceptibles d'être engendrées par les eaux ruisselées. La méthode détaillée ci-dessous est adaptée aux projets d'aménagement constitué d'une mixité entre habitations, voiries, espaces végétaux (les projets routiers ou industriels relèvent d'une analyse spécifique)

Les pollutions engendrées par l'imperméabilisation des sols sont de deux types : les pollutions chroniques (lessivage régulier des sols tout au long de l'année) et les effets de chocs (libération de flux polluants en cas de forte pluie).

4.4.1.1 Origine de la pollution des eaux pluviales

L'analyse physico-chimique des eaux pluviales « atmosphériques » (avant ruissellement) montre que celles-ci contiennent en général 20 à 25 % de la pollution contenue dans les eaux pluviales⁸. En effet, la traversée d'une atmosphère polluée entraîne une dissolution de certains gaz et l'entraînement de particules (oxyde d'azote et de carbone, hydrocarbure, soufre). Ce, phénomène peut être très sensible à proximité de rejets de site industriel par des cheminées (fours de combustion par exemple).

⁸ – Source : La ville et son assainissement, CERTU, 2003

Les eaux de pluie qui ruissellent sur les surfaces imperméables vont dissoudre ou transporter certains éléments :

- rejets de poussières atmosphériques déposées ;
- rejets des échappements, des fuites de moteurs, des particules issues des véhicules (pneu, garniture de frein, etc...);
- terre, boues, sables non stables ;
- déjection des animaux ;
- déchets végétaux : feuilles mortes, fruits ;

- déchets domestiques : papier, déchets de marché etc... ;
- produits d'usure des surfaces imperméables : zinc pour les toitures, hydrocarbure pour le bitume, peinture,...

Le transport peut être l'objet de dépôts qui sont remis en suspension pour des pluies plus longues ou plus intenses.

Le tableau ci-dessous synthétise les origines des polluants issus des bassins versants routiers.

TABLEAU 4.4 : ORIGINES DES POLLUANTS ISSUS DES BASSINS VERSANTS ROUTIERS	
Polluants	Origines
Nickel	Pneumatiques, garnitures de freins, produits de déverglaçage des routes
Chrome	
Cuivre	
Plomb	
Cadmium	Glissières, pneumatiques, garnitures de freins, produits de déverglaçage des routes
Zinc	
HAP	Pneumatiques, carburants
Hydrocarbures	Carburants
MES	Glissières, fossés, remblais...

4.4.1.2 Évaluation des pollutions générées par les eaux pluviales

A. Évaluation des pollutions liées des eaux pluviales – effets cumulatifs

Les masses polluantes annuellement rejetées à l'aval des collecteurs pluviaux sont très variables.

Le tableau 4.5 fournit des ordres de grandeur des masses moyennes produites annuellement par hectare actif. Il permet d'évaluer les **effets chroniques ou cumulatifs**.

Le calcul des concentrations de polluants par effets cumulatifs se fait par l'intermédiaire de la formule suivante :

$$C_m = M_a \times S \times P_{\text{annuelle}} \times K$$

où :

- C_m : concentration moyenne annuelle
- M_a : masse annuelle de polluant rejetée (cf. tableau 4.6)
- S : surface imperméabilisée (en ha)
- P_{annuelle} : pluviométrie annuelle observée sur la surface du site (en m^3)
- K : efficacité de l'abattement de pollution (en %)

Ce calcul revient à évaluer la charge polluante sur le site et à la diluer par la pluviométrie annuelle observée sur le site. Un rendu en mg/l est le plus adapté.

En métropole, la définition des objectifs de qualité des cours d'eau a permis de définir précisément les valeurs de pollution chronique à ne pas dépasser pour chacun des polluants. A la Réunion, en l'absence de ces données, une approche au cas par cas, lors du dépôt du dossier loi sur l'eau précisera les objectifs assignés au projet (en fonction notamment de la vulnérabilité du milieu récepteur et de la nature de l'aménagement).

TABLEAU 4.5 : MASSE EN SUSPENSION REJETÉES DANS LES EAUX DE RUISSELLEMENT (EN KG/HA DE SURFACE IMPERMÉABILISÉE)

Nature du polluant	Rejets pluviaux lotissement – parking ZAC	Rejets pluviaux zone urbaine dense ZAC importante
MES	660	1000
DCO	630	820
DBO ₅	90	120
Hydrocarbures totaux	15	25
Plomb	1	1,3

Sources : Les eaux pluviales dans les projets d'aménagement - Constitution des dossiers d'autorisation et de déclaration au titre de la loi sur l'eau – Régions Aquitaine et Poitou Charente.

4.4.1.3 Évaluation des pollutions liées aux eaux pluviales – effets de chocs

Le tableau⁹ suivant, élaboré à partir de données bibliographiques, fournit des ordres de grandeur de différents ratios de masses pour un événement polluant. Il permet d'évaluer les **effets de chocs**. Le flux à prendre en compte est la masse rejetée à l'occasion d'un événement pluvieux d'une période de retour annuelle. À partir de ce tableau, il est possible de déterminer la pollution générée par des pluies de période de retour 1 à 5 ans en évaluant la concentration abattue dans le débit de fuite.

4.4.2 Types d'ouvrages de traitement des eaux pluviales

La description des ouvrages de traitement des eaux pluviales est essentiellement issue du guide technique « Pollution routière –

Conception des ouvrages de traitement des eaux », SETRA, août 2007. Dans la plupart des projets, on effectuera le choix du dispositif en essayant d'optimiser la gestion qualitative et quantitative des eaux pluviales. De manière générale, il faut retenir que tout ce qui favorise la simplicité de l'ouvrage et minimise l'entretien des différents organes constitue un gage d'efficacité. Généralement, on retient deux grands types d'ouvrages de dépollution :

- Les ouvrages de décantation, basés sur le principe d'une séparation mécanique, sous l'effet de la gravité, de phases non miscibles
- Les ouvrages de filtration, basés sur l'installation d'un filtre physique (grille, filtre à sable,...) permettant de retenir les éléments les plus lourds, généralement les polluants.

Des techniques complémentaires, telles que l'infiltration, peuvent aussi être mises en œuvre.

TABLEAU 4.6 : MASSES (EN KG) VÉHICULÉES PAR HECTARE DE SURFACE IMPERMÉABILISÉE POUR DES ÉVÈNEMENTS D'UNE PÉRIODE DE RETOUR ANNUELLE ET LORS D'ÉPISODES PLUVIEUX PLUS RARE DE 2 À 5 ANS

Nature du polluant	Épisode pluvieux de fréquence annuelle	Épisode pluvieux plus rare de 2 à 5 ans
MES	65	100
DCO	40	100
DBO ₅	6,5	10
Hydrocarbures totaux	0,7	0,8
Plomb	0,04	0,09

9 – Les eaux pluviales dans les projets d'aménagement - Constitution des dossiers d'autorisation et de déclaration au titre de la loi sur l'eau – Régions Aquitaine et Poitou Charente.

À la Réunion, compte tenu du contexte local (fort transport solide, risques d'embâcle,...), il semble préférable de privilégier les ouvrages de décantation, sachant que pour les pollutions chroniques les plus fortes des ouvrages complémentaires de type filtration peuvent être mis en complément. L'entretien des ouvrages (liés aux risques de colmatage ou d'embâcle) constitue un enjeu important dans les techniques de filtration. La mise en place de grilles avaloir, pièges à cailloux ou de paniers dégrilleurs pourra être envisagée dans certains cas.

L'expertise menée en 2008 par le SETRA sur les techniques de dépollution¹⁵ a conclu que les ouvrages "industriels" (débourbeurs, deshuileurs et décanteurs-deshuileurs) ne sont pas adaptés à la problématique du traitement de la pollution chronique des eaux pluviales. Les faibles concentrations en hydrocarbures véhiculés par ces eaux et les formes sous lesquelles se trouvent ces polluants ne sont pas compatibles avec un traitement par ce type d'ouvrage. Leur usage doit donc se limiter à des aménagements très particuliers qui génèrent des eaux à fortes concentrations en hydrocarbures flottants, tels que les stations services, les aires d'entretien de véhicules, les activités pétrochimiques.

4.4.2.1 Présentation des principales techniques de traitement des pollutions liées aux eaux pluviales

Outre les techniques évoquées ci-dessous, des techniques plus complexes peuvent être envisagées pour gérer les pollutions chroniques et accidentelles très importantes, mais elles sont essentiellement ciblées pour les ouvrages routiers ou les sites industriels où les conséquences négatives potentielles des pollutions sont susceptibles d'être les plus fortes.

A. Les bassins de décantation

Il existe plusieurs types de bassins de décantation, nous retiendrons pour la présente étude, trois types de bassin :

- les bassins souterrains en zone urbaine dense (ouvrage génie civil) ;
- les bassins « ouverts » à l'air libre (ouvrage de terrassement) ;
- les fossés assimilables à des bassins longilignes.

Le principe de dimensionnement pour les bassins souterrains et les bassins en surface libre est le même. Pour les fossés, il diffère légèrement du fait de la particularité géométrique des fossés.

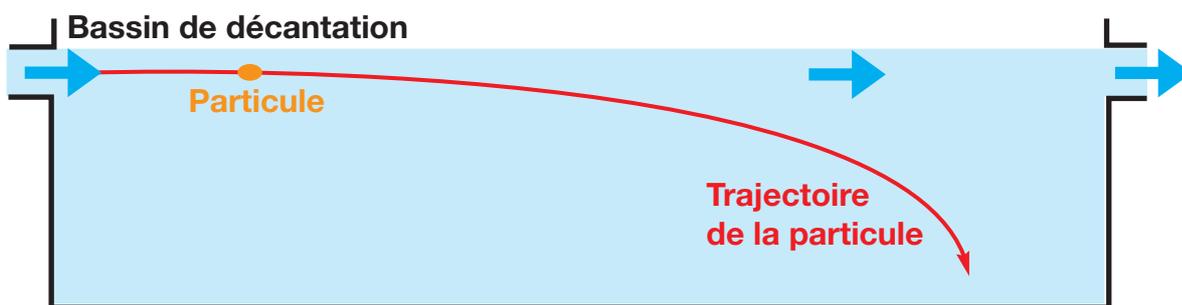


Figure 4.1 : schéma de principe d'un bassin de décantation (nb : $Q_s < Q_e$)

Le tableau¹⁰ ci-dessous présente des évaluations sommaires de l'efficacité pour l'interception des MES des ouvrages de décantation en fonction du volume de stockage exprimé en m³/ha imperméabilisé :

En l'absence de valeurs disponibles pour des cas spécifiques à la Réunion, nous utiliserons les critères mentionnés ci-dessus pour donner une première évaluation des dimensionnements des ouvrages de décantation.

Pour la mise en place de ces bassins de décantation, les pratiques suivantes sont recommandées :

- Favoriser la décantation avec la géométrie de l'ouvrage (plutôt rectangulaire) et la position des entrées et de sortie (diamétralement opposées)
- Intégrer la question de l'entretien dans la conception de l'ouvrage (privilégier les berges engazonnées de faible pente)

- Limiter les risques de prolifération des moustiques en limitant le stockage des eaux sur une trop longue période (réduire les zones de stockage en adaptant la géométrie de l'ouvrage et du point d'évacuation)
- Prévoir un dispositif pour gérer les eaux excédentaires en cas de très forte pluie (by-pass ou déversoir)

B. Les fossés (ou noues)

Les fossés (ou noues) sont décrits dans le détail dans l'annexe sur les solutions alternatives. D'un point de vue qualitatif, ces ouvrages permettent (s'ils sont suffisamment longs et peu pentus) d'améliorer le piégeage de la pollution chronique et de ralentir la propagation des polluants. Si les caractéristiques géométriques de l'ouvrage (longueur, pente) constituent un élément essentiel de son efficacité, sa structure doit

TABLEAU 4.7 : EFFICACITÉ POUR L'INTERCEPTION DES MES DES OUVRAGES DE DÉCANTATION EN FONCTION DU VOLUME DE STOCKAGE

Volume de stockage (m ³ /ha)	% intercepté de la masse M produite annuellement	% intercepté de la masse produite à l'occasion des évènements critiques	FRÉQUENCE DES REJETS RÉSIDUELS NB/AN	
			Rejets moyens (M x 1 % < rejets < M x 5 %)	Gros rejets (≥ M x 5 %)
20	36 à 56	5 à 10	4 à 14	2 à 4
50	57 à 77	13 à 29	2 à 10	1 à 3
100	74 à 92	26 à 74	2 à 4	1 à 2
200	88 à 100	68 à 100	1 à 3	0 à 1

10 – Les eaux pluviales dans les projets d'aménagement - Constitution des dossiers d'autorisation et de déclaration au titre de la loi sur l'eau – Régions Aquitaine et Poitou Charente.

également être particulièrement étudiée. Les principes de composition des fossés sont généralement les suivants :

- un revêtement peu perméable dont l'épaisseur sera mentionnée pour chacun des ouvrages et dont la perméabilité et la porosité efficace sont adaptées à la vulnérabilité des eaux souterraines et au délai d'enlèvement de la matière polluante ;
- un dispositif avertisseur pour éviter la dégradation du revêtement cite ci-dessus lors des opérations d'entretien ;
- de la terre végétale dont l'épaisseur est \geq a 0,20 m et qu'il convient d'ensemencer pour éviter son érosion et favoriser la lutte contre les pollutions chronique et accidentelle.

À la Réunion, les contraintes de pente limitent l'utilisation et l'efficacité de ce genre de technique pour la gestion qualitative des eaux pluviales. Certains secteurs à faible pente (plaines alluviales par exemple) pourraient bénéficier de ce genre de techniques.

C. Les filtres à sable

Le filtre à sable est un ouvrage **complémentaire de traitement de la pollution chronique**. Il améliore l'abattement déjà obtenu dans un bassin de décantation ou un fossé dont le débit de fuite alimente le filtre à sable. Il est installé lorsque l'accumulation des polluants liés aux matières en suspension est préjudiciable à la qualité du milieu récepteur (cours d'eau d'excellente qualité, zone récifal, lacs, étangs, zones humides,...).

Afin de garantir leur efficacité, il convient de retenir les éléments suivants :

- Leur superficie doit être supérieure à 50 m² pour un entretien aisé
- L'épaisseur de sable est supérieure à 0,80 mètre (si l'épaisseur est inférieure, il y a un risque d'entraînement du matériau pouvant déstructurer le filtre)
- L'accès au filtre à sable doit être pratique depuis l'extérieur avec des engins d'entretien. Les dimensions et les espaces libres doivent tenir compte des manœuvres des engins

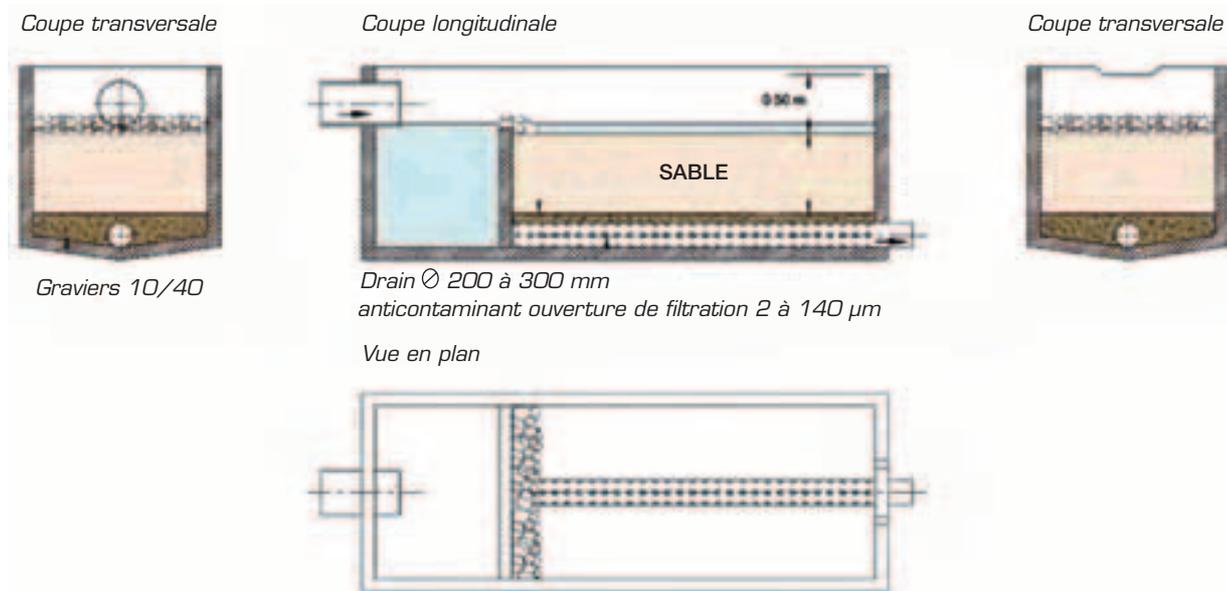


Figure 4.12: schéma de principe d'un filtre à sable

4.4.2.2 Rendements des ouvrages de traitements « classiques » de la pollution d'origine routière

L'efficacité des ouvrages de traitement "classiques" de la pollution d'origine routière est détaillée dans le tableau suivant issu du guide technique pour les pollutions d'origine routière du SETRA, août 2007 :

TABLEAU 4.8 : PERFORMANCES DES OUVRAGES SUR LA POLLUTION CHRONIQUE

Ouvrage de traitement	Taux d'abattement en %			
	MES	DCO	Cu, Cd, Zn	Hc et HAP
Bassin de décantation avec vitesse de sédimentation en m/h				
1	85	75	80	65
3	70	65	70	45
5	60	55	60	40
Fossé enherbé (longueur minimale 100 m, sans infiltration et avec une pente nulle)	65	50	65	50
Filtre à sable	90	75	90	95

4.5 Gestion et entretien des ouvrages de stockage et de traitement

Ce chapitre a pour objet d'aviser l'aménageur sur les contraintes liées à la gestion des ouvrages de traitement et de stockage.

Les bassins de retenue d'eaux pluviales doivent être entretenus pour en maintenir la pérennité et les fonctions. C'est une condition importante de leur efficacité et aussi de leur acceptation par le public.

L'entretien doit être adapté au type d'ouvrage. Les bassins à ciel ouvert, par exemple et notamment les bassins en eau, constituent des milieux vivants et évolutifs ; de plus ils sont souvent ouverts au public et doivent s'intégrer dans le tissu urbain, d'où la nécessité de maintenir une certaine qualité esthétique et d'éviter les nuisances (mauvaises odeurs, couleur de l'eau, etc.).

L'entretien doit être régulier, ce qui implique des interventions toute l'année.

L'entretien doit être prévu dès la conception des ouvrages.

L'entretien et le suivi des bassins de retenue des eaux pluviales doivent reposer sur une **approche très pragmatique**, susceptible d'évoluer, basée sur des observations fréquentes de leur état et de leur fonctionnement. En effet, certaines conditions de fonctionnement peuvent varier dans de fortes proportions et il n'est pas toujours possible d'indiquer des règles générales précises quant à la périodicité des interventions, ou aux quantités de résidus à éliminer par exemple.

À la Réunion, la problématique est d'autant plus prégnante. En effet, le développement des gîtes larvaires de moustiques est favorisé par les conditions climatiques tropicales.

L'ARS indique que le cycle de développement larvaire, entre la ponte et l'éclosion, dure entre 8 à 10 jours.

Or le Règlement Sanitaire Départemental de la Réunion indique à son l'article 36 « *réserves d'eau non destinée à l'alimentation : les réserves d'eau non destinée à l'alimentation, les bassins d'ornement ou d'arrosage, ainsi que tous autres réceptacles sont vidangés aussi souvent qu'il est nécessaire, en particulier pour empêcher la prolifération des insectes. Leur nettoyage et désinfection sont effectués aussi souvent qu'il est nécessaire et au moins une fois par an.* »

Par conséquent, l'entretien des ouvrages de stockage et de traitement à la Réunion sera impératif, si ces ouvrages sont à une distance inférieure à 100 m d'habitations (distance parcourue pendant la vie d'un moustique *Aedes albopictus*, le vecteur du chikungunya à La Réunion).

CHAPITRE 5

Analyse des techniques alternatives



Jusqu'à récemment, la politique mise en œuvre en matière d'eaux pluviales avait pour philosophie l'évacuation rapide de ces eaux, soit par déversement dans les ravines, soit par création de réseaux d'évacuation généralement sous-dimensionnés ou incomplets. Cette politique a montré ses limites (saturation des réseaux, même en cas de pluie moyenne, impact sur les biens et les personnes, détérioration de la qualité des eaux, coûts de remise à niveau des réseaux très élevés, maintenance du réseau coûteux), ce qui nécessite donc une politique en matière d'eaux pluviales favorisant leur rétention des eaux pluviales « à la parcelle ».

La maîtrise d'œuvre doit concevoir des projets qui abordent le volet de la gestion des eaux pluviales en ayant recours à la mise en œuvre de techniques *alternatives*¹¹ à l'assainissement classique (c'est à dire rejet systématique dans le réseau). Elles ont été appelées alternatives de façon à exprimer cette possibilité de se substituer au réseau de conduites ou de caniveaux. On parle aussi parfois de techniques *réductrices* en sous-entendant « des effets de l'urbanisation ».

Elles sont fondées sur des principes de rétention (stockage), de retardement de l'écoulement (allongement du temps de concentration) et d'infiltration. Dans chacune de ces techniques ou aménagements, l'un ou plusieurs de ces trois principes peut être mis en œuvre.

Ces techniques peuvent se distinguer soit par leur mode de fonctionnement (stockage ou infiltration), soit en fonction de leur loca-

lisation dans la chaîne formant le cycle de l'eau en milieu urbain (Pluie – Urbanisation – Ruissellement – Réseau - Exutoire). Le long de cette chaîne, certaines agiront de façon plus ou moins diffuses, avant la formation d'un ruissellement significatif et structuré (c'est par exemple le cas des toitures-terrasses ou des chaussées drainantes).

D'autres auront une action plus localisée et seront interposées dans le système d'évacuation (c'est le cas des bassins de retenue, des tranchées et puits d'infiltration, etc.). Quelques-unes parmi ces dernières intègrent également des fonctions de dépollution (bassins de décantation notamment).

Ces solutions alternatives présentent par ailleurs de nombreux intérêts :

- elles sont souvent moins onéreuses que les solutions traditionnelles ou bien, pour un coût équivalent, elles offrent une protection supérieure contre les différents risques (déconcentration des flux, répartition des risques, diminution du risque à l'aval...);
- elles nécessitent plus de main-d'œuvre que les techniques traditionnelles tout en étant moins coûteuses (généralement ce sont des solutions plus simples) ou bien, à capital équivalent, elles offrent davantage d'opportunités pour l'utilisation de matériaux locaux et de main-d'œuvre locale ;
- elles sont intimement liées à l'aménagement, qu'elles peuvent contribuer à valoriser.

Pour autant, ces techniques prometteuses sont encore peu utilisées, car

- elles sont en général peu développées à La Réunion et souffrent de ce fait

11 – L'idée « alternative » consiste à déconcentrer les flux pluviaux (en quantité : débits ou volumes, mais aussi en pollution) en redonnant aux surfaces sur lesquelles se produit le ruissellement un rôle régulateur fondé sur la rétention et l'infiltration.

de nombreux a priori, notamment en ce qui concerne l'évolution de leur fonctionnement dans le temps, leur réalisation et leur entretien ;

- elles sont complexes dans le sens où elles peuvent prendre des formes diverses qui affectent de manière importante l'aménagement d'une zone ;
- elles sont *multifonctionnelles* ;
- et surtout : elles sont **fortement dépendantes de leur environnement** : celui-ci, qu'il soit physique, social ou institutionnel va influencer sur la vie entière de ces techniques, de leur conception à leur entretien et à leur gestion.

Le présent chapitre a pour objectif de fournir à l'aménageur une aide à la décision pertinente quant au choix de la technique à adopter. De plus, dans chaque fiche descriptive, une partie « adaptabilité au contexte réunionnais » indique les recommandations nécessaires pour adapter la technique aux spécificités réunionnaises (climat, réglementation,...).

5.1 Éléments de réflexion sur le choix des techniques alternatives

Si les éléments figurant dans les fiches descriptives fournissent, dans le détail, les avantages et inconvénients de chacune des techniques proposées, quelques éléments de réflexions doivent être systématiquement intégrés dans le choix du dispositif :

■ Intégrer la question du pluvial dès la conception du projet

→ Le choix du type de gestion du pluvial peut influencer considérablement le parti d'aménagement finalement retenu (intégration paysagère des noues, inondabilité volontaire de certaines parties du projet,...)

■ Évaluer les capacités du site dès l'état initial

→ L'analyse du site peut permettre d'orienter ou de restreindre les techniques alternatives, que ce soit en fonction d'éléments réglementaires (localisation du rejet) que physiques (capacité d'infiltration, surface disponible,...)

■ Optimiser les fonctions de certains espaces pour améliorer la gestion des eaux pluviales

Certains espaces peuvent se prêter à l'intégration de techniques alternatives à la gestion des eaux pluviales :

- Parking, place de centre ville, cour d'école – espace partiellement inondable ;
- Voirie, parking – chaussée drainante, pavés poreux ;
- Terrain de sport – bassin de stockage à sec, à ciel ouvert ;
- Espace vert – noue ;
- Allée de jardin – tranchée d'infiltration ;

La nature même de l'occupation du sol peut limiter l'imperméabilisation des sols, et du même coup, réduire la taille des ouvrages à mettre en place.

■ Définir les modalités d'entretien

→ Au-delà du choix de la technique alternative et de sa mise en œuvre, les coûts et modalités d'entretien peuvent être des critères de choix particulièrement discriminants.

Les annexes du présent document donnent des éléments de réponses en détaillant les différentes techniques alternatives.

■ Réutilisation des eaux de pluie.

L'arrêté du 21 août 2008 précise les conditions d'utilisation des eaux de pluie récupérées en aval de toitures inaccessibles, dans les bâtiments et leurs dépendances. Ces eaux peuvent être utilisées pour des usages domestiques extérieurs au bâtiment (par exemple arrosage des espaces verts) ainsi que certains usages domestiques intérieurs (lavage des sols, évacuation des excréments).

tion des boues et résidus stockés dans les ouvrages de prétraitement sont encore mal connus. La variabilité de ces coûts dépend de la nature des boues et des destinations possibles. Les coûts liés au fonctionnement écologique (entretien des espaces verts) peuvent se traduire par des dépenses en personnel non négligeables du fait du recours à des qualifications très diverses.

Les différentes sources utilisées pour indiquer ces coûts sont :

■ « *Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales* », Service technique de l'urbanisme, 1994 ;

■ *Statistiques INSEE*, 2010 ;

■ « *Vers une nouvelle politique de l'aménagement urbain par temps de pluie* », Agence de l'eau Artois-Picardie, 2004.

5.2 Fiches descriptives des solutions alternatives

Les coûts d'investissement et les coûts de fonctionnement sont donnés à titre indicatif. En effet, les données disponibles sont très peu nombreuses et nous ne pouvons donner que quelques exemples. Les coûts d'entretien sont généralement intégrés à d'autres dépenses de fonctionnement. Les coûts des bassins, par exemple, sont fonction de la fréquence de remplissage et du degré d'équipement (organes de commande, automatismes, régulation). Les coûts d'évacua-

ANNEXES



Bassin de rétention

Principe

Les bassins constituent une des solutions les plus utilisées actuellement pour maîtriser les eaux de ruissellement. Ils sont un recours pour remédier aux insuffisances des réseaux d'assainissement artificiels ou naturels et diminuer les volumes d'eau d'orage à traiter. De plus, ils peuvent avoir un effet bénéfique sur le paysage.

Ils nécessitent une concentration des eaux, par ruissellement ou par un écoulement réseau pour leur remplissage. Qu'ils soient secs ou en eau, ces bassins de retenue sont conçus pour stocker un volume d'eau en relation avec l'ampleur des orages de la région concernée.

Ces bassins peuvent être de trois types :

- **Bassins à ciel ouvert en eau** : se caractérisent par un niveau d'eau permanent, accueillant ou non une faune et une flore. Lors d'événements pluvieux, les eaux excédentaires sont stockées sur une hauteur de marnage prévue à cet effet ;

- **Bassins à ciel ouvert secs** : destinés à ne se remplir que lors des événements pluvieux ; par temps sec, ils peuvent avoir un autre usage (aire de loisir, stade, jardin,...) ;

- **Bassins enterrés**, couverts par une structure spécifique.

Notons que de nouveaux bassins utilisant des matériaux recyclables (pneus usagés) se développent en métropole et également à la Réunion.

Précisions techniques

Conception

Bassins secs : Les ouvrages secs n'exigent pas d'être étanchés et peuvent être laissés en herbe, d'autant que l'infiltration potentielle réduit le temps de vidange de l'ouvrage. Toutefois, cela peut occasionner des zones boueuses en fond de bassin, généralement inconciliables avec un usage public de l'espace. Il convient alors, soit de disposer un réseau de drainage, soit de revêtir l'ouvrage d'un ciment, de bitume ou de graves (voir bassin en eau). La capacité d'infiltration de ces ouvrages est proportionnelle aux surfaces végétalisées « offertes » à l'infiltration.

Avantages

- 😊 **Diminution du risque inondation** par réduction des volumes et flux ;
- 😊 **Dépollution** par décantation et phyto-épuration ;
- 😊 **Bonne intégration paysagère** dans l'aménagement d'un espace urbain ;
- 😊 **Double usage : rétention + autre** ;
- 😊 **Sensibilisation du public** aux volumes générés par temps de pluie : remplissage du bassin ou marnage ;
- 😊 **Entretien facile**, quasi-identique à celui des espaces verts ;
- 😊 **Coût** de mise en œuvre modéré par rapport à un ouvrage enterré.

Inconvénients

- 😞 **Emprise foncière** importante, d'autant plus en cas de stockage ;
- 😞 **Risque éventuel d'accident** en cas de profondeur importante ;
- 😞 **Risque de pollution du sous-sol** en cas de pollution accidentelle non confinée ;
- 😞 **Nuisance possible en cas de stagnation de l'eau**, cette contrainte est particulièrement importante à La Réunion compte tenu des risques de développement des gîtes larvaires moustiques ;
- 😞 **Nécessité d'une réflexion au début du projet**, permettant de traiter ces ouvrages sur le plan paysager et urbanistique.

Bassins en eau : Les principaux matériaux participant à la réalisation d'un ouvrage sont ceux liés à l'étanchéité de l'ouvrage, et par là-même à son revêtement. Plusieurs méthodes d'étanchement peuvent être employées : argile compactée, géomembrane, ciment, béton bitumineux. Il est conseillé, pour les bassins accessibles au public, de prévoir des pentes inférieures à une hauteur pour six largeurs (1/6).

Entretien préventif et curatif

Les bassins secs, en herbe, sont entretenus comme des espaces verts. A noter cependant qu'après un remplissage, la portance en fond de bassin peut être faible et nécessite donc d'attendre son assèchement partiel pour être accessible par les véhicules lourds.

Un entretien particulier sera nécessaire après la pluie pour enlever les matériaux de charriage.

Bassins en eau : Leur fonctionnement dépend autant de leur conception que de leur entretien. Les deux domaines sont liés puisque, dès la conception, doivent être prises en compte les contraintes inhérentes à l'entretien :

- des accès permettant aisément l'entretien et le curage des équipements, le ramassage des dépôts échoués sur les rives au vent, le débroussaillage des végétaux, etc..

- des équipements de constitution simple et robuste ;
- des protections contre le vandalisme sur les organes sensibles ;
- un ombrage conséquent destiné à ralentir le développement des végétaux et l'échauffement ;
- le colmatage systématique des flaques et autres petites cuvettes périphériques. Elles sont un lieu de concentration d'insectes ;
- un mobilier urbain adéquat (poubelle) ;
- des obstacles empêchant les détritiques d'atteindre l'ouvrage (grillages, haies arbustives) ;
- des mesures de communication visant à la sensibilisation de la population.

Coûts de fonctionnement

Maintenance des équipements de régulation (hors frais de personnel) : 1 €/m³ de stockage.

Entretien à raison d'un passage par semaine (ramassage des flottants, contrôle de la végétation, entretien des dégrilleurs et manœuvre des vannes) : 10 €/ ml de berge.

Suivi de la qualité de l'eau par analyse physico-chimiques (2 campagnes de mesures par an) : 2 500 €.

Estimation des coûts

DÉSIGNATION	UNITÉ	PRIX UNITAIRE (€)
Terrassements/déblais	m ³	55*
Remblais (pose + compactage)	m ³	35*
Déboisement	m ²	15*
Ouvrages de vidange (béton et tuyau PVC)	U	12 000*
Engazonnement	m ²	
Géotextile	m ²	2*

*Nota : le prix d'un bassin en eau est supérieur d'environ 30 % par rapport à un bassin sec de même surface. *Il s'agit de prix d'ordres qui ne prennent pas en compte les éventuelles configurations particulières : terrain rocheux, présence de nappe et de façon plus générale difficulté géotechnique, nécessité de démolition, découpe de chaussée...

Emplacement

L'emplacement de ces bassins dépend de leur type mais des principes généraux peuvent être appliqués à l'ensemble :

- Position dans un point bas pour assurer un fonctionnement gravitaire, plus facile à mettre en œuvre ;
- Ouvrages de traitement en tête et/ou en sortie de bassin : dégrillage, dessablage, déshuilage ;
- Accès aisé pour le personnel et les véhicules d'entretien ;



Bassin d'infiltration en ships de pneus – 2007 (BET CREATEUR)



Bassin de rétention/infiltration original et écologique utilisant des pneus de camions (Commune de BRON Métropole)

- Système de drainage permettant le resuyage total de l'ouvrage dans le cas d'un bassin sec ;

Il n'existe pas de contrainte particulière morphologique pour les bassins à ciel ouvert.

Une forme circulaire privilégie un linéaire minimum de berge et donc un coût minimum de terrassements.

Des mesures de sécurité devront être prises dans le cas des bassins accessibles aux usagers pour leur permettre une évacuation en sécurité.



Bassin de rétention/infiltration 910 m³ en caisson, sur le lycée Saint-Paul 4 en 2006 (1^{re} réalisation) BET exécution : C. REAT.E.UR



Installation de bassins « multifonctions » permettant le traitement intégral des eaux collectées sur la plate-forme routière de la route des Tamarins (Saint Leu) avec : régulation des débits de fuite, décantation et piégeage sédimentaire, confinement en cas de pollution accidentelle.

Adaptabilité au contexte réunionnais

L'île de la Réunion est soumise à un contexte particulier en terme de géographie et de météorologie. Ces particularités doivent être prises en compte pour la mise en place de techniques « compensatoires à l'effet de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des sols ».

Régime pluviométrique : les bassins de rétention peuvent déborder en cas de pluie intense. L'impact de ces débordements devra être pris en compte pour éviter une aggravation des risques inondations.

Pentes importantes : la mise en place de ces techniques devra être adaptée en cas de forte pente, par exemple par la mise en place de bassins semi-enterrés.

Nombreux déchets : les bassins de rétention demandent un entretien régulier. Vu la présence de nombreux dépôts sauvages de déchets à la Réunion, il est préconisé de réaliser des entretiens fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces déchets lors de la conception des ouvrages.

Rejets fréquents dans le milieu marin : les bassins de rétention situés sur le littoral et rejetant leurs eaux dans l'océan et plus particulièrement dans un milieu récifal doivent être impérativement couplés avec un bassin de décantation afin de diminuer l'impact de la pollution contenue dans les eaux à l'exutoire du bassin.

Présence de zones agricoles « mêlées » aux zones urbaines : ces zones peuvent avoir un impact sur les bassins de rétention notamment sur l'apport de matériaux (charriage ou suspension dans les eaux de ruissèlement). Il est également préconisé, dans ce cas, de réaliser des entretiens curatifs plus fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces matériaux lors de la conception des ouvrages.

Développement potentiel des gîtes larvaires de moustiques : l'entretien et le suivi des bassins de retenue des eaux pluviales doivent reposer sur une approche très pragmatique, susceptible d'évoluer, basée sur des observations fréquentes de leur état et de leur fonctionnement. En effet, certaines conditions de fonctionnement peuvent varier dans de fortes proportions et il n'est pas toujours possible d'indiquer des règles générales précises quant à la périodicité des interventions, ou aux quantités de résidus à éliminer par exemple. A la Réunion, le développement des gîtes larvaires de moustiques est favorisé par les conditions climatiques tropicales. L'ARS indique que le cycle de développement larvaire, entre la ponte et l'éclosion, dure entre 8 à 10 jours.

Par conséquent, l'entretien des ouvrages de stockage et de traitement à la Réunion devra être réalisé, a minima, tous les 10 jours, si ces ouvrages sont à une distance inférieure à 100 m d'habitations (distance parcourue pendant la vie d'un moustique *Aedes albopictus*, le vecteur du chikungunya à La Réunion).

Bassin de décantation

Principe

Les **bassins de décantation**, comme leur nom l'indique, ne sont destinés qu'à la dépollution des eaux. Cette fiche concerne uniquement des pollutions chroniques.

Les pollutions accidentelles sont traitées différemment (séparateur à hydrocarbures, déshuileur-débourbeurs). Ces bassins, généralement à sec, reçoivent les eaux de ruissellement jusqu'à leur remplissage ; l'excédent est dévié vers l'aval du bassin soit directement à l'exutoire soit à la sortie du bassin.

L'épuration des eaux se fait par décantation des particules les plus facilement décantables

($d > 100$ mm) qui entraîne l'immobilisation en profondeur, grâce à un temps de séjour suffisant, des polluants adsorbés à leur surface.

Les bassins ont un rôle épuratoire non négligeable, notamment vis-à-vis des MES, DCO et DBO₅. Aux matières en suspension (représentant 80 % des particules accumulées sur les chaussées) sont associés de l'ordre de 30 % de la DCO et 70 % des métaux lourds, la décantation des particules entraîne donc la décantation des éléments polluants.

La présence d'organismes vivants dans des bassins en eau, assimilés à des étangs, assure une épuration naturelle de l'eau améliorant ainsi l'effet épuratoire du bassin.

Les bassins de décantation sont généralement des bassins à sec afin d'accueillir les plus grands volumes d'eau possibles.

Avantages

- 😊 **Dépollution** par décantation ;
- 😊 **Rejet dans zones vulnérables possible** en limitant les impacts sur les milieux récepteurs ;
- 😊 **Bonne intégration paysagère** dans l'aménagement d'un espace urbain ;
- 😊 **Sensibilisation du public** à la pollution générés par les eaux pluviales et de la prise en compte des milieux vulnérables récepteurs ;

Inconvénients

- 😞 **Emprise foncière** importante ;
- 😞 **Risque éventuel d'accident** en cas de profondeur importante ;
- 😞 **Risque de pollution du sous-sol** en cas de pollution accidentelle non confinée ;
- 😞 **Nuisance possible en cas de stagnation de l'eau**, cette contrainte est particulièrement importante à la Réunion compte tenu des risques de développement des gîtes larvaires moustiques ;
- 😞 **Nécessité d'une réflexion au début du projet**, permettant de traiter ces ouvrages sur le plan paysager et urbanistique.

Précisions techniques

Conception et dimensionnement

La conception des bassins de décantation doivent faire l'objet de considérations particulières afin de garantir la sécurité des riverains et assurer un contrôle efficace des nuisances (odeurs, esthétique, débordements lors d'événements successifs...). Ainsi, certaines municipalités ont intégré leurs bassins à l'aménagement urbain et associé une seconde fonction par temps sec (aire de stationnement, aire de jeux, place piétonne...)

L'aménageur pourra retenir une vitesse de chute des particules de taille inférieure à 100 µm de 1 m/h. Cette vitesse est un bon compromis entre extension maximale de la surface pour maximiser la décantation, et limitation de la surface pour tenir compte des contraintes foncières et économiques.

Le 2^e critère de dimensionnement à prendre en compte est l'efficacité pour l'interception des MES des ouvrages de décantation en fonction du volume de stockage exprimé en m³/ha imperméabilisé. Là aussi, l'aménageur pourra retenir 100 m³/ha imperméabilisé (valeur couramment utilisée en France Métropolitaine).

Efficacité

L'épuration de l'eau dépend de l'efficacité de décantation qui varie selon :

- l'origine des eaux de ruissellement recueillies : les rendements de décantation seront d'autant meilleurs que les eaux seront chargées ;
- la présence ou non de dispositifs de pré-traitement en amont et leur type.

L'efficacité épuratoire des bassins de décantation est très variable d'un site à l'autre. Il apparaît néanmoins que les rendements mesurés

sont élevés voire très élevés vis-à-vis des différents paramètres indiqués dans le tableau ci-dessous.

Entretien préventif et curatif

Les bassins de décantation doivent être entretenus afin de maintenir la pérennité de leur fonction. C'est une condition très importante de leur efficacité ainsi que de leur acceptation par le public. L'entretien doit être prévu dès la conception de l'ouvrage (des précautions sont à prendre pour éviter la reprise des boues pendant la vidange du bassin et permettre leur récupération et une évacuation aisée), adapté au type de bassin et surtout il doit être régulier.

L'entretien comprend :

- l'enlèvement des flottants (bouteilles, papiers, etc.) ;
- le nettoyage des berges ;
- la vérification de la stabilité des berges ou de leur étanchéité ;
- éventuellement une lutte contre les rongeurs ;
- le curage de la fosse de décantation (sur-profondeur près de l'exutoire) ;
- l'entretien de la végétation (surtout pour bassins à sec) ;
- le nettoyage des grilles ;
- la vérification du régulateur de débit (au moins 4 fois/an) et des vannes s'il y a lieu (au moins 2 fois/an).

Lorsque les bassins sont munis en amont d'un régulateur de débit, de modules de déshuilage et dessablage, ils nécessitent peu d'entretien. Un suivi écologique est nécessaire lorsque le bassin est peuplé d'organismes vivants (faune et flore).

PARAMÈTRES	MES	DCO	DB05	NTK	Hydrocarbures	Pb
Réduction de la pollution (%)	80 à 90	60 à 90	75 à 90	40 à 70	35 à 90	60 à 80

Réduction de la pollution par décantation dans un bassin. (BACHOC, CHEBBO, 1992)

Estimation des coûts

DÉSIGNATION	UNITÉ	PRIX UNITAIRE (€)
Terrassements/déblais	m ³	55*
Remblais (pose + compactage)	m ³	35*
Déboisement	m ²	15*
Ouvrages de vidange (béton et tuyau PVC)	U	12 000*
Géotextile	m ²	2*

*Nota : Il s'agit de prix d'ordres qui ne prennent pas en compte les éventuelles configurations particulières : terrain rocheux, présence de nappe et de façon plus générale difficulté géotechnique, nécessité de démolition, découpe de chaussée...

Coûts de fonctionnement

Maintenance des équipements de régulation (hors frais de personnel : 1 €/m³ de stockage).

Entretien à raison d'un passage par semaine (ramassage des flottants, contrôle de la végétation, entretien des dégrilleurs et manœuvre des vannes : 10 €/ ml de berge).

Suivi de la qualité de l'eau par analyse physico-chimiques (2 campagnes de mesures par an) : 2 500 €.

Emplacement

L'emplacement et l'implantation des bassins de décantation dépendent de la sensibilité du milieu récepteur. L'aménageur se renseignera si le rejet des eaux pluviales se situe dans une zone dite « vulnérable ». Ces zones ont été définies dans le guide de gestion des eaux pluviales de la Réunion (cf. chapitre 2.5). Dans le cas d'un rejet dans un milieu récifal, la mise en place d'un bassin de décantation doit être intégrée par l'aménageur.

Quelques principes généraux, comme pour les bassins de rétention peuvent être appliqués pour déterminer l'emplacement des bassins de décantation :

- Position dans un point bas pour assurer un fonctionnement gravitaire, plus facile à mettre en œuvre ;

- Ouvrages de traitement en tête et/ou en sortie de bassin : dégrillage, dessablage, déshuilage ;
- Accès aisé pour le personnel et les véhicules d'entretien ;
- Système de drainage permettant le resuyage total de l'ouvrage dans le cas d'un bassin sec ;

Il n'existe pas de contrainte particulière morphologique pour les bassins à ciel ouvert. Une forme circulaire privilégie un linéaire minimum de berge et donc un coût minimum de terrassements. Des mesures de sécurité devront être prises dans le cas des bassins accessibles aux usagers pour leur permettre une évacuation en sécurité. A noter qu'un bassin « allongé » est plus favorable à l'efficacité de la décantation.



Bassin de décantation permettant de recueillir les eaux de pluie - plate-forme de compostage à Bis-chwiller.

Adaptabilité au contexte réunionnais

L'île de la Réunion est soumise à un contexte particulier en terme de géographie et de météorologie. Ces particularités doivent être prises en compte pour la mise en place de techniques « compensatoires à l'effet de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des sols ».

Régime pluviométrique : les bassins de décantation peuvent déborder en cas de pluie intense. L'impact de ces débordements devra être pris en compte pour éviter une aggravation des risques inondations.

Pentes importantes : la mise en place de ces techniques devra être adaptée en cas de forte pente, par exemple par la mise en place de bassins semi-enterrés.

Nombreux déchets : les bassins de décantation demandent un entretien régulier. Vu la présence de nombreux dépôts sauvages de déchets à la Réunion, il est préconisé de réaliser des entretiens fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces déchets lors de la conception des ouvrages.

Rejets fréquents dans le milieu marin : les bassins de décantation situés sur le littoral et rejetant leurs eaux dans l'océan et plus particulièrement dans un milieu récifal doivent être impérativement couplés avec un bassin de décantation afin de diminuer l'impact de la pollution contenue dans les eaux à l'exutoire du bassin.

Présence de zones agricoles « mêlées » aux zones urbaines : ces zones peuvent avoir un impact sur les bassins de décantation notamment sur l'apport de matériaux (charriage ou suspension dans les eaux de ruissellement). Il est également préconisé, dans ce cas, de réaliser des entretiens curatifs plus fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces matériaux lors de la conception des ouvrages.

Développement potentiel des gîtes larvaires de moustiques : l'entretien et le suivi des bassins de décantation des eaux pluviales doivent reposer sur une approche très pragmatique, susceptible d'évoluer, basée sur des observations fréquentes de leur état et de leur fonctionnement. En effet, certaines conditions de fonctionnement peuvent varier dans de fortes proportions et il n'est pas toujours possible d'indiquer des règles générales précises quant à la périodicité des interventions, ou aux quantités de résidus à éliminer par exemple. A la Réunion, le développement des gîtes larvaires de moustiques est favorisé par les conditions climatiques tropicales. L'ARS indique que le cycle de développement larvaire, entre la ponte et l'éclosion, dure entre 8 à 10 jours.

Par conséquent, l'entretien des ouvrages de stockage et de traitement à la Réunion devra être réalisé, a minima, tous les 10 jours, si ces ouvrages sont à une distance inférieure à 100 m d'habitations (distance parcourue pendant la vie d'un moustique *Aedes albopictus*, le vecteur du chikungunya à La Réunion).

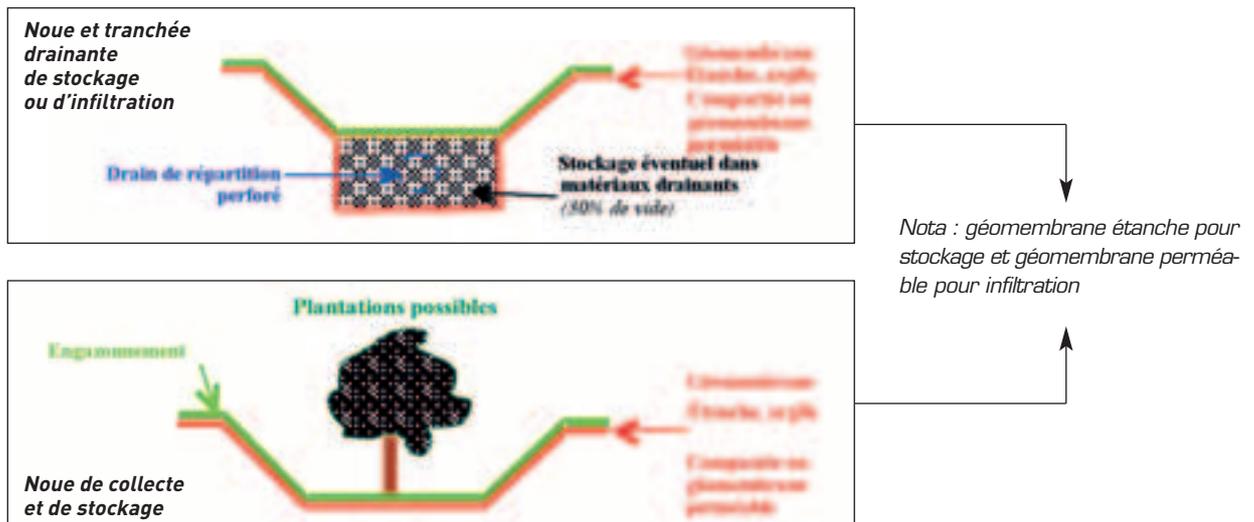
Les noues et les fosses filtrants et drainants

Principe

Le principe des noues est, en partie, similaire à celui d'un bassin de rétention. Il consiste à stocker temporairement les eaux de ruissellement afin d'en limiter le débit à l'exutoire. Cependant, plutôt que de concentrer les eaux dans un espace donné, le stockage est réparti

le long du réseau composé de fossés à ciel ouvert. L'intérêt est :

- Réduire le besoin de canalisations
- Limiter la quantité rejetée en réseau, grâce à l'infiltration et l'évaporation des eaux stockées ;
- Ralentir les écoulements par une collecte au plus proche de la source ;
- Dépolluer les eaux de ruissellement par action mécanique (végétation + décantation).



Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> 😊 Ralentissement des écoulements par rapport à un collecteur classique ; 😊 Diminution du risque inondation par réduction des volumes et flux ; 😊 Dépollution par décantation (vitesses faibles dans la noue) et par l'action mécanique de la végétation ; 😊 Bonne intégration paysagère dans l'aménagement d'un espace urbain ; 😊 Sensibilisation du public à la gestion de l'eau → celle-ci est visible immédiatement ; 😊 Entretien facile, quasi-identique à celui des espaces verts ; 😊 Côté de mise en œuvre réduit. <p>SI L'INFILTRATION EST L'EXUTOIRE</p> <ul style="list-style-type: none"> 😊 Ré-alimentation de la nappe phréatique ; 😊 Suppression d'apports aux réseaux superficiels existants donc délestage. 	<ul style="list-style-type: none"> 😞 Emprise foncière importante, d'autant plus en cas de stockage ; 😞 Risque éventuel d'accident en cas de profondeur importante ; <p>SI L'INFILTRATION EST L'EXUTOIRE</p> <ul style="list-style-type: none"> 😞 Risque de pollution de la nappe et des sous-sols ; 😞 Risque de colmatage et donc de perte de la capacité d'infiltration.

Précisions techniques

Méthode de dimensionnement

Les noues se conçoivent comme des fossés largement évasés. A noter que plus la granulométrie du terrain est élevée, plus le fossé doit être évasé pour limiter les risques d'effondrement des talus. Il est d'usage que la largeur soit entre 5 et 10 fois supérieure à la profondeur.

Comme pour tout autre ouvrage, il est préférable de prévoir une cunette bétonnée destinée à canaliser les petits débits pour éviter qu'ils dispersent des dépôts sur les talus. L'alimentation s'effectue soit directement par ruissellement naturel vers la noue, soit par des avaloirs connectés à la noue.

Critère à prendre en compte pour le fonctionnement des noues et des fossés filtrants et drainants

Pour rendre la noue ou le fossé étanche :

- Géomembrane ;
- Couche d'argile compactée.

Cunette en fond d'axe d'écoulement...

En béton, plus ou moins profonde, avec ou sans ralentisseurs de type pierres maçonnées :

- Évite la stagnation d'eau en cas de petits débits ;
- Facilite le ressuyage et le nettoyage ;

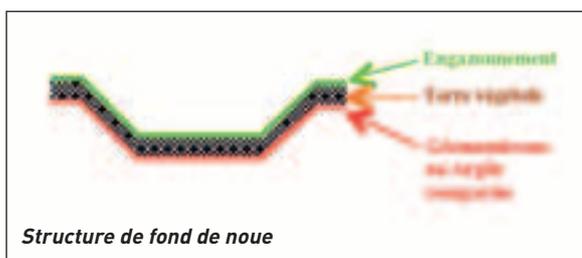
Pour ralentir les écoulements :

En fonction de la pente du terrain, maximum 10 %, des cloisonnements transversaux (bar-

rages ou rondins) doivent être disposés de façon à augmenter la capacité de stockage sans avoir à trop creuser la partie aval des ouvrages. Des enrochements peuvent également être utilisés pour briser les vitesses.

Entretien préventif et curatif

- Entretien du gazon : tonte, arrosage ;
- Ramassage des feuilles et débris ;
- Curage des orifices ;
- En cas de colmatage du fond filtrant, il est nécessaire de remplacer la couche de terre végétale colmatée.



Estimation des coûts

Le coût de réalisation de l'ouvrage peut être estimé à 45 €/ml*, cependant il varie selon l'aménagement paysager de l'ouvrage. L'entretien de l'ouvrage représente un coût à peine supérieur à celui d'un espace vert classique. Quelques précisions sur le coût d'une noue sont données dans le tableau ci-dessous.

Coûts de fonctionnement

Entretien à raison d'un passage par semaine (ramassage des flottants, contrôle de la végétation, entretien des dégrilleurs : 10 €/ ml de berge.

NOUES	UNITÉ	PRIX UNITAIRE (€)
Déblais	m ³	50 à 70*
Remblais (pose + compactage)	m ³	30 à 35*
Géotextile	m ²	2 à 8*

*Il s'agit de prix d'ordres qui ne prennent pas en compte les éventuelles configurations particulières : terrain rocheux, présence de nappe et de façon plus générale difficulté géotechnique, nécessité de démolition, découpe de chaussée...

Emplacement

Les noues présentent un caractère esthétique et paysager leur permettant une intégration facile dans les espaces verts, les bordures de parcelle

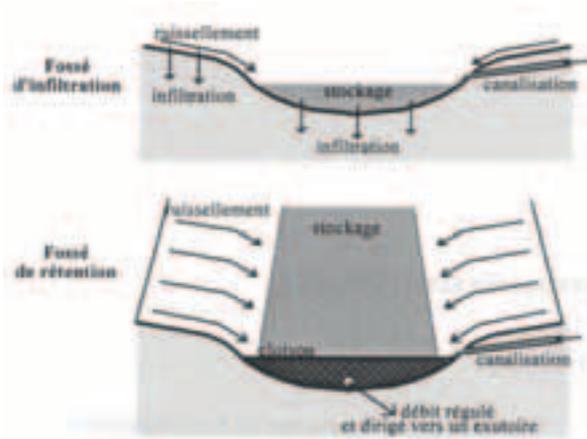
en zone industrielle ou lotissements, les contres allées ou terre-pleins centraux des boulevards urbains, les délaissés des voiries, des terrains de sports, les bordures de parcelle en zone commerciale (autour de grands parkings), etc.



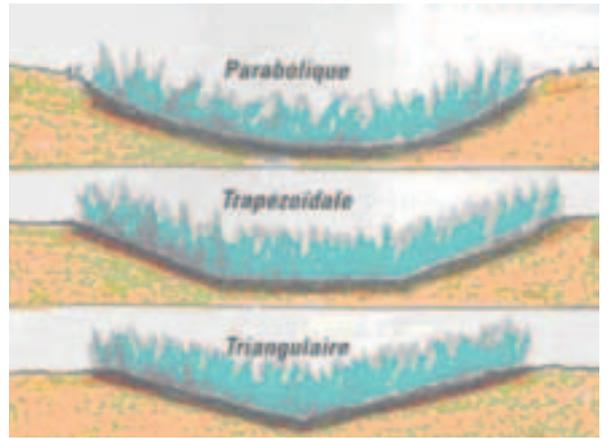
Noue de récupération et stockage d'eaux de ruissellement, ZAC de la Correspondance. (Ville de Rovaltain), Safege 2001



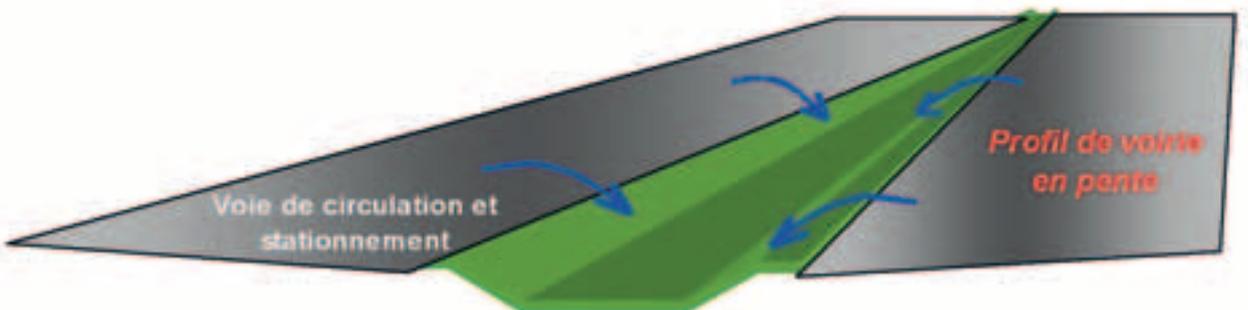
Rnoue d'infiltration, rejet pluvial « pôle de centralité » Bras-panon 2007



D'après « Techniques alternatives en assainissement pluvial » – INSA Lyon



D'après le Guide des aménagements du champ au bassin versant - AREHN



Noue de terre plein central : collecte, stockage et acheminement

Adaptabilité au contexte réunionnais

L'île de la Réunion est soumise à un contexte particulier en terme de géographie et de météorologie. Ces particularités doivent être prises en compte pour la mise en place de techniques « compensatoires à l'effet de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des sols ».

Régime pluviométrique : les noues et les fossés filtrants et drainants peuvent déborder en cas de pluie intense. L'impact de ces débordements devront être pris en compte pour éviter une aggravation des risques inondations. Ces techniques pourront être mises en place de préférence en amont des bassins versants urbains, où les débits de ruissellement sont encore limités du fait de la petite taille des bassins versants drainés.

Pentes importantes : la mise en place de ces techniques devra être adaptée en cas de forte pente, par exemple par la mise en place de seuils transversaux permettant de délimiter une succession de biefs à pente limitée et de chutes.

Nombreux déchets : les noues et les fossés filtrants et drainants demandent un entretien régulier. Vu la présence de nombreux dépôts sauvages de déchets à la Réunion, il est préconisé de réaliser des entretiens fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces déchets lors de la conception des ouvrages.

Rejets fréquents dans le milieu marin : sans objet.

Présence de zones agricoles « mêlées » aux zones urbaines : ces zones peuvent avoir un impact sur les noues et les fossés filtrants et drainants notamment sur l'apport de matériaux (charriage ou suspension dans les eaux de ruissellement). Il est également préconisé, dans ce cas, de réaliser des entretiens curatifs plus fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces matériaux lors de la conception des ouvrages.

Développement potentiel des gîtes larvaires de moustiques : l'entretien et le suivi des bassins de retenue des eaux pluviales doivent reposer sur une approche très pragmatique, susceptible d'évoluer, basée sur des observations fréquentes de leur état et de leur fonctionnement. En effet, certaines conditions de fonctionnement peuvent varier dans de fortes proportions et il n'est pas toujours possible d'indiquer des règles générales précises quant à la périodicité des interventions, ou aux quantités de résidus à éliminer par exemple. A la Réunion, le développement des gîtes larvaires de moustiques est favorisé par les conditions climatiques tropicales. L'ARS indique que le cycle de développement larvaire, entre la ponte et l'éclosion, dure entre 8 à 10 jours.

Par conséquent, l'entretien des ouvrages de stockage et de traitement à la Réunion devra être réalisé, a minima, tous les 10 jours, si ces ouvrages sont à une distance inférieure à 100 m d'habitations (distance parcourue pendant la vie d'un moustique *Aedes albopictus*, le vecteur du chikungunya à La Réunion).

Les chaussées perméables et à structure réservoir

Principe

Les chaussées à structure réservoir ont pour objectif d'écarter les débits de pointe de ruissellement en stockant temporairement la pluie dans le corps de la chaussée.

C'est l'accroissement constant des surfaces imperméabilisées, lié en partie aux voies de circulation et aux parkings, qui a conduit à l'utilisation de ces mêmes structures pour stocker temporairement les eaux de pluie.

Avantages	Inconvénients
<p>TOUS USAGES CONFONDUS</p> <ul style="list-style-type: none"> 😊 Écrêtement des débits et diminution du risque d'inondation (limitation des réseaux d'assainissement en aval des chaussées à structure réservoir ou au niveau de la chaussée) ; 😊 Pas d'emprise foncière supplémentaire ; 😊 Filtration des polluants ; 😊 Pas de surcoût notable. 	<ul style="list-style-type: none"> ☹️ Structure tributaire de l'encombrement du sous-sol ; ☹️ Phénomène de colmatage et entretien régulier spécifique.
<p>CONCERNANT LA VOIRIE</p> <ul style="list-style-type: none"> 😊 Amortissement des bruits de roulement (pour les vitesses > 50 km/h) ; 😊 Meilleure adhérence ; 😊 Réduction du risque d'aquaplaning et des projections d'eau ; 😊 Meilleure visibilité des marquages horizontaux. 😊 Confort de conduite par temps de pluie 😊 Les revêtements drainants piègent les polluants par décantation. 	<ul style="list-style-type: none"> ☹️ Colmatage plus prononcé pour les files peu « circulées » ; ☹️ Ne peut être utilisée dans les zones giratoires.

Estimations des coûts

DÉSIGNATION	UNITÉ	PRIX U. (€) revêtement non poreux	PRIX U. (€) revêtement poreux
Chaussée réservoir comprenant déblais, finition de forme, géotextile, grave non traitée sur 40 cm, grave bitume sur 15 cm, béton bitumeux sur 6 cm	Mètre linéaire de voirie	290*	305 à 450*
Étanchéité par géomembrane en PVC ou en PEHD	m ²	15*	15*
Ajutage et cloisonnement	Unité	610*	610*

*Nota : les chaussées réservoirs restent une solution classique avec une chaussée traditionnelle, canalisations et bassin de rétention. Par contre, lorsque d'autres techniques comme les noues et fossés peuvent être mises en place, sans incidence sur le prix majeur du foncier, les chaussées à structures réservoirs s'avèrent plus coûteuses. *Il s'agit de prix d'ordres qui ne prennent pas en compte les éventuelles configurations particulières : terrain rocheux, présence de nappe et de façon plus générale difficulté géotechnique, nécessité de démolition, découpe de chaussée,...

Fonctionnement

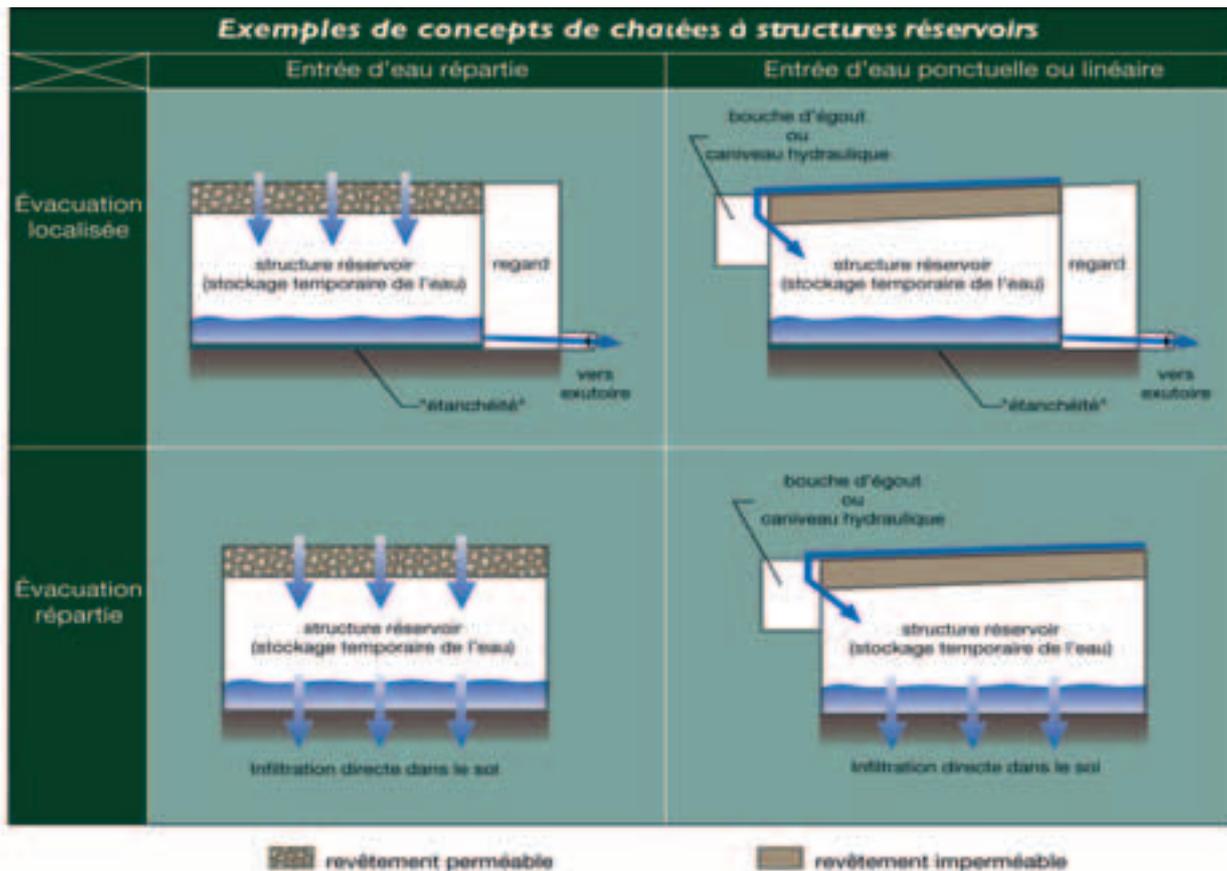
- **L'injection immédiate de l'eau de pluie dans le corps de la chaussée :** L'entrée de l'eau dans le corps de la chaussée est fonction de la perméabilité de l'enrobé en surface. Lorsque la surface est perméable, on parle alors d'injection répartie (sous-entendu sur l'ensemble de la chaussée). Dans le cas où la couche de surface est imperméable, l'injection est dite localisée et fait appel à des avaloirs ou des caniveaux qui sont raccordés à des drains.
- **Le stockage temporaire de l'eau :** Il se fait à l'intérieur du corps de la chaussée.
- **L'évacuation lente de l'eau :** L'évacuation de l'eau stockée peut également s'opérer selon les deux modalités évoquées pour l'injection. Si l'évacuation peut se faire sur place dans un sol support perméable, on parle d'infiltration ou d'évacuation répartie. Si l'infiltration est impossible, l'eau stockée est restituée vers un réseau d'assainissement à l'aide de drains. Il y a drainage, ou évacuation localisée.

Une évacuation combinée peut aussi être envisagée.

Quelles que soient les caractéristiques des chaussées à structure réservoir, elles présentent toutes la même succession de couches :

- **Une couche de surface**, qui doit pouvoir résister aux sollicitations produites par le trafic et permettre, le cas échéant, le passage de l'eau de pluie.
- **Une couche de base**, qui transmet les différentes forces qui s'exercent de la couche de surface au sol support, et stocke les eaux pluviales, plus ou moins provisoirement.
- **Une couche de fondation**, qui améliore la qualité du sol support en contrôlant les échanges éventuels.
- **Le sol support.**

Entre chaque couche, les interfaces doivent être étudiées avec attention. On pourra y ajouter divers matériaux en fonction des rôles qu'on leur attribuera (géotextile, géomembrane).



Précisions techniques

Les matériaux de stockage

On peut distinguer **deux catégories de matériaux naturels** suivant leur traitement : les matériaux non liés et les matériaux traités avec un liant spécifique.

Les matériaux non liés (granulats concassés, propres et durs) présentent une porosité utile entre 30 et 45 %.

Les matériaux traités avec un liant se caractérisent par une porosité utile plus faible (entre 15 et 30 %) mais une meilleure résistance aux contraintes mécaniques. Ils sont le plus souvent préconisés pour des chaussées à enrobé drainant ou au trafic élevé. Lorsque le liant est bitumeux, on parle de graves, lorsque le liant est hydraulique, on parle alors de béton poreux.

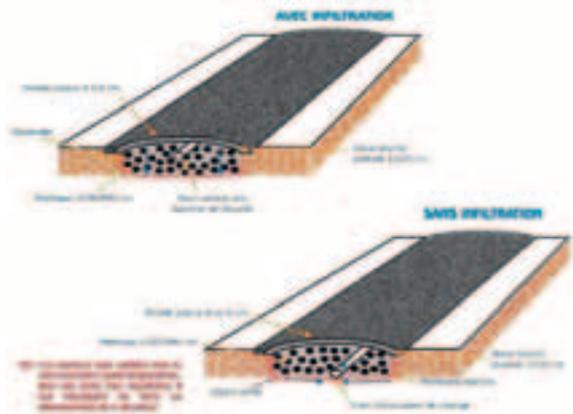
La pollution : intérêt des enrobés drainants

Les enrobés drainants retiennent une quantité de polluants qui est souvent non négligeable (plomb, cadmium).

Les polluants sont stockés dans les premiers centimètres de l'enrobé à l'intérieur des pores de la structure.

Ce mécanisme de filtration des matières en suspension (qui concentrent une part essentielle de la pollution des eaux de ruissellement) offre à ce type de chaussée un pouvoir épurateur certain.

Néanmoins, ce piégeage de la pollution reste associé au phénomène de colmatage, dont la maîtrise est fondamentale.



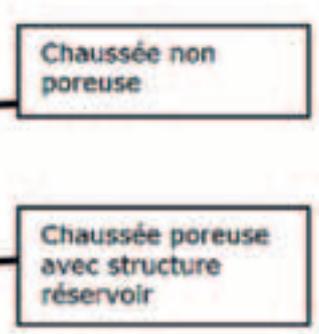
Schémas type de la structure de la chaussée à structure réservoir (Fiches ADOPTA)



Exemple de chaussée drainantes (métropole)



Chaussée à tructure réservoir, Craponne (CERTU - 1994)



Précautions d'usage des enrobés drainants

Le stockage ou renversement de terre est fortement déconseillé sur les enrobés drainants (renversement de bennes, dépôt de matériaux pour chantiers, apports de torrents de boues) car ils représentent un risque fort de colmatage.

Précautions de mise en œuvre

Leur réalisation requiert sur certains aspects une attention particulière : contrôle de la granulométrie de l'enrobé, contrôle de la qualité des matériaux de stockage (résistance mécanique, pourcentage de vide), pose des drains, diamètre des drains.

Entretien

- Le colmatage de l'enrobé doit être traité de manière préventive et curative.
- Le simple balayage classique peut provoquer l'enfouissement des détritiques au sein de l'enrobé ; il doit être proscrit. L'entretien préventif le plus souvent utilisé est le mouillage aspiration (matériel ordinaire)
- L'entretien curatif intervient lorsque le préventif n'est plus suffisant face au colmatage de la chaussée. On recourt à un procédé de haute pression/aspiration.
- Cependant, rappelons que les enrobés poreux, lors de leur pose, ont une perméabilité égale à 100 fois les besoins d'infiltration de la pluie.

Adaptabilité au contexte réunionnais

L'île de la Réunion est soumise à un contexte particulier en terme de géographie et de météorologie. Ces particularités doivent être prises en compte pour la mise en place de techniques « compensatoires à l'effet de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des sols ».

Régime pluviométrique : les chaussées perméables et à structure réservoirs peuvent saturer en cas de pluie intense. L'impact de ces débordements devront être pris en compte pour éviter une aggravation des risques inondations. Ces techniques pourront être mises en place de préférence en amont des bassins versants urbains, où les débits de ruissellement sont encore limités du fait de la petite taille des bassins versants drainés.

Pentes importantes : la mise en place de ces techniques devra être adaptée en cas de forte pente, par exemple par la mise en place de seuils transversaux permettant de délimiter une succession de biefs à pente limitée et de chutes.

Nombreux déchets : les chaussées perméables et à structure réservoirs sont très sensibles au colmatage. Vu la présence de nombreux dépôts sauvages de déchets à la Réunion, il est préconisé de réaliser des entretiens fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces déchets lors de la conception des ouvrages. Ce facteur très pénalisant nous amène à déconseiller ce genre de technique à la Réunion.

Rejets fréquents dans le milieu marin : sans objet.

Présence de zones agricoles « mêlées » aux zones urbaines : ces zones peuvent avoir un impact sur les chaussées perméables et à structure réservoirs notamment sur l'apport de matériaux (charriage ou suspension dans les eaux de ruissellement). Il est également préconisé, dans ce cas, de réaliser des entretiens curatifs plus fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces matériaux lors de la conception des ouvrages. Ce facteur très pénalisant nous amène à déconseiller ce genre de technique à la Réunion.

Développement potentiel des gîtes larvaires de moustiques : sans objet.

Cette technique peut donc être difficilement adaptable à la Réunion en raison d'un fort risque de colmatage (eaux de ruissellement chargées en matière en suspension).

Les tranchées drainantes

Principe

Les tranchées drainantes sont des ouvrages linéaires remplis de matériaux poreux permettant de stocker temporairement les eaux pluviales.

Précision techniques Conception

Alimentation

L'alimentation peut s'effectuer **par infiltration des eaux de ruissellement** à travers le revêtement poreux (gravier, terre végétale engazonnée, etc.). Sur les petites voies, places, trottoirs, peuvent être utilisés des **matériaux poreux non jointifs**.

Ces matériaux offrent, d'une part des **capacités de perméabilité élevées**, d'autre part, elles permettent de **ralentir de façon considérable le ruissellement** des eaux. Leur emploi est à encourager dans de nombreux cas, même lorsqu'ils ne couvrent aucun ouvrage.

L'alimentation **par avaloir** s'effectue de la même façon que pour l'alimentation d'un réseau, c'est à dire par des drains diffuseurs issus d'un regard placé à l'amont. Pour des raisons liées à l'entretien, il est préférable de les rendre facilement accessibles et mettre en place un dispositif de pré-traitement des effluents (bac de décantation avec dégrillage dans l'avaloir, et si nécessaire, séparateur à hydrocarbure - particulièrement recommandé pour les tranchées d'infiltration - entre l'avaloir et la tranchée).

Cependant, quel que soit le dispositif, étant donnée l'impossibilité de curer ces tranchées, les enrobés drainants sont préférables aux avaloirs.

Stockage

Le stockage s'effectue dans les interstices des matériaux poreux. Ces derniers peuvent être de différents types. Ils doivent être choisis en fonction des contraintes mécaniques horizontales ou verticales qu'ils auront à subir, c'est à dire de l'aménagement en surface.

Il est recommandé de disposer un géotextile sur les parois de l'ouvrage afin de faire obstacle aux matériaux fins susceptibles de pénétrer dans la tranchée et de la colmater.

Avantages

- 😊 Faible emprise au sol ;
- 😊 Réduction des apports en eaux de ruissellement ;
- 😊 Réduction de l'inondabilité au droit de l'ouvrage ;
- 😊 Suppression des apports d'eaux « propres » aux réseaux pluviales ;
- 😊 Bonne intégration paysagère ;
- 😊 Pas d'entretien.

Inconvénients

- 😞 Risque d'instabilité des terrains en présence d'eau dans le sol étude de sol préconisée ;
- 😞 Risque de pollution en fonction de la provenance des eaux de ruissellement ;
- 😞 Risque de colmatage si les eaux de pluies y parviennent trop chargées en matières en suspension.

Évacuation

La vidange de la tranchée à débit régulé peut s'effectuer selon deux modes :

- par des drains placés au fond, conduisant vers le réseau public. L'ouvrage s'appelle alors une **tranchée drainante** ;
- soit par infiltration des eaux dans le sol (dont le coefficient de perméabilité est supérieur à 10⁻⁴ m/s). L'ouvrage s'appelle alors une **tranchée d'infiltration**. Cette solution devra toutefois être validée par l'avis d'un géotechnicien pour s'assurer de la bonne tenue des sols.

Le débit de vidange est :

- pour les tranchées d'infiltration, en fonction des capacités d'absorption des parois ;
- pour les tranchées drainantes, en fonction du diamètre de l'exutoire.

Entretien

L'entretien consiste principalement à maintenir en état les dispositifs d'alimentation.

- alimentation à travers le revêtement poreux : nettoyage ou remplacement des matériaux colmatés, tonte du gazon, lutte contre la prolifération des plantes parasites ;
- alimentation par drain issu de regards : nettoyage des regards.
- les arbres et plantations à racines profondes sont à proscrire à proximité de l'ouvrage car susceptibles de le perforer.

Estimation des coûts

Il est estimé que l'implantation d'une tranchée revient environ à 150 €/m³ ou 60 €HT par ml pour un profil de 1 m²/ml

Le paysagement, constitué ou non de matériaux poreux peut varier de 5 à 25 €/m².

Le coût d'entretien est d'environ 3 €/m²/an.

Nota : Il s'agit de prix d'ordres qui ne prennent pas en compte les éventuelles configurations particulières : terrain rocheux, présence de nappe et de façon plus générale difficulté géotechnique, nécessité de démolition, découpe de chaussée...

Adaptabilité au contexte réunionnais

L'île de la Réunion est soumise à un contexte particulier en terme de géographie et de météorologie. Ces particularités doivent être prises en compte pour la mise en place de techniques « compensatoires à l'effet de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des sols ».

Régime pluviométrique : les tranchées drainantes peuvent déborder en cas de pluie intense. L'impact de ces débordements devront être pris en compte pour éviter une aggravation des risques inondations. Ces techniques pourront être mises en place de préférence en amont des bassins versants urbains, où les débits de ruissellement sont encore limités du fait de la petite taille des bassins versants drainés.

Pentes importantes : la mise en place de ces techniques devra être adaptée en cas de forte pente, par exemple par la mise en place de seuils transversaux permettant de délimiter une succession de biefs à pente limitée et de chutes.

Nombreux déchets : les tranchées drainantes demandent un entretien régulier. Vu la présence de nombreux dépôts sauvages de déchets à la Réunion, il est préconisé de réaliser des entretiens fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces déchets lors de la conception des ouvrages.

Rejets fréquents dans le milieu marin : sans objet.

Présence de zones agricoles « mêlées » aux zones urbaines : ces zones peuvent avoir un impact sur les noues et les fossés filtrants et drainants notamment sur l'apport de matériaux (charriage ou suspension dans les eaux de ruissèlement). Il est également préconisé, dans ce cas, de réaliser des entretiens curatifs plus fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces matériaux lors de la conception des ouvrages.

Développement potentiel des gîtes larvaires de moustiques : l'entretien et le suivi

des tranchées drainantes doivent reposer sur une approche très pragmatique, susceptible d'évoluer, basée sur des observations fréquentes de leur état et de leur fonctionnement.

En effet, certaines conditions de fonctionnement peuvent varier dans de fortes proportions et il n'est pas toujours possible d'indiquer des règles générales précises quant à la périodicité des interventions, ou aux quantités de résidus à éliminer par exemple.

A la Réunion, le développement des gîtes larvaires de moustiques est favorisé par les conditions climatiques tropicales. L'ARS indique que le cycle de développement larvaire, entre la ponte et l'éclosion, dure entre 8 à 10 jours.

Par conséquent, l'entretien des ouvrages de stockage et de traitement à la Réunion devra être réalisé, a minima, tous les 10 jours, si ces ouvrages sont à une distance inférieure à 100 m d'habitations (distance parcourue pendant la vie d'un moustique *Aedes albopictus*, le vecteur du chikungunya à La Réunion).

Les espaces publics Inondables

Principe

Une zone inondable est comparable en de multiples points à un bassin de rétention multifonctions à ciel ouvert. C'est un espace aménagé destiné à remplir une ou plusieurs fonctions déterminées et qui, lors événements pluvieux importants, stockent temporairement des eaux de ruissellements.

La zone inondable diffère cependant du bassin par son principe même : elle vise d'abord à **canaliser un débordement** plutôt que de prévenir une inondation ; elle permet de contenir cette dernière afin de réduire ou même d'annuler les dégâts potentiels. Il en résulte dans les faits que :

- la priorité d'aménagement n'est plus donnée à la rétention mais à la fonction urbaine du site (stationnement, rue, etc.). C'est à dire que le stationnement ne sera pas dimensionné en fonction d'un volume de stockage d'EP requis, mais du nombre de voitures à garer.
- elle accompagnera très généralement un ouvrage de rétention plus classique destiné à contenir les précipitations des pluies plus fréquentes, ouvrage pour lequel elle ne sert que de complément exceptionnel.

Precisions Techniques

Contraintes techniques

- La zone inondable doit, de préférence, s'accompagner d'un ouvrage de rétention plus classique se chargeant de dépolluer et stocker les eaux des petites pluies afin de limiter l'usage et la pollution de la zone submersible.
- Le seuil maximum de rétention varie, selon les usages et caractères de la zone, entre 5 et 20 cm. Il est possible de stocker

des lames d'eau plus importantes, cela nécessite alors d'une part, que l'eau de ruissellement soit propre et, d'autre part, que le débit de vidange soit élevé afin d'éviter une pollution et une occupation du site trop fréquente. L'alimentation de la zone s'effectue généralement par surverse ou mise en charge de l'ouvrage de rétention principal. Il est préférable de concevoir le système de façon à ce que l'eau de la zone s'évacue gravitairement au fur et à mesure de la décharge progressive du bassin.

- Les constructions en limite de zone inondable doivent absolument faire l'objet d'un étanchement soigné sur 25 à 30 cm, afin de se préserver des infiltrations qui, à long terme, peuvent créer des dégâts soit aux murs, soit aux fondations.
- L'ensemble des ouvertures des bâtiments, portes, grilles d'aération, doivent être surélevés.
- Il est tout à fait possible de planter des arbres adaptés en zone inondable.

Contraintes morphologiques

- L'immersion de la zone peut être gérée de façon à ce qu'elle se produise par palier. Il suffit de surélever graduellement, par seuil de 1, 2 ou 3 cm, certaines parties de la zone. Cela permet, d'une part, de réduire la surface à nettoyer lors des petites pluies, d'autre part, de rendre moins contraignante aux usagers la fonction de rétention.
- Dans ce même esprit, des cheminements piéton surélevés peuvent permettre un usage quasi normal de la zone durant ou à la suite d'un événement.
- Les pentes de la zone doivent converger vers un ou des canaux centraux destinés à concentrer les dépôts.

Entretien

Les aspects de l'entretien portent sur le degré de pollution potentiel des eaux de ruissellement. Leur qualité dépend du type de bassin versant et des organes de dépollution installés en amont, ainsi que du temps de vidange de l'ouvrage (plus l'eau sera stockée longtemps, plus la décantation sera importante). Il faut insister sur l'importance d'un **entretien extrêmement suivi**, car la présence de boues étales sur un site habituellement propre sera mal appréciée par les usagers.

L'entretien consiste donc à **visiter et vidanger les équipements de dépollution** de l'ouvrage de rétention, évacuer les boues, et vérifier l'étanchéité de la zone vis à vis des constructions voisines. La personne ou le service chargé de l'entretien peut effectuer ces tâches sans formation particulière et en temps très réduit.

Estimation des couts

La zone inondable, par son principe même, n'engendre qu'un coût minime (30 à 1,50 € du m³ stocké). Cependant un certain nombre d'équipements supplémentaires peuvent venir alourdir le coût de réalisation :

- Le pré-bassin enterré (voir bassin enterré) ;
- L'étanchement des bâtiments mitoyens (20 € par ml) ;

- Information des usagers de la zone concernant les risques d'inondations temporaires.

Nota : Il s'agit de prix d'ordres qui ne prennent pas en compte les éventuelles configurations particulières : terrain rocheux, présence de nappe et de façon plus générale difficulté géotechnique, nécessité de démolition, découpe de chaussée...

Emplacement

La conception de ces ouvrages dépend en majeure partie de l'espace d'accueil : rue, cour, stationnement, etc...

Le stockage en zone inondable se montre parfaitement adapté aux zones urbaines et semi-urbaines en raison de sa non-consommation d'espace. Cependant, il nécessite une conception soignée afin d'aboutir à une bonne intégration tant paysagère que sociale.



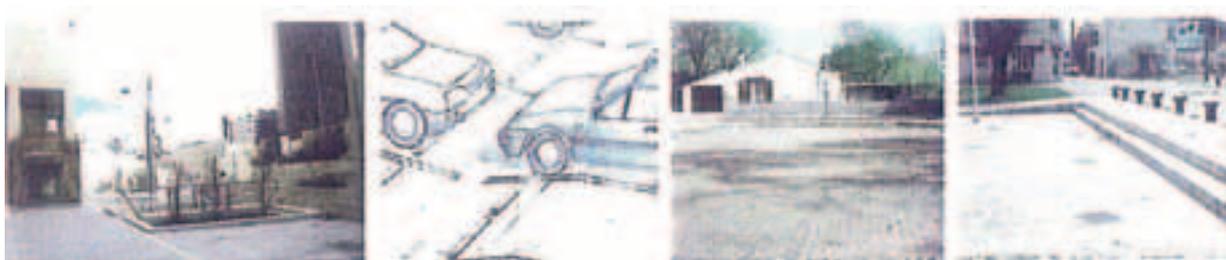
Parking inondable (« Les parkings inondables » - Conseil Général Seine St Denis)

Avantages

- 😊 Utilisation mixte d'un espace urbain
→ gain de place ;
- 😊 Réduction de la fréquence de débordement ;
- 😊 Inondation peu fréquente
→ 1 à 2 fois par an ;
- 😊 Réduction de la taille des ouvrages de rétention
- 😊 Sensibilisation des riverains à la présence de l'eau par temps de pluie.

Inconvénients

- ☹ Étude d'intégration paysagère et/ou architecturale conseillé ;
- ☹ Nécessité d'entretien, notamment en cas de décantation et dépôts importants ;



Place inondable

Parking inondable

Place inondable poreuse

Parvis inondable

Exemples d'espaces inondables en milieu urbain (« Les noues urbaines » - Conseil Général Seine St Denis)

Adaptabilité au contexte réunionnais

L'île de la Réunion est soumise à un contexte particulier en terme de géographie et de météorologie. Ces particularités doivent être prises en compte pour la mise en place de techniques « compensatoires à l'effet de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des sols ».

Régime pluviométrique : les espaces publics inondables sont aménagés pour canaliser un débordement. Néanmoins, si l'événement pluvieux est très fort et provoque le débordement de l'espace public inondable, l'impact de ces débordements devra être pris en compte pour éviter une aggravation des risques inondations.

Pentes importantes : sans objet.

Nombreux déchets : les espaces publics inondables demandent un entretien régulier. Vu la présence de nombreux dépôts sauvages de déchets à la Réunion, il est préconisé de réaliser des entretiens fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces déchets lors de la conception des ouvrages.

Rejets fréquents dans le milieu marin : sans objet.

Présence de zones agricoles « mêlées » aux zones urbaines : ces zones peuvent avoir un impact sur les espaces publics inondables notamment sur l'apport de matériaux (charriage ou suspension dans les eaux de ruissèlement). Il est également préconisé, dans ce cas, de réaliser des entretiens curatifs plus fré-

quemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces matériaux lors de la conception des ouvrages.

Développement potentiel des gîtes larvaires de moustiques : l'entretien et le suivi des espaces publics inondables doivent reposer sur une approche très pragmatique, susceptible d'évoluer, basée sur des observations fréquentes de leur état et de leur fonctionnement. En effet, certaines conditions de fonctionnement peuvent varier dans de fortes proportions et il n'est pas toujours possible d'indiquer des règles générales précises quant à la périodicité des interventions, ou aux quantités de résidus à éliminer par exemple. A la Réunion, le développement des gîtes larvaires de moustiques est favorisé par les conditions climatiques tropicales. La DRASS indique que le cycle de développement larvaire, entre la ponte et l'éclosion, dure entre 8 à 10 jours.

Par conséquent, l'entretien des ouvrages de stockage et de traitement à la Réunion devra être réalisé, a minima, tous les 10 jours, si ces ouvrages sont à une distance inférieure à 100 m d'habitations (distance parcourue pendant la vie d'un moustique *Aedes albopictus*, le vecteur du chikungunya à La Réunion).

Les puits d'infiltration

Principe

Les puits et puisards sont destinés à recevoir les eaux pluviales et entraîner leur absorption dans le sol. Ils jouent le rôle d'exutoire pour la zone drainée. Ils peuvent être utilisés comme exutoire d'un réseau d'assainissement traditionnel, ou même installés en série sur le réseau.

Trois types d'ouvrages existent :

- **le puisard.** Il évacue les eaux par infiltration dans le sol.
- **le puits,** évacue les eaux par injection : l'eau est directement introduite dans la nappe. Pour cette raison, cette technique est déconseillée à moins de garantir la qualité des apports.
- **le puits filtrant** se différencie du puits d'injection et du puisard d'infiltration, du fait qu'il soit rempli de matériau grossier (galets). Ce matériau confère à l'ouvrage une bonne résistance aux pressions verticales et horizontales, sans pose de structures béton. Son principe de conception est très proche des tranchées exposées au chapitre suivant, il présente des avantages et inconvénients similaires.

L'alimentation des puits peut se faire par ruissellement direct. Dans ce cas, les ouvrages doivent être recouverts par un matériau très perméable.

Estimation des coûts

Le coût de réalisation d'un puits est estimé à 12 €/m² de surface assainie. Dans le cadre d'une parcelle pavillonnaire, cette technique n'engendre pas de coûts prohibitifs, par contre dès lors qu'elle est appliquée sur un bassin versant plus large, le coût peut rapidement s'élever. D'autant qu'il faut compter environ 3 000 € pour le sondage préalable nécessaire à l'étude hydrologique.

Les paramètres faisant varier le coût sont :

- l'éventuelle étude hydrogéologique ;
- la profondeur de la fouille ;
- les équipements constituant l'ouvrage, ainsi que les équipements de dépollution ;
- le contexte de mise en œuvre (au cours d'un chantier ou ultérieurement).

Le coût de l'entretien est estimé, pour les puits importants, à 360 € tous les 2 ans. Dans le cas d'une infiltration à la parcelle, pour un particulier, les coûts sont estimés à :

- fournitures seules 350 à 600 € ;
- fournitures et Pose 900 à 1300 €.

Avantages

- 😊 domaine d'utilisation étendu ;
- 😊 accroissement de l'alimentation de la nappe ;
- 😊 peu d'emprise foncière ;
- 😊 bonne intégration dans le tissu urbain ;
- 😊 pas besoin d'exutoire ou éventuellement réduction du diamètre des émissaires d'évacuation ;
- 😊 pas de grosse contrainte topographique ;
- 😊 entretien limité au nettoyage annuel des éléments de prétraitement (filtres, regard de décantation, etc.) et au remplacement périodique du gravier et du sable ;
- 😊 faible coût de réalisation par rapport au coût global de l'aménagement.

Inconvénients

- 😞 Risque de pollution de la nappe phréatique ;
- 😞 Risque de colmatage ;
- 😞 Utilisation limitée en cas d'un sol où les couches assurant l'absorption ont une faible perméabilité (perméabilité > 10⁻⁵ m/s) ;
- 😞 Risque de dégagement de mauvaise odeur si l'ouvrage n'est pas entretenu.

Nota : Il s'agit de prix d'ordres qui ne prennent pas en compte les éventuelles configurations particulières : terrain rocheux, présence de nappe et de façon plus générale difficulté géotechnique, nécessité de démolition, découpe de chaussée...

Emplacement

Ces ouvrages se caractérisent par leur très faible encombrement de l'espace. Ils peuvent être implantés tant en espace urbain que rural. Limités par leur capacité, ces puits sont réservés à des surfaces à l'échelle de la parcelle : lotissement, square, place, voie de desserte, terrain de sport, etc..

Ils requièrent cependant certaines conditions hydrogéologiques et géomorphologiques :

- une perméabilité verticale des couches du sous-sol suffisante pour absorber le débit prévu ;
- l'absence de roches solubles (gypse) sur le parcours de l'eau absorbée, sous peine d'effondrement ;
- une bonne qualité des effluents à évacuer ;
- une nappe assez profonde.

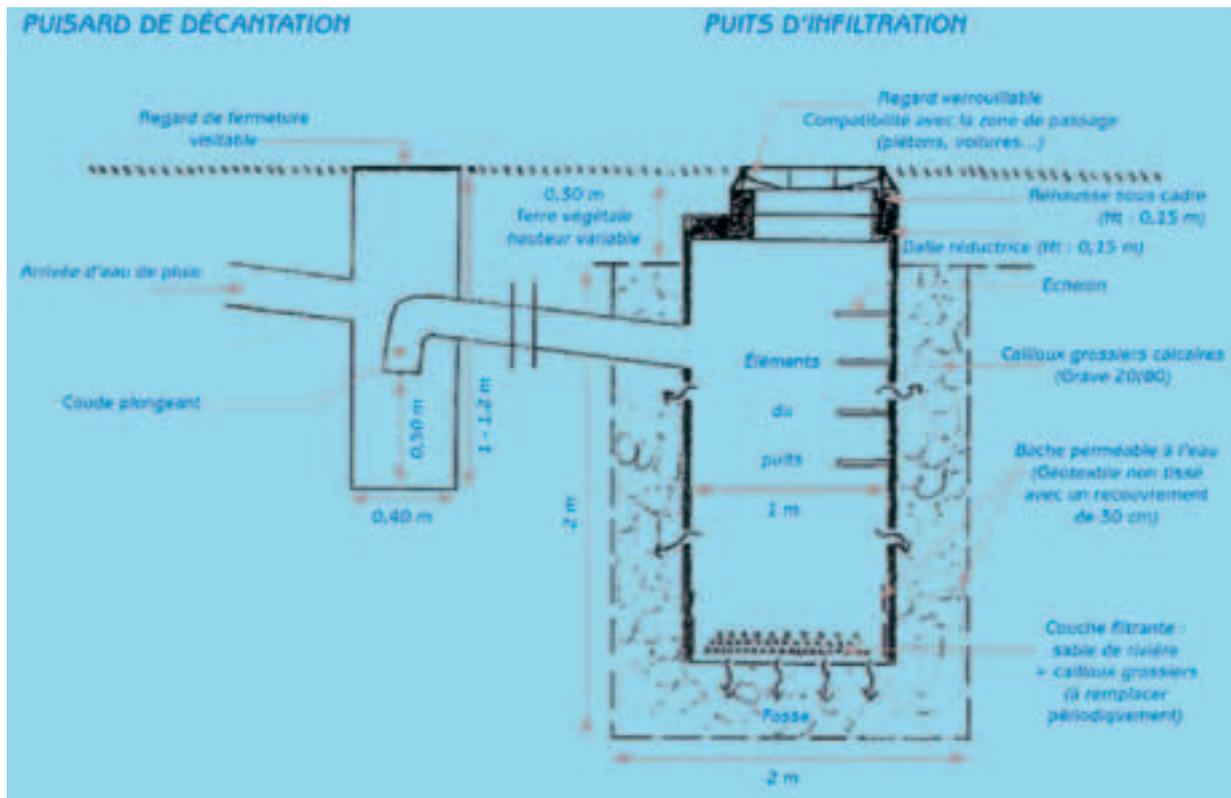


Schéma de principe d'un puits d'infiltration



Puits d'infiltration (vue de haut)



Puits d'infiltration avec intégration paysagère

precisions techniques

Conception

La mise en œuvre de ces ouvrages est simple :

- lorsque le terrain est stable, il suffit de creuser sur une profondeur variable selon la nature du terrain.
- en terrain meuble, les parois de l'ouvrage sont consolidées par un cuvelage en béton perforé, mis en place au fur et à mesure de la fouille.

Cependant la mise en place des puits ou puisards nécessite une bonne connaissance du niveau de la nappe phréatique, de sa fluctuation saisonnière et de la capacité d'écoulement souterraine. Pour les ouvrages desservant des superficies supérieures à 500 m², **il est recommandé de faire une étude hydrogéologique préalable.**

Les différents types de puits sont :

- les puits creux ;
- les puits comblés (le plus souvent garnis d'un massif filtrant ;
- les puits maçonnés ou busés.

Dispositifs et équipements

Afin de préserver la qualité du sous-sol et empêcher le colmatage de l'ouvrage, il est primordial de disposer des équipements de traitement à l'amont :

- dans le cas d'une habitation individuelle, il est à prévoir des regards avec une simple décantation ou un dégrillage. Les feuilles doivent être retenues afin d'éviter le colmatage des ouvrages d'alimentation ;

- pour les apports de réseau collectif (et non d'un bassin versant précis, tel qu'une toiture) un traitement complet est nécessaire : dégrillage, décantage, déshuilage.
- pour une voirie, l'infiltration des eaux de ruissellement est à proscrire en raison des risques de contamination des eaux de la nappe ;

Entretien

L'entretien du puits se fait par :

- la maintenance des dispositifs de dépollution, c'est-à-dire le nettoyage et curage de ces ouvrages ;
- l'injection de substances dépolluantes dans le puits, tels que du chlore (à éviter dans la mesure du possible).

La fréquence de ces nettoyages doit être définie par les responsables de l'entretien de l'ouvrage selon les nécessités. Ils doivent conserver à l'esprit que les risques de colmatage sont élevés.

Cependant, le décolmatage des puits peut être envisagé au moyen d'une hydrocureuse, si l'ouvrage est visitable.

Dimensionnement

Le puits peut être considéré comme bassin de rétention. Pour son dimensionnement, peuvent être appliquées les formules suivantes :

- pour son volume : les méthodes des pluies et des volumes préconisées par l'Instruction Technique ;
- pour le débit de vidange : Celui-ci est fonction de la qualité du sol, de la profondeur du puits et de la hauteur d'eau stockée.

Adaptabilité au contexte réunionnais

L'île de la Réunion est soumise à un contexte particulier en terme de géographie et de météorologie. Ces particularités doivent être prises en compte pour la mise en place de techniques « compensatoires à l'effet de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des sols ».

Régime pluviométrique : les puits d'infiltration peuvent déborder en cas de pluie intense. L'impact de ces débordements devra être pris en compte pour éviter une aggravation des risques inondations. Ces techniques pourront être mises en place de préférence en amont des bassins versants urbains, où les débits de ruissellement sont encore limités du fait de la petite taille des bassins versants drainés.

Pentes importantes : sans objet. A noter : la perméabilité des sols est très variable à la Réunion, il est donc impératif de faire une étude hydrogéologique préalable.

Nombreux déchets : les puits d'infiltration demandent un entretien régulier. Vu la présence de nombreux dépôts sauvages de déchets à la Réunion, il est préconisé de réaliser des entretiens fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces déchets lors de la conception des ouvrages.

Rejets fréquents dans le milieu marin : sans objet.

Présence de zones agricoles « mêlées » aux zones urbaines : ces zones peuvent avoir un impact sur les puits d'infiltration notamment sur l'apport de matériaux (charriage ou suspension dans les eaux de ruissellement). Il est également préconisé, dans ce cas, de réaliser des entretiens curatifs plus fréquemment, et d'attacher une importance à la gestion de ces matériaux lors de la conception des ouvrages.

Développement potentiel des gîtes larvaires de moustiques : l'entretien et le suivi des puits d'infiltration doivent reposer sur une approche très pragmatique, susceptible d'évoluer, basée sur des observations fréquentes de leur état et de leur fonctionnement. En effet, certaines conditions de fonctionnement peuvent varier dans de fortes proportions et il n'est pas toujours possible d'indiquer des règles générales précises quant à la périodicité des interventions, ou aux quantités de résidus à éliminer par exemple. A la Réunion, le développement des gîtes larvaires de moustiques est favorisé par les conditions climatiques tropicales. L'ARS indique que le cycle de développement larvaire, entre la ponte et l'éclosion, dure entre 8 à 10 jours.

Stockage sur toiture

Principe

Le principe du stockage sur toiture consiste à profiter de l'espace consacré à la toiture pour y retenir temporairement les eaux pluviales. Le stockage sur toiture s'effectue différemment selon la forme et l'usage du toit.

Emplacement

La rétention sur terrasse peut être employée en espace rural ou urbain. Cette technique se montre tout à fait adaptée aux zones urbaines denses, tant d'un point de vue économique qu'architectural. Ces toitures présentent sous 2 formes :



Toitures végétalisées (800 m²) du Cyclotron, St Denis, La Réunion – Sapef Paysage, 2007



Toitures végétalisées (50 m²) du Groupe Hospitalier Sud, St Pierre, La Réunion – Sapef Paysage, 2008

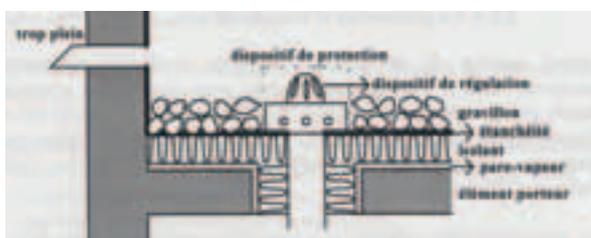


Schéma de principe d'un stockage sur toiture

Avantages

- 😊 Diminution des réseaux à l'aval du projet ;
- 😊 Gain foncier à l'aval de la zone assainie ;
- 😊 Réduction de l'inondabilité au droit de l'ouvrage ;
- 😊 Bonne intégration dans les tissus urbains ;
- 😊 Pas de technicité particulière.
- 😊 Une inertie thermique et une protection contre les chocs thermiques

Inconvénients

- 😞 Entretien régulier ;
- 😞 Nécessité d'une réalisation soignée faite par des entreprises qualifiées.

Conception

La réalisation d'une toiture-terrasse classique doit répondre à des normes édictées par les pouvoirs publics, regroupés dans des DTU (20.12, 43.1) ou des avis techniques. Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de DTU propre à la fonction de rétention des toitures terrasses. Par contre, sont parues des "règles professionnelles pour la conception et la réalisation des toitures terrasses destinées à la retenue temporaire des eaux pluviales" venant compléter les DTU cités ci-dessus. Ces règles n'ont pas force de loi, mais par contre ont obtenu l'agrément des assureurs. Selon ces règles (éditées par la CSNE) :

- les toitures doivent être inaccessibles aux piétons et aux véhicules ;
- les toitures terrasses comportant des installations techniques telles que chaufferies, dispositifs de ventilation mécanique contrôlée, conditionnement d'air, machinerie d'ascenseurs, ne sont pas aptes à retenir temporairement les EP (cependant, l'expérience montre que nombre de toitures terrasses occupées partiellement par des installations techniques ont obtenu l'agrément) ;
- l'élément porteur doit avoir une pente nulle,
- la surcharge imposée par la rétention des EP doit être prise en considération dans les calculs (voir chapitre dimensionnement) ;
- le revêtement doit être protégé par une couche de gravillon (il ne doit pas être monocouche) ;
- les reliefs sont en béton armés (murets, supports d'ancrage, etc..) et leur hauteur minimale est de 0,25 m au dessus du gravillon.

Les toitures végétales font également l'objet de règles édictées par le CSNE. Cependant certaines entreprises ont acquis une expérience dans ce domaine, et en accord avec les bureaux de contrôles, se tiennent à des mises-en-œuvre types.

La constitution type des toitures-terrasses est la suivante :

- élément porteur ;
- pare-vapeur et un isolant ;
- revêtement d'étanchéité ;
- un drain, en matériau naturel (gravier) ou en matériau artificiel (polystyrène expansé nervuré) ;
- une couche filtrante retenant les éléments fins de la terre végétale (laine de verre ou géotextile) ;
- un substrat de terre végétale, dont l'épaisseur varie de 0,3 à 1 m ou plus suivant la végétation ;
- la végétation.

Précaution de mise en œuvre

L'emploi de dalles sur plots, sur des toitures-terrasses retenant des eaux pluviales, nécessite une attention et un entretien particulier. Lorsque les dépôts s'accumulent entre les dalles et le sol porteur, leur immersion temporaire dans l'eau pluviale entraîne un effet de macération. Selon les règles de la CNSE, les toitures accessibles aux piétons et aux véhicules ne peuvent s'envisager "en eau". Il est recommandé la mise en œuvre de toiture réservoir sur les constructions neuves. Leur emploi reste cependant envisageable sur des bâtiments anciens. Il nécessite alors des études complémentaires concernant notamment l'aptitude de l'élément porteur à supporter la surcharge créée par l'eau retenue.

Évacuation

Dispositif d'évacuation : il doit permettre de réguler le débit tout en limitant l'accumulation de graviers, feuilles et autres débris de pénétrer dans la descente d'eau. Certains dispositifs permettent de limiter le débit jusqu'à un certain seuil, puis font ensuite office de trop-plein (voir ci-dessous), d'autres n'assurent que la fonction de régulation. Lorsque la contrainte de débit est élevée, il est préférable d'employer des régulateurs à système vortex, plus coûteux mais contrôlant des débits très faibles (de l'ordre du l/s).

Entretien

L'entretien des toitures terrasses réservoir, comme pour toute autre toiture terrasse, consiste en une visite régulière afin de veiller au bon état des évacuations et limiter les accumulations intempestives (feuilles, papiers, etc.). Les règles édictées par le CNSE préconisent pour les toitures-terrasses réservoirs deux visites annuelles réalisées par un professionnel qualifié.

Dans le cadre de ces visites, il importe que la végétation parasite qui se développe sur les graviers soit arrachée ; cela pour éviter l'extension de la végétation et, indirectement, lors du dépérissement des végétaux, le colmatage des évacuations.

Estimation des couts

Le surcoût lié à la rétention des eaux pluviales est difficilement chiffrable, car minime. Nombreuses sont les opérations pour lesquelles il est considéré comme nul.

Deux sources éventuelles de surcoûts :

- le renforcement de la structure porteuse : elle n'est généralement pas nécessaire, et les constructeurs sont unanimes pour dire qu'elle n'implique qu'un surcoût infime.
- le renforcement de l'étanchéité, le long des acrotères et des installations sur les toits. Ils sont estimés par certains à 11 €/ml.

Nota : Il s'agit de prix d'ordres qui ne prennent pas en compte les éventuelles configurations particulières : terrain rocheux, présence de nappe et de façon plus générale difficulté géotechnique, nécessité de démolition, découpe de chaussée...

Adaptabilité au contexte réunionnais

L'île de la Réunion est soumise à un contexte particulier en terme de géographie et de météorologie. Ces particularités doivent être prises en compte pour la mise en place de techniques

« compensatoires à l'effet de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des sols ».

Régime pluviométrique : les toitures stockantes peuvent déborder en cas de pluie intense. L'impact de ces débordements devront être pris en compte pour éviter une aggravation des risques inondations. Ces techniques pourront être mises en place de préférence en amont des bassins versants urbains, où les débits de ruissellement sont encore limités du fait de la petite taille des bassins versants drainés.

Pentes importantes : sans objet.

Nombreux déchets : sans objet.

Rejets fréquents dans le milieu marin : sans objet.

Présence de zones agricoles « mêlées » aux zones urbaines : sans objet.

Développement potentiel des gîtes larvaires de moustiques : l'entretien et le suivi des toitures stockantes doivent reposer sur une approche très pragmatique, susceptible d'évoluer, basée sur des observations fréquentes de leur état et de leur fonctionnement. En effet, certaines conditions de fonctionnement peuvent varier dans de fortes proportions et il n'est pas toujours possible d'indiquer des règles générales précises quant à la périodicité des interventions, ou aux quantités de résidus à éliminer par exemple. A la Réunion, le développement des gîtes larvaires de moustiques est favorisé par les conditions climatiques tropicales. L'ARS indique que le cycle de développement larvaire, entre la ponte et l'éclosion, dure entre 8 à 10 jours.

Par conséquent, l'entretien des ouvrages de stockage et de traitement à la Réunion devra être réalisé, a minima, tous les 10 jours, si ces ouvrages sont à une distance inférieure à 100 m d'habitations (distance parcourue pendant la vie d'un moustique *Aedes albopictus*, le vecteur du chikungunya à La Réunion).

