

Action DOM OFB

La gestion à la source des eaux pluviales dans les départements et régions d'Outre-Mer : état des lieux, enjeux et contraintes

Auteurs : Gabrielle FAVREAU, Rémi CLEMENT, Pascal MOLLE (REVERSAAL)

Décembre 2024



Licence [CC BY NC ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)
DOI : 10.17180/g5wq-px56



Table des matières

I. Introduction et contexte	3
II. Objectif de l'étude et stratégie	7
III. L'enquête.....	8
III.1 Méthodologie.....	8
III.2 Résultats	11
III.2.1 Répartition par territoire	11
III.2.1.1 Guadeloupe	12
III.2.1.2 Guyane.....	13
III.2.1.3 Martinique	13
III.2.1.4 Mayotte	14
III.2.1.5 La Réunion.....	14
III.2.1.6 Synthèse	15
III.2.2 Retour d'expériences	16
III.2.1 Répartition et REX par type de solutions	18
III.2.1.1 Toitures végétalisées	18
III.2.1.2 Puits d'infiltration	21
III.2.1.3 Bassins secs et en eau	22
III.2.1.4 Jardins de pluie et jardinières surélevées.....	22
III.2.1.5 Noues.....	23
III.2.1.6 Autres solutions.....	23
III.2.2 Synthèse	28
IV. Les simulations	29
IV.1 Méthodologie.....	29
IV.1 Résultats	34
IV.1.1 Abaques	34
IV.1.2 Courbes percentiles	42
IV.1.3 Synthèse	44
V. Conclusion et perspectives	46
VI. Sigles et abréviations	47
VII. Tables des illustrations	48
VII.1 Liste des figures.....	48
VII.2 Liste des tableaux.....	49
VIII. Bibliographie	50
IX. Annexe 1 : Visuels utilisés lors de l'enquête	52
X. Annexe 2 : Guyane (synthèse des cartes consultées)	55
XI. Annexe 3 : Guadeloupe (synthèse des cartes consultées)	57
XII. Annexe 4 : Martinique (synthèse des cartes consultées).....	59
XIII. Annexe 5 : Mayotte (synthèse des cartes consultées)	61
XIV. Annexe 6 : La Réunion (synthèse des cartes consultées)	63
XV. Annexe 7 : France hexagonale (synthèse des cartes consultées)	65

I. Introduction et contexte

L'eau douce est une ressource rare et vitale pour chacun d'entre nous et plus largement pour le vivant. Elle est accessible sous diverses formes : les cours d'eau, les lacs et les baies côtières en surface, les nappes phréatiques dans le sol, et aussi la pluie. La pluie constitue donc une ressource. Une ressource à préserver. Une opportunité à saisir et à retenir, particulièrement en milieux urbain et périurbain. Le dérèglement climatique en cours, la raréfaction de l'eau qui en résulte sur certains territoires et les épisodes caniculaires de plus en plus fréquents ont largement contribué à cette prise de conscience.

Un changement de paradigme puisqu'en ville, l'eau de pluie a très longtemps été considérée comme un risque qu'il s'agissait de canaliser et d'évacuer rapidement pour limiter les inondations. Cette stratégie dite du « tout tuyau » a montré ses limites : par temps de pluie, les réseaux d'assainissement unitaires sont saturés et une partie des eaux est rejetée au milieu naturel sans traitement, l'impactant et le polluant. L'artificialisation des sols et leur imperméabilisation liées à l'urbanisation sont également à reconsidérer : le problème est-il vraiment la pluie qui tombe ? Ou bien est-ce le sol imperméable qu'elle rencontre, sur lequel elle ruisselle, se charge en polluants et qui l'empêche de s'infiltrer ?

Gestion à la source des eaux pluviales

L'eau de pluie, dès lors qu'elle a rencontré une surface terrestre (toiture, route, surface naturelle, etc.), est désignée par le terme eaux pluviales. En ville, il s'agit d'eaux pluviales urbaines. Les modalités de gestion de ces eaux sont multiples et la terminologie utilisée pour les désigner diversifiée, particulièrement en ce qui concerne les modalités « alternatives » se distinguant du « tout tuyau ». Dans leur article de 2022, Chocat *et al.* discutent les différents termes en vigueur dans le domaine des eaux pluviales.

D'un point de vue opérationnel, il est retenu ici que :

- Lorsque l'eau est gérée au plus proche de là où elle tombe, c.-à-d. avec un minimum de concentration des écoulements de façon à minimiser les volumes, sa gestion est dite à la source. Celle-ci peut se faire par une solution entièrement végétalisée (verte), partiellement végétalisée (hybride ou bleue) ou non végétalisée (grise). Les solutions qui permettent de gérer l'eau à la source ou à proximité de la source sont dites décentralisées. Elles s'opposent aux solutions centralisées qui permettent une gestion de l'ensemble des eaux pluviales d'un bassin versant par un dispositif unique. Une solution fondée sur la nature ne se définit pas par son degré de végétalisation. Il s'agit d'une solution qui redonne des fonctions « naturelles » à l'espace où elle est implémentée, lesquelles sont susceptibles de rendre des services écosystémiques (réalimentation du sol et des nappes, filtration de l'eau, support de biodiversité, de bien-être pour les habitants, etc.).

Parmi les dénominations plus conceptuelles, il est à retenir que :

- La gestion durable des eaux pluviales repose sur la considération des eaux pluviales urbaines comme une ressource et non comme un problème, et vise à une gestion soutenable de ces dernières sans préciser les moyens pour l'atteindre. La gestion intégrée repose, elle, sur le fait que la gestion des eaux pluviales est à concevoir comme partie intégrante d'un territoire et non comme un objet indépendant. Elle invite à tenir compte de l'ensemble des dimensions des eaux pluviales au lieu de les considérer sous le seul angle de leur évacuation. Les deux concepts sont intimement liés, une approche intégrée étant indispensable pour assurer la durabilité.
- La gestion durable des eaux pluviales est encouragée par les pouvoirs publics français. Le Plan d'action national (Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, 2021) introduit une composante opérationnelle au concept de gestion durable des eaux urbaines en la définissant comme « un mode de gestion visant à limiter au maximum le ruissellement des eaux pluviales, en ayant par exemple recours à des solutions favorisant leur infiltration ».

Contexte et spécificités des départements et régions d'Outre-Mer

La gestion des eaux pluviales urbaines est une préoccupation partagée par les territoires ultramarins (Guadeloupe, Guyane, Martinique, Mayotte, La Réunion), entre autres au regard de son influence sur le milieu naturel. La révision de l'état des lieux du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) en 2019 a permis l'évaluation de la pression exercée par le ruissellement urbain sur les masses d'eaux sur les cinq territoires. Un rapide bilan par territoire est présenté dans les paragraphes qui suivent.

L'évaluation conclut à une pression faible en Guadeloupe (Office de l'Eau de la Guadeloupe, Comité de l'Eau et de la Biodiversité, DEAL Guadeloupe, 2019) sur la base des émissions de zinc et de cuivre estimées en considérant les charges moyennes dans les eaux pluviales établies par l'INERIS pour la France hexagonale (Gouzy, 2017). Il est toutefois mentionné que ces charges sont sans doute peu représentatives du contexte local (toitures en tôles très présentes dans les Antilles).

En Martinique, la pression exercée par le ruissellement urbain et routier atteint la note maximale sur l'échelle considérée (note de 5) pour 11 des 61 masses d'eaux évaluées (cours d'eau, eaux littorales, eaux souterraines) (Comité de bassin Martinique, 2019).

A La Réunion, les masses d'eaux côtières (particulièrement celles de la façade Ouest de l'île) et les masses d'eaux souterraines de la frange littorale sont soumises à de fortes pressions du ruissellement urbain (Comité de l'eau et de la biodiversité La Réunion, Office de l'Eau Réunion et DEAL Réunion, 2019). Si le ruissellement urbain impacte la qualité de l'eau (mobilisation de sédiments et de micropolluants), l'apport d'eau douce dans les masses d'eaux côtières de type récifales provoque l'acidification des eaux et empêche le développement de récifs coralliens (Comité de l'eau et de la biodiversité La Réunion, Office de l'Eau Réunion et DEAL Réunion, 2019), impactant ces eaux et la biodiversité qu'elles abritent.

A Mayotte, il a été attribué à la pression du ruissellement urbain le déclassement écologique de certaines masses d'eaux côtières. Trois des dix masses d'eaux côtières évaluées subissent en effet une pression forte liée au ruissellement urbain car situées à proximité de zones urbanisées caractérisées par un trafic routier dense (Tabary *et al.*, 2020).

Pour la Guyane, l'état des lieux mentionne le ruissellement urbain comme source majeure d'émission de zinc, de cuivre et de plomb (Comité de l'Eau et de la biodiversité Guyane, Office de l'Eau de Guyane, DEAL Guyane, Géo-Hyd, 2020). Toutefois, la synthèse de l'état des lieux ne compte pas le ruissellement urbain parmi les principales pressions anthropiques s'exerçant sur les masses d'eaux guyanaises (Comité de l'eau et de la biodiversité Guyane, Office de l'eau de Guyane, DEAL Guyane, 2020).

Si la préoccupation est commune, des spécificités les distinguent du territoire hexagonal en matière de contexte et donc, potentiellement, de mise en œuvre.

Parmi les spécificités communes à ces cinq territoires :

- Le **climat tropical** (Guadeloupe, Martinique, Mayotte, La Réunion), **voire équatorial** (Guyane) qui se distinguent nettement du climat tempéré. Ils comptent deux saisons principales : l'une est généralement dite « sèche » (carême dans les Antilles), et l'autre « des pluies » ou « humide » (hivernage dans les Antilles), éventuellement séparées par de courtes intersaisons (Guyane, Mayotte, La Réunion). Outre les saisons, la différence de climat se traduit au niveau des températures - avec des moyennes annuelles deux fois plus élevées que celle sur le sol hexagonal - et des pluviométries. Les cumuls pluviométriques atteignent à certains endroits des quantités records : 4,4 m en Guyane, 5,5 m en Guadeloupe, 6,0 m en Martinique et 12,0 m à La Réunion sur la période 1991-2020, contre un maximum de 2,0 m en Hexagone sur la même période (données Météo-France, cartes consultables en annexe). En outre, les dynamiques pluvieuses observées diffèrent grandement en termes de saisonnalité et d'intensité.
- Un contexte de **foncier limité**, du fait de leur caractère insulaire pour la Guadeloupe, la Martinique, Mayotte et La Réunion et d'une forte couverture forestière pour la Guyane dont la surface est recouverte

à 96 % par la forêt amazonienne ¹. Le couplage à une expansion démographique - dont l'intensité varie selon le territoire - et l'urbanisation qu'elle engendre induit de fortes pressions sur le milieu, y compris en Guyane bien que la biodiversité y reste relativement préservée comparativement aux autres départements et régions d'Outre-Mer.

- Une **population concentrée sur le littoral** qui présente, en conséquence, un taux important d'imperméabilisation qui favorise le ruissellement urbain (cartes consultables en annexe). C'est en ruisselant que les eaux pluviales érodent les sols et se chargent en micropolluants. La forte présence de toitures métalliques et le trafic routier intense sur certaines sections sont également à considérer pour ce qui est de la problématique du ruissellement urbain sur ces territoires.
- Une **biodiversité exceptionnelle** et des **enjeux de préservation forts** : les territoires ultramarins qui représentent dans leur ensemble (non réduits aux départements et régions d'Outre-Mer) 22 % du territoire français, concentrent 80 % de la biodiversité nationale ². Les départements et régions d'Outre-Mer renferment des trésors de biodiversité terrestre, géologique et marine : chacun d'entre eux compte *a minima* deux réserves nationales (6 pour la Guyane) et, à l'exception de Mayotte qui n'en compte aucun à ce jour, plus de la moitié de leur surface est recouverte par un parc naturel ³. Cette biodiversité si riche et diversifiée est soumise à de nombreuses pressions anthropiques qui la fragilisent. Parmi elles, l'expansion démographique et l'urbanisation dont l'imperméabilisation résultante induit des déversements d'eaux non traitées par temps de pluie (saturation des réseaux unitaires) et des apports d'eau douce dans les masses récifales qui exercent une pression sur la biodiversité aquatique de ces territoires.
- Un **isolement géographique** qui induit la non-disponibilité en local de certains matériaux (et donc un surcoût en cas d'importation).

La Guadeloupe, la Martinique, Mayotte et La Réunion partagent deux autres dénominateurs communs :

- Des **sols d'origine volcanique** qui peuvent présenter de bonnes capacités d'infiltration à l'inverse des sols guyanais majoritairement composés de latérite. En revanche, certains de ces territoires peuvent être sensibles à des glissements de terrain lors de ruissellements excessifs ou d'inondations.
- Des **reliefs** qui peuvent être **très escarpés** avec de fortes pentes induisant de fortes vitesses d'écoulement lorsque la pluie ruisselle et donc une forte érosion, y compris des espaces non urbanisés. Le ruissellement non urbain et ses conséquences (coulées de boues, apport d'éléments terrigènes et d'eau douce dans les eaux récifales) sont mentionnés dans le rapport « Évaluation des pressions et des impacts liés au ruissellement urbain » rédigé dans le cadre de la révision du SDAGE de 2019 de La Réunion (Comité de l'eau et de la biodiversité La Réunion, Office de l'Eau Réunion et DEAL Réunion, 2019). Le propos est illustré avec l'exemple de Saint-Leu dont l'état de santé du récif qui jouxte la commune a été fortement dégradé par la recrudescence d'épisodes pluvieux générateurs de déversements importants d'éléments terrigènes dans le lagon. Le rapport affirme que l'aménagement du territoire à l'origine du ruissellement urbain est très probablement la cause d'une accentuation du ruissellement non urbain et de ses conséquences et insiste sur l'urgence de mettre œuvre des actions permettant de réduire les impacts des aménagements anthropiques.

Des enjeux forts mais des problèmes de mise en œuvre

La conclusion du rapport précédemment mentionné est la suivante : « Les solutions existent, de nombreux guides et études s'en font l'écho en matière notamment d'aménagement du territoire et d'usage des sols, mais leurs déclinaisons ne sont pas véritablement mises en œuvre. Il apparaît donc urgent que soit mis en place des diagnostics de territoire permettant d'initier sur les espaces terrestres des actions permettant de réduire l'impact des aménagements anthropiques en matière de ruissellement et réduire ainsi leurs effets sur les milieux aquatiques [...]. Des alternatives innovantes pourraient être développées sur la base de solutions fondées sur la nature. » (Comité de l'eau et de la biodiversité La Réunion, Office de l'Eau Réunion et DEAL Réunion, 2019).

Pour ce qui est des enjeux, en plus de la préservation et de la restauration de la qualité des eaux, le

¹ <https://biodiversite-outre-mer.fr/territoires> (dernière consultation le 12-12-2024)

² <https://biodiversite.gouv.fr/la-strategie-dans-les-outre-mer> (dernière consultation le 12-12-2024)

³ <https://biodiversite-outre-mer.fr/territoires> (dernière consultation le 12-12-2024)

Plan national de gestion durable des eaux pluviales identifie deux autres enjeux qui n'apparaissent pas dans cette conclusion : la prévention et la gestion des inondations par ruissellement urbain ainsi que l'adaptation des villes au changement climatique (Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, 2021).

La conclusion citée rejoint, en revanche, parfaitement le constat n°1 du Plan national de gestion des eaux pluviales, à savoir : « la question des eaux pluviales et leur gestion durable sont insuffisamment prises en compte et intégrées dans les politiques d'aménagement du territoire » (Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, 2021). Les constats faits par la suite dans le Plan d'action énoncent d'autres problèmes de mise en œuvre liés aussi bien à des questions de gouvernance et de gestion patrimoniale (constat n°2 ⁴) qu'à des lacunes réglementaires (constat n°3 ⁵). Le dernier constat soulève la problématique des connaissances sur le sujet, aussi bien le caractère peu opérationnel des connaissances actuelles à défaut de coordination / valorisation, que leur incomplétude (constat n°4 ⁶). Les solutions végétalisées sont particulièrement ciblées par ce constat. L'action 22 du Plan d'action vise ainsi à « améliorer les connaissances sur les ouvrages végétalisés de gestion des eaux pluviales » (Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, 2021).

Par ailleurs, concernant les connaissances, il est intéressant de mentionner le constat fait par Solarte Moncayo et Duchesne (2023) dans leur revue de littérature sur les infrastructures vertes de gestion des eaux pluviales : les travaux de recherche sur le sujet et les textes les plus cités dans la communauté scientifique proviennent des États-Unis (196), du Canada (8), de l'Australie (5) et de la Chine (5), soient des pays au climat majoritairement tempéré, subtropical voire subéquatorial, mais rarement tropical (Australie et uniquement certaines régions).

Une action en cohérence avec le Plan national de gestion durable des eaux pluviales

La gestion des eaux pluviales urbaines est une préoccupation partagée par les territoires ultramarins, d'autant plus au regard du climat tropical (voire équatorial) qui y règne et des spécificités qui sont les leurs. Alors que la gestion à la source est à privilégier, la mise en œuvre des solutions pour ce faire, particulièrement celle des solutions fondées sur la nature, reste émergente et questionne. Leur transposition au climat tropical en particulier reste à éprouver.

La tranche 2022-2024 de l'action DOM OFB portée par REVERSAAL⁷ et financée par l'Office français de la biodiversité (OFB) inclut un **axe relatif à la gestion intégrée des eaux pluviales par des solutions fondées sur la nature** qui vise à apporter des éléments de réponse aux questionnements suivants :

- En quoi les caractéristiques pédologiques, climatiques ainsi que les espèces végétales locales peuvent modifier les dimensionnements et la gestion de ces solutions ?
- Quelles adaptations, particulièrement en termes de dimensionnement, seraient à mettre en œuvre pour « tropicaliser » ces ouvrages, pour quelle efficacité hydraulique et quelles conséquences en termes de foncier ?

L'action DOM OFB et son axe pluvial s'intègre ainsi parfaitement au Plan national d'action pour une gestion durable des eaux pluviales (Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, 2021), en particulier à l'axe 4 intitulé : « améliorer les connaissances scientifiques pour mieux gérer les eaux pluviales ».

⁴ Constat n°2 : « La gouvernance locale ainsi que le patrimoine utile pour la gestion des eaux pluviales sont parfois mal adaptés (connaissance, organisation, recettes et dépenses...) et la structuration des services afférents va demander encore de nombreuses années » (Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, 2021).

⁵ Constat n°3 : « La réglementation relative à la gestion des eaux pluviales est éclatée et trop lacunaire au regard de l'importance des enjeux qui y sont rattachés » (Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, 2021).

⁶ Constat n°4 : « En matière d'eaux pluviales, les travaux de recherche et les innovations sont nombreux mais restent encore insuffisamment coordonnés et diffusés/valorisés de façon opérationnelle. Une meilleure connaissance des rejets d'eaux pluviales et d'eaux usées par temps de pluie ainsi que de leur impact sur les milieux aquatiques et la ressource en eau s'avère également indispensable. » (Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, 2021)

⁷ Pour mieux nous connaître : <https://reversaal.lyon-grenoble.hub.inrae.fr/>.

II. Objectif de l'étude et stratégie

L'objectif de cet axe est donc, en d'autres termes, d'**investiguer l'impact du contexte tropical**, et plus globalement du contexte ultramarin, **sur les solutions fondées sur la nature classiquement mises en œuvre pour gérer les eaux pluviales à la source, et plus particulièrement, les solutions qui favorisent leur infiltration** (noues, jardins de pluie, bassins d'infiltration, etc.). Sa réalisation vise notamment à préciser des méthodes de dimensionnement et de gestion pour une efficacité quantifiée.

La stratégie mise en œuvre pour atteindre cet objectif se décline en trois axes distincts mais complémentaires :

- Identifier la réalité du terrain : quelles solutions de gestion à la source des eaux pluviales existent dans les départements et régions d'Outre-Mer (type, répartition) ? Quels sont les retours d'expérience sur ces solutions ? Existe-t-il des données sur ces solutions qui permettraient d'étudier leur fonctionnement ? Existes-ils d'ores-et-déjà des règles de dimensionnement et des pratiques propres à ces territoires, et si oui, lesquelles ?
- Éclaircir la possible incidence de climats différents sur le fonctionnement de solutions de gestion à la source des eaux pluviales via infiltration : quels effets sur le comportement de la solution et son efficacité hydraulique ? Quelles conséquences en termes de mise en œuvre et de dimensionnement ? Une transposition directe des pratiques en vigueur en France hexagonale est-elle pertinente ?
- Acquérir des données sur des solutions de gestion à la source des eaux pluviales via l'infiltration en contexte ultramarin pour comprendre leur fonctionnement et identifier leurs potentielles limites.

Pour identifier la réalité du terrain, une **enquête** a été réalisée et diffusée auprès des cinq territoires concernés par l'action. Les réponses enregistrées ainsi que les échanges ultérieurs avec les participants ont permis de dresser un état des lieux de la gestion à la source des eaux pluviales dans les DROM (patrimoine existant connu, retours d'expérience contextualisés, existence ou l'absence de pratiques de dimensionnements spécifiques et dynamiques locales sur le sujet). Les visites réalisées en décembre 2022 en Martinique et en juin 2024 à La Réunion ont elles aussi permis d'alimenter cet état des lieux.

Parallèlement, des **simulations du fonctionnement d'une noue d'infiltration** ont été réalisées à l'aide du logiciel URBIS ⁸ sur la base de pluviométries et d'évapotranspirations locales pour les 5 territoires (1 ville par territoire) ainsi que 2 départements de France hexagonale (1 ville par département). Pour chaque lieu, l'abattement hydraulique permis par la noue d'infiltration a été quantifié en considérant diverses perméabilités et divers ratios surface noue / surface drainée. Ses caractéristiques en eau (temps en eau, niveau d'eau, durées en eau) ont également été observées.

La diffusion de l'enquête a permis d'identifier des pistes de sites à **instrumenter** sur plusieurs territoires (Guyane, Martinique, La Réunion). Après investigation des différentes pistes, c'est finalement le projet de la Volière à Saint-Pierre (La Réunion) qui été instrumenté courant 2024 et qui est suivi dans le cadre de l'action DOM OFB.

Ce rapport, après avoir contextualisé les enjeux de l'étude, présente la méthodologie et les résultats obtenus dans le cadre de l'enquête qui a été menée et des simulations réalisées. L'instrumentation et le suivi du site La Volière a fait l'objet d'un autre rapport (Favreau *et al.*, 2024).

⁸ Logiciel libre d'accès développé par le laboratoire DEEP de l'INSA Lyon, en partenariat avec les entreprises Nidaplast, Siplast et AS2C, avec un financement de l'OFB : <https://deep.insa-lyon.fr/fr/content/urbis>.

III. L'enquête

III.1 Méthodologie

Objectifs

L'objectif de l'enquête était de répondre aux deux questions suivantes :

- Quelles solutions de gestion à la source des eaux pluviales existent dans les DROM (type, répartition) ?
- Quels sont les retours d'expérience sur ces solutions ?

Elle visait aussi à établir un premier contact avec les acteurs locaux pour pouvoir les recontacter par la suite selon leurs réponses et ainsi obtenir plus de précisions sur les solutions existantes et/ou les projets futurs.

Public interrogé

L'enquête a été diffusée aux autorités possédant la compétence GEPU (Gestion des Eaux Pluviales Urbaines) pour chacun des cinq DROM. Les autorités contactées pouvaient être des EPCI (Établissement Public de Coopération Intercommunale) ou des communes, le transfert de la compétence n'étant obligatoire qu'à partir du 1^{er} janvier 2026. Certaines communes ne possédant plus la compétence mais restant actives sur le sujet ainsi que d'autres entités (DEAL, Département) ont parfois été incluses à l'enquête sur suggestion de nos relais locaux (Offices de l'eau, DEALM).

Au total, l'enquête a été transmise à 53 personnes : 39 travaillant au sein d'un EPCI ou d'une commune ayant la compétence GEPU (gestionnaires publics) et 14 avec un profil différent, dont 12 travaillant dans des communes n'ayant plus la compétence mais restant active sur le sujet. La très grande majorité des personnes contactées parmi les gestionnaires publics étaient des chef.fe.s de service.

Calendrier

L'enquête s'est déroulée sur la période 2022-2023 avec un lancement en novembre 2022 pour la Martinique, la Guadeloupe, la Guyane et La Réunion et un lancement en janvier 2023 pour Mayotte. Plusieurs relances ont été effectuées et elle a été clôturée en juillet 2023 pour les cinq territoires.

Contenu et structure

L'enquête était structurée par type de solutions selon la typologie suivante :

- **toitures végétalisées** (extensives et intensives),
- **ouvrages d'infiltration** (puits d'infiltration),
- **ouvrages de rétention et d'infiltration** (bassins secs et en eau),
- **ouvrages de biorétention** (jardin de pluie et jardinière surélevée),
- **noues** (sèches et humides),
- **autres** (arbres de pluie, dalles gazon, bandes végétatives filtrantes et tranchées drainantes plantées)

A chaque type de solutions était dédiée une page de l'enquête avec le contenu suivant : brève description du type de solutions considéré et des sous-catégories associées (texte et illustrations) suivie de la question "*Une ou plusieurs de ces solutions sont-elles implantées sur votre territoire ? oui/non*".

Le choix de la typologie et les descriptifs des solutions sont basés sur ceux établis par le SuDs Manual (Woods Ballard *et al.*, 2015). Comme souligné par Chocat *et al.* en 2022, le vocabulaire et les concepts relatifs aux solutions dites « alternatives » de gestion des eaux pluviales urbaines - dont certaines sont fondées sur la nature - sont encore en phase de construction et ne sont pas normés. Ce constat vaut en contexte francophone, mais également de manière plus globalisée. Ainsi la terminologie utilisée dans

l'enquête qui se base très majoritairement sur le SuDs Manual (ouvrage de référence en contexte anglo-saxon), diverge parfois de celle proposée dans l'article précité (Chocat *et al.*, 2022).

Le terme toitures végétalisées fait consensus et désigne une toiture couverte d'un substrat support de végétation (Chocat *et al.*, 2022; Woods Ballard *et al.*, 2015). Plusieurs types peuvent être distingués sur la base de différents critères : épaisseur du substrat, présence ou non d'un réservoir d'eau sous le substrat, présence ou non d'un dispositif de contrôle du débit évacué, type de végétation (Chocat *et al.*, 2022). La distinction proposée dans l'enquête reste basique : toiture extensive (faible épaisseur de substrat et plantation simple) ou toiture intensive (épaisseur de substrat plus importante et plantation plus élaborée).

Les puits d'infiltration sont définis comme des excavations verticales profondes remplies d'un matériau poreux conçues pour permettre le stockage provisoire et l'infiltration des eaux de ruissellement (Woods Ballard *et al.*, 2015). Cette définition rejoint celle proposée par Chocat *et al.* (2022), *i.e.* un ouvrage ponctuel et profond creusé dans le sol et capable de stocker provisoirement des eaux pluviales et de les infiltrer. Les visuels proposés orientent plus particulièrement vers la notion de puits préfabriqués, *i.e.* une canalisation perméable ou non [...] de forme circulaire, de diamètre compris entre 80 centimètres et 2 mètres et enterrée verticalement dans le sol (Chocat *et al.*, 2022). La mention d'un remplissage par un matériau rejoint, elle, la notion de puits comblés, *i.e.* des ouvrages de forme quelconque creusés dans le sol et remplis [...] d'un matériau de remplissage qui assure la stabilité de l'ouvrage (Chocat *et al.*, 2022).

L'enquête regroupe les bassins secs et en eau sous la dénomination systèmes de rétention et d'infiltration, *i.e.* des dépressions paysagères d'assez grande dimension conçues pour stocker temporairement les eaux de ruissellement et permettre leur infiltration par le sol en place. Ce type d'aménagement rejoint le terme bassins d'infiltration de surface dans Chocat *et al.* (2022), soit un dispositif de surface destiné à stocker temporairement les eaux de pluie avant de les restituer par infiltration et qui peut être sec (bassin sec) ou conserver une lame d'eau permanente (bassin en eau). Il s'agit d'un cas particulier des bassins de retenue, *i.e.* des dispositifs étanches ou non, en surface ou enterrés, destinés à stocker temporairement les eaux de pluie avant de les restituer vers un exutoire de surface et/ou par infiltration (Chocat *et al.*, 2022).

Les systèmes de biorétention sont décrits comme des ouvrages de taille réduite à moyenne impliquant l'usage de matériaux rapportés et conçus pour stocker temporairement les eaux de ruissellement pour *in fine* permettre leur collecte ou leur infiltration (Woods Ballard *et al.*, 2015). Ce type d'aménagement est désigné par le terme massif végétalisé dans Chocat *et al.* (2022), *i.e.* un dispositif ponctuel permettant le stockage provisoire de l'eau dans un sol amélioré de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur (mélange terre-pierre ou sol très léger) qui permet la restitution en partie par évapotranspiration et en partie par infiltration, éventuellement à débit contrôlé vers un exutoire aval ou un autre ouvrage. Les massifs végétalisés peuvent prendre la forme d'une jardinière, d'une fosse d'arbre ou d'un massif de surface (décaissé ou non). Un massif de surface décaissé est appelé jardin de pluie. Dans l'enquête, les systèmes de biorétention comprennent les jardins de pluie et les jardinières surélevées. Les fosses d'arbres sont désignées par le terme arbre de pluie et sont intégrées à la dernière catégorie (Autres).

Le terme noues désigne des solutions similaires dans Woods Ballard *et al.* (2015) et Chocat *et al.* (2022). Il s'agit de canaux végétalisés larges et peu profonds qui visent à stocker temporairement et/ou transporter et/ou infiltrer les eaux de pluie en surface. Les noues sont caractérisées par leur aspect linéaire et se distinguent des autres solutions de gestion à la source des eaux pluviales par le fait qu'elles peuvent jouer un rôle de transport de l'eau d'un point vers un autre (Chocat *et al.*, 2022). Le SuDs Manual introduit une distinction dans les types de noues sur le même modèle que les bassins d'infiltration de surface : sèche ou humide (avec une lame d'eau permanente) ainsi qu'une distinction en termes de végétalisation : noue engazonnée ou noue plantée. Ces spécificités n'apparaissent pas dans l'article de Chocat *et al.* (2022).

La dernière catégorie regroupe quatre types d'aménagements ponctuels : les arbres de pluie (correspondance évoquée plus haut), les dalles gazon, les bandes végétatives filtrantes et les tranchées drainantes plantées. Les dalles gazon sont un des dispositifs désignés par le terme revêtements perméables par Chocat *et al.* (2022), *i.e.* des revêtements qui permettent l'infiltration immédiate de l'eau de pluie à travers leur structure (pas de stockage). Les bandes végétatives filtrantes sont définies par Woods Ballard *et al.* (2015) comme des zones végétalisées en pente douce. Aucun équivalent n'est

mentionné par Chocat *et al.* (2022). Les tranchées drainantes plantées constituent, elles, un cas particulier des aménagements de type tranchée de stockage ou d'infiltration comme défini par Chocat *et al.* (2022), *i.e.* des ouvrages linéaires creusés dans le sol et capables de stocker provisoirement des eaux pluviales, de les transporter vers l'aval et/ou de les infiltrer.

Le Tableau 1 synthétise, pour les différentes solutions fondées sur la nature considérées, la terminologie utilisée dans l'enquête, la terminologie correspondante dans Chocat *et al.* (2022) ainsi que les fonctions hydrologiques associées.

Tableau 1 : récapitulatif de la terminologie employée dans l'enquête, correspondance avec celle de Chocat et al. (2022) et fonctions hydrologiques associées.

Terminologie enquête (SuDs Manual)	Terminologie correspondante (Chocat et al., 2022)	Fonctions hydrologiques associées
Toitures végétalisées	Toitures végétalisées	S, E
Puits d'infiltration	Puits d'infiltration	S, I
Systèmes de rétention et d'infiltration	Bassin d'infiltration de surface	S, I, E
Systèmes de biorétention	Massifs végétalisés	S, I, E
Arbres de pluie	Fosses d'arbre (massifs végétalisés)	S, I, E
Noues	Noues	S, I, T, E
Dalles gazon	Revêtement perméable	I
Bandes végétatives filtrantes	-	I, E
Tranchées drainantes plantées	Tranchée de stockage ou d'infiltration	S, I, T, E

I : infiltration, S : stockage, T : transport, E : évapotranspiration

Par la suite, les termes et la typologie issus du SuDs Manual resteront ceux employés dans cette partie puisqu'il s'agit de la terminologie avec laquelle les acteurs ont été interrogés lors de l'enquête.

En cas de réponse "oui", les questions suivantes étaient posées :

- "Les solutions implantées sur votre territoire sont : choix entre les différentes sous-catégories (plusieurs réponses possibles)"
- "Au total, combien de solutions de ce type sont implantées sur votre territoire ? entre 1 et 5 / entre 5 et 10 / entre 10 et 20 / plus de 20"
- "Certains ouvrages sont-ils équipés pour un suivi métrologique ? oui/non"
- "Si oui, y-a-t-il des données existantes ? oui/non"
- "Ces ouvrages répondent-ils à vos attentes en termes de gestion des eaux pluviales (bénéfices constatés, problématiques rencontrées ? champ libre facultatif"
- "Vous pouvez glisser ici le PDF technique d'un ouvrage de ce type implanté sur votre territoire : champ facultatif"
- "Vous pouvez glisser ici une photo d'un ouvrage de ce type implanté sur votre territoire : champ facultatif"

En cas de réponse "non", le participant était dirigé vers une page de l'enquête relative à un autre type de solutions (contenu et déroulé similaire à celui décrit ci-dessus).

Au terme des 6 types de solutions, une dernière page permettait au participant d'indiquer ses coordonnées pour bien identifier l'émetteur de la réponse et le recontacter ultérieurement si nécessaire. A ce stade, deux dernières questions lui étaient posées :

- "Avez-vous des projets en cours ou futurs d'implantation de solutions mentionnées dans ce questionnaire ? oui/non"
- "Souhaitez-vous recevoir la synthèse issue de cette étude ? oui/non"

Les visuels (texte et illustrations) utilisés pour chaque type de solutions sont présentés en annexe (Annexe 1).

Taux de participation

Les taux de participation enregistrés sont très satisfaisants (Tableau 2). Le détail indiqué ci-après pour chaque territoire a été calculé sur la base de la participation des autorités avec compétence GEPU uniquement (hors communes n'ayant plus la compétence, DEAL et Département).

Tableau 2 : taux de participation à l'enquête (détail par territoire).

Territoire	Personnes contactées	Taux de participation	Commentaire
Martinique	3	100 %	-
Guadeloupe	2	50 %	100 % avec retour de mail
Guyane	17	47 %	-
La Réunion	5	80 %	-
Mayotte	12	75 %	-

III.2 Résultats

III.2.1 Répartition par territoire

Les résultats de l'enquête sont synthétisés par des cartes présentées ci-après (Figures 1 à 5).

En termes de symbologie :

- Pour chaque territoire, les EPCI sont délimités en gras et leur nom est indiqué. Les EPCI répondants sont caractérisés par une couleur qui leur est propre (pas de signification autre).
- Dans le cas où la compétence GEPU reste dévolue aux communes, les délimitations des communes apparaissent au sein des EPCI. Les communes répondantes au sein d'un même EPCI apparaissent avec une même couleur.
- Les EPCI et communes pour lesquelles aucune donnée n'a été enregistrée sont indiqués en gris clair.
- Pour les répondants avec ouvrages, un histogramme indique les types de solutions (couleur) et leur nombre estimé (taille de la barre associée). Pour ceux sans ouvrages, le territoire est hachuré.

A noter que pour la Guadeloupe, l'histogramme de la DEAL a été placé entre la Guadeloupe continentale et Marie-Galante puisqu'il n'a pas été possible d'identifier exactement à quel territoire il se rapporte (hypothèse : union de la Guadeloupe continentale et de Marie-Galante).

Des cartes spécifiant les sous-catégories pour les différents types de solutions sont également présentées au III.2.3 pour l'ensemble des territoires.

III.2.1.1 Guadeloupe

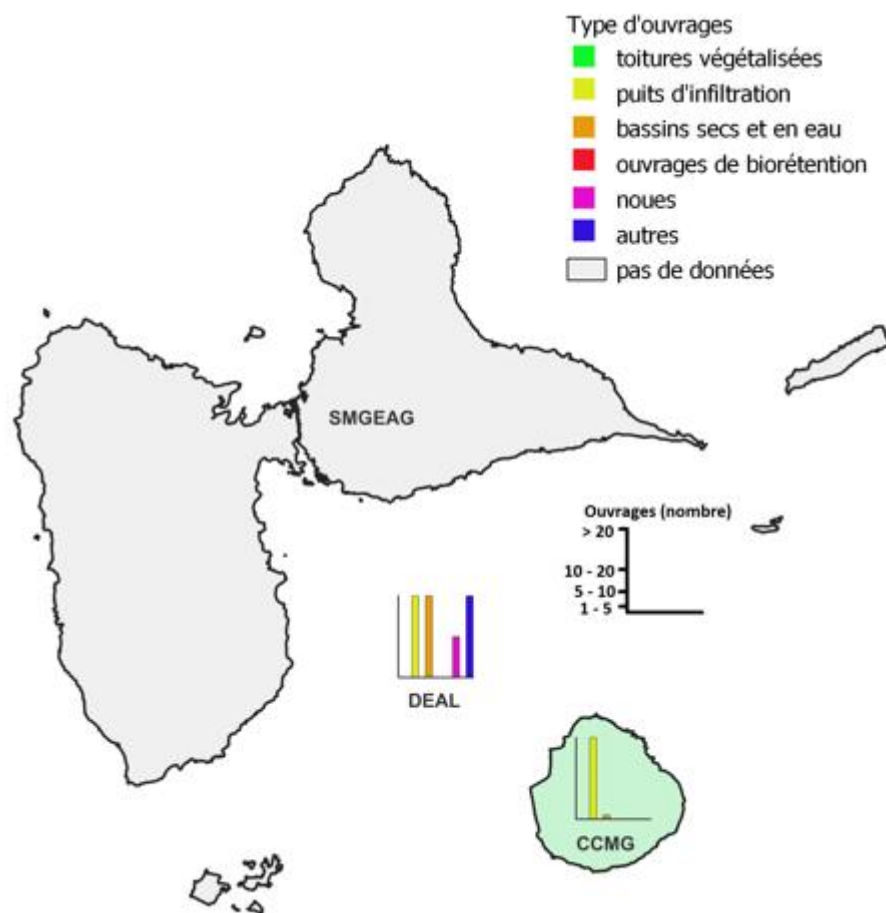


Figure 1 : répartition des solutions de gestion à la source des eaux pluviales en Guadeloupe (2023).

III.2.1.2 Guyane

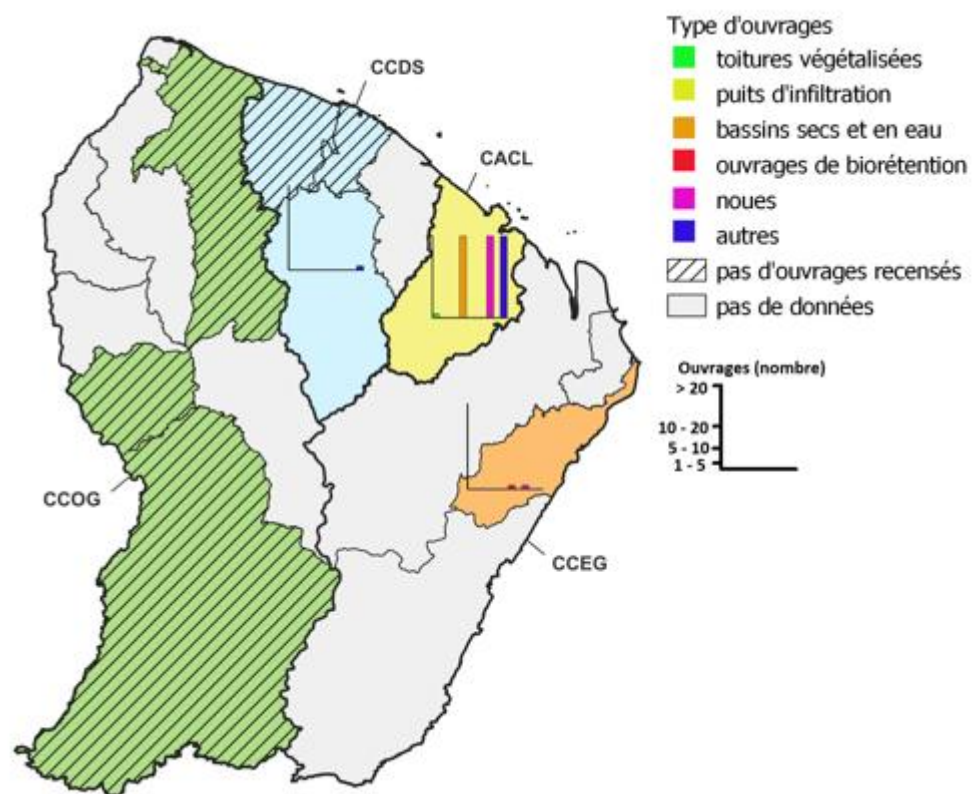


Figure 2 : répartition des solutions de gestion à la source des eaux pluviales en Guyane (2023).

III.2.1.3 Martinique

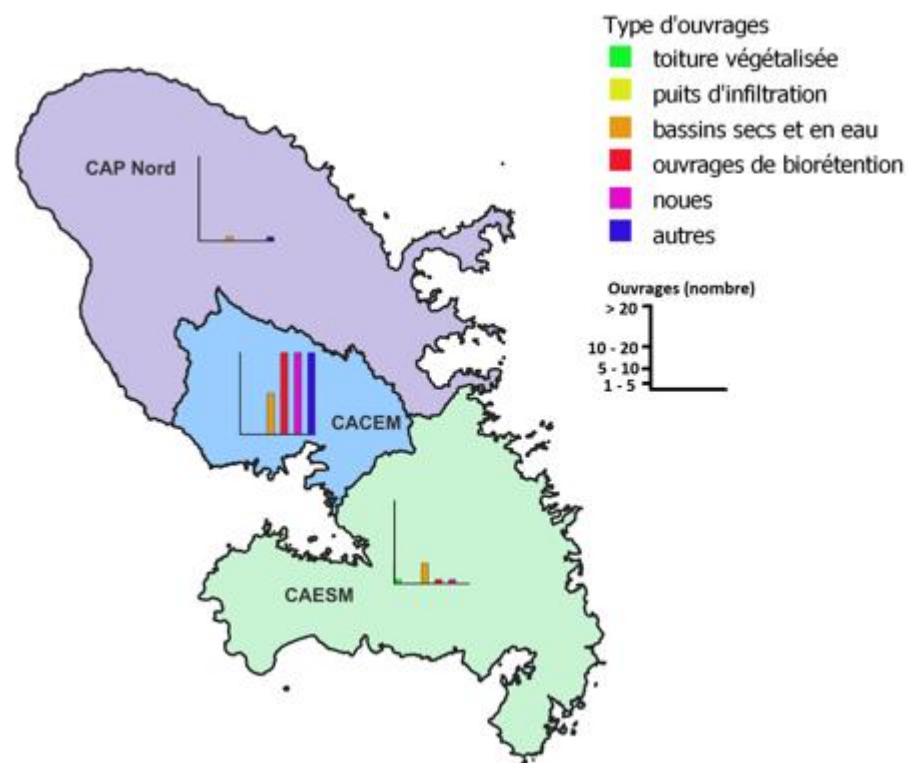


Figure 3 : répartition des solutions de gestion à la source des eaux pluviales en Martinique (2023).

III.2.1.4 Mayotte

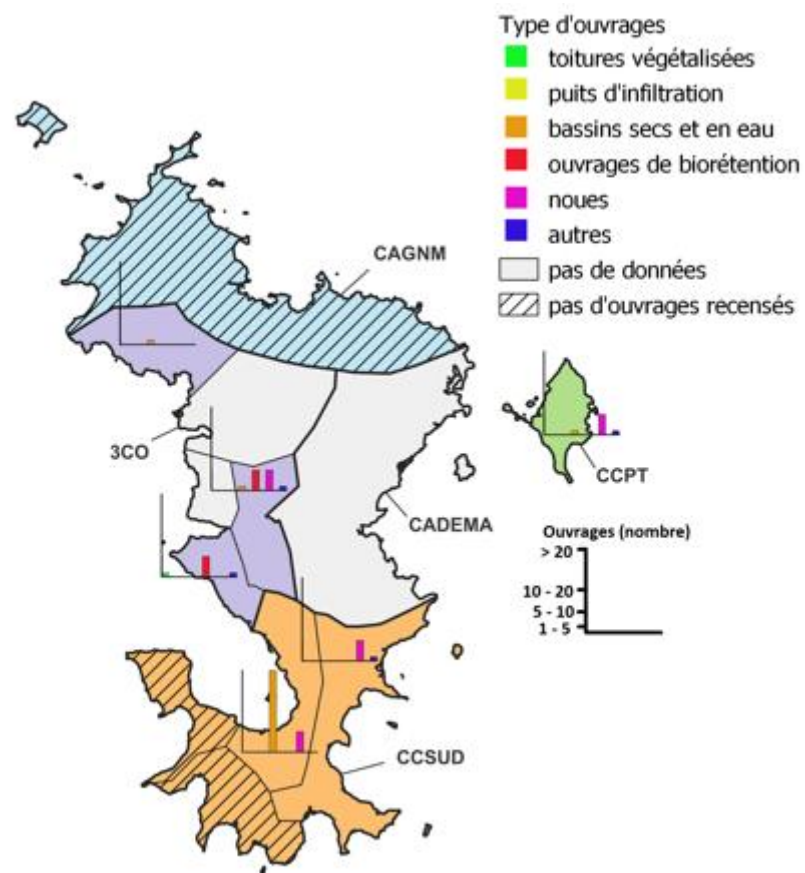


Figure 4 : répartition des solutions de gestion à la source des eaux pluviales à Mayotte (2023).

III.2.1.5 La Réunion

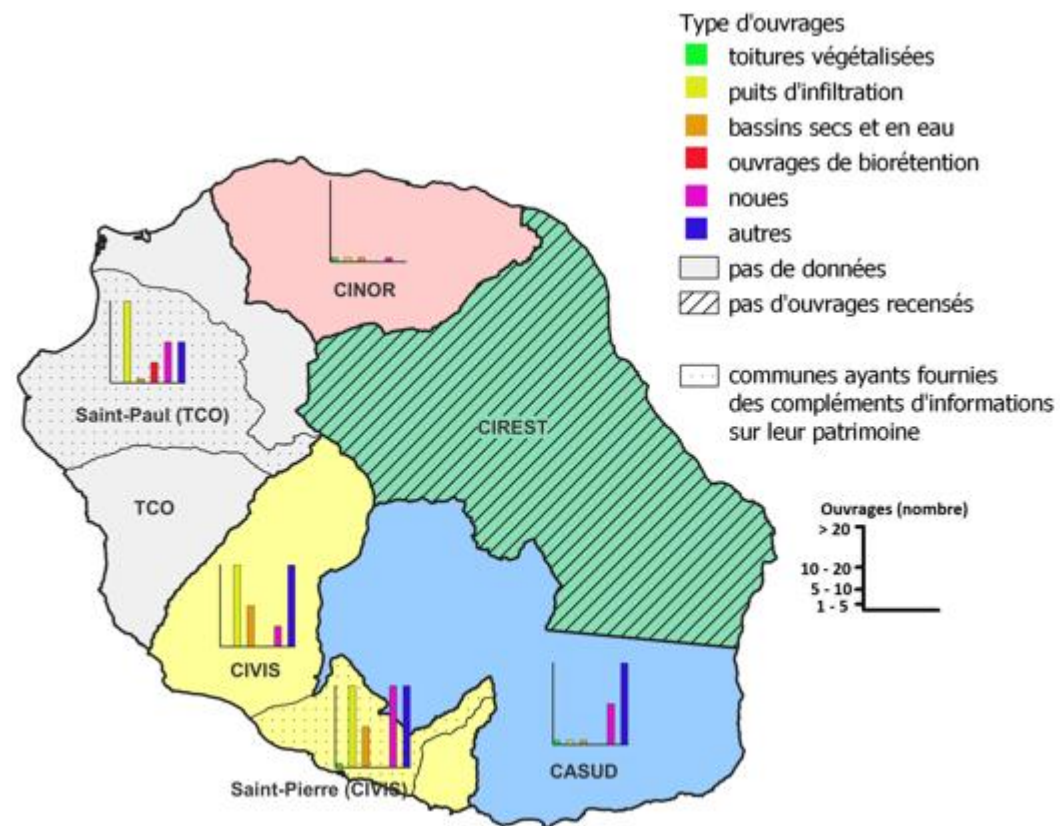


Figure 5 : répartition des solutions de gestion à la source des eaux pluviales à La Réunion (2023).

III.2.1.6 Synthèse

Répartition et nombre d'ouvrages

La **répartition géographique** des solutions de gestion à la source des eaux pluviales est **variable au sein de chaque territoire**. Pour la Martinique et la Guyane, le nombre de solutions semble corrélé avec la densité de population : la CACEM et la CACL qui sont les zones les plus peuplées et donc les plus imperméabilisées (Fort-de-France et Cayenne respectivement) sont aussi celles qui concentrent le plus grand nombre de solutions. Pour Cayenne, cela coïncide aussi avec de fortes pluviométries. A l'inverse, en Martinique, les plus fortes pluviométries sont enregistrées au Nord où peu de solutions existantes ont été indiquées, ce qui s'explique peut-être par le faible taux d'imperméabilisation de la zone. L'absence de solutions de gestion à la source des eaux pluviales indiquée par des hachures sur certains territoires est à nuancer : des solutions de ce type peuvent exister sur ces zones mais ne pas être à la charge du gestionnaire public (bailleur privé, copropriété) ou ne pas être connu de celui-ci (récente prise en main de la compétence GEPU et du patrimoine associé). L'état des lieux obtenu, bien que vraisemblablement incomplet, fournit toutefois un premier panorama sur le sujet. Il est par ailleurs possible de constater que l'implantation de solutions de gestion à la source des eaux pluviales semble plus ancrée à La Réunion que dans les autres territoires.

Répartition et types d'ouvrages

Sur les 6 types de solutions, **seuls 3 sont présents sur l'ensemble des territoires enquêtés** :

- les **bassins secs et en eau** ;
- les **noues** ;
- les **ouvrages catégorisés autres** dans l'enquête (généralement dédiés à la gestion des premiers millimètres de pluie).

Ils peuvent être **plus ou moins représentés selon le territoire** considéré mais sont présents sur l'ensemble des territoires étudiés.

Il est intéressant de mettre en regard ces résultats avec ceux obtenus par Girot *et al.* (2024) lors de leur enquête "Pratiques d'entretien des solutions de gestion des eaux pluviales" menée sur le territoire hexagonal au deuxième trimestre 2024, majoritairement auprès de gestionnaires publics (19 des 21 personnes répondantes). Lors de cette enquête qui incluaient un grand nombre de solutions et pas uniquement des solutions fondées sur la nature, les plus citées par les répondants ont été les bassins, les noues, les toitures (végétalisée ou non), les puits d'infiltration et les tranchées d'infiltration (Figure 6).

Les 8 solutions les plus citées lors de cette enquête coïncident avec le périmètre de notre enquête et les solutions qui y sont considérées : les bassins, les noues, les tranchées drainantes (uniquement plantées dans notre cas, classées dans la catégorie « autres »), les puits d'infiltration, les toitures (uniquement végétalisées dans notre cas), les jardins de pluie, les revêtements perméables et pavés joints enherbés (dalles gazon uniquement dans l'enquête ici présentée, classées dans la catégorie « autres ») et arbres de pluie (également catégorisés « autres »).

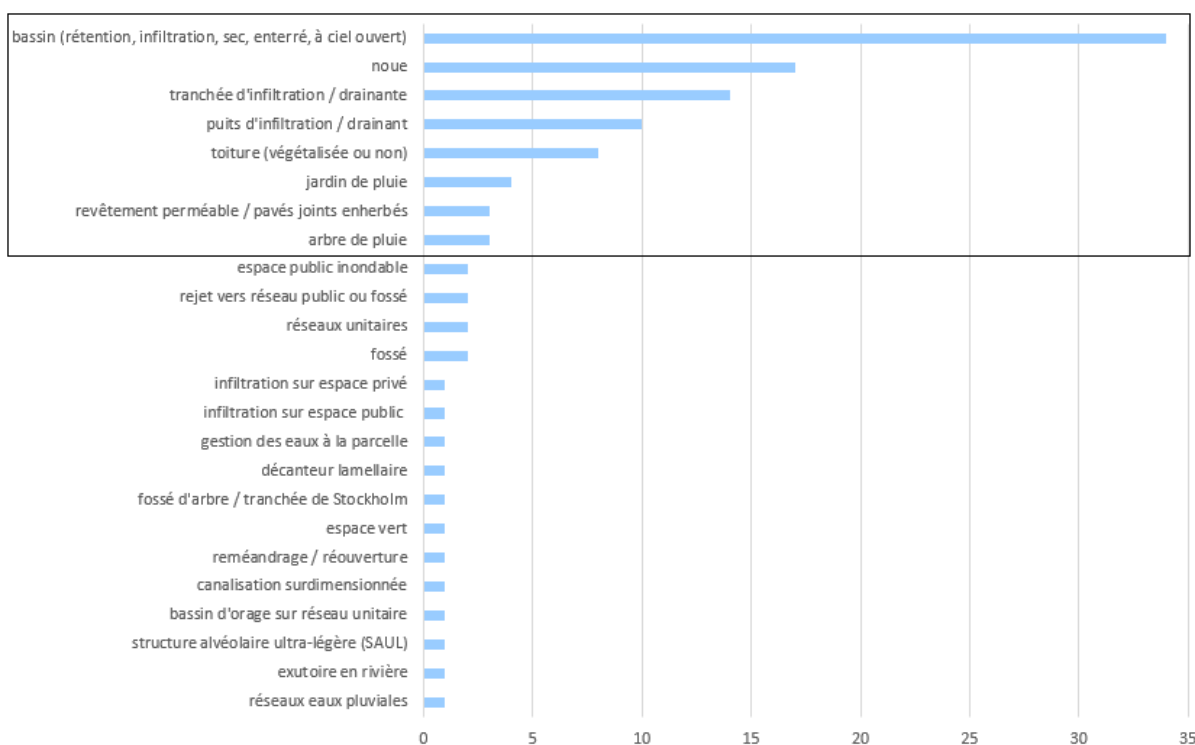


Figure 6 : représentation graphique de la répartition du nombre de citations par type de solutions lors de l'enquête menée par Girot et al. en 2024 sur le territoire hexagonal (à partir du tableau mentionné dans le rapport).

L'encart ajouté indique le périmètre commun à l'enquête menée dans le cadre de l'action DOM OFB.

Au regard de ces deux enquêtes, les bassins et les noues apparaissent comme les solutions de gestion des eaux pluviales les plus représentées, aussi bien sur le territoire hexagonal que dans les territoires ultramarins.

III.2.2 Retour d'expériences

Les retours d'expériences constituaient des champs libres facultatifs. Au total, ce sont **41 REX**⁹ qui ont été recueillis lors de cette enquête avec une **répartition inégale selon les solutions**.

L'étude détaillée des REX a permis d'en distinguer **différents types** :

- les REX **positifs** où seuls les bénéfices ont été mis en avant ;
- les REX faisant état d'une **méconnaissance** des ouvrages et de leur fonctionnement ;
- les REX **mitigés** évoquant des problématiques notables mais non rédhibitoires et mentionnant parfois des bénéfices ;
- les REX **négatifs** où seules les problématiques ont été mises en avant et y ont été jugées rédhibitoires ;
- les REX de type **commentaires** (précision du contexte, appréciation du participant).

La Figure 7 indique la répartition des 41 REX type par type.

⁹ Un REX est égal à une réponse à champ facultatif. Une même personne enquêtée peut donc avoir rédigé plusieurs REX (un sur les noues et un sur les toitures végétalisées par exemple) dans un maximum de 6 (un pour chaque type de solution).

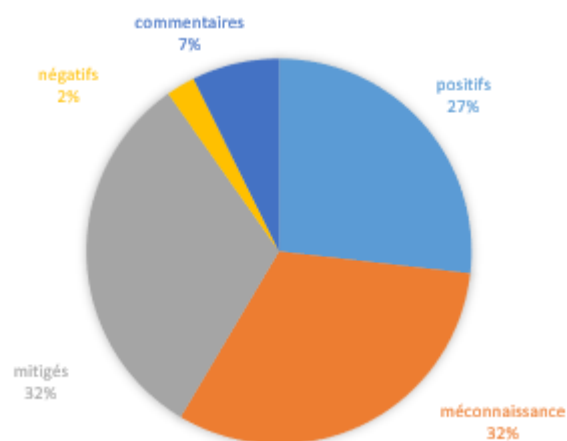


Figure 7 : répartition des REX selon les types identifiés.

Le Tableau 3 détaille les REX enregistrés par solution et type de REX.

Tableau 3 : typologie des REX enregistrés lors de l'enquête (détail par solution).

Solution	Total REX	REX positifs	REX négatifs	REX mitigés	REX méconnaissance	REX commentaires
Toitures végétalisées	5	-	1	-	4	-
Puits d'infiltration	4	-	-	2	1	1
Bassins	10	5	-	2	2	1
Jardins de pluie	3	1	-	1	1	-
Noues	9	3	-	2	4	-
Dalles gazon	6	2	-	3	-	1
Tranchée drainante plantée	4	-	-	3	1	-
Total	41	11	1	13	13	3

Une analyse globale des REX enregistrés a permis de constater que les REX **positifs** sont généralement **succincts et peu détaillés** tandis que les REX **mitigés** sont pour la plupart **très détaillés et instructifs**. Les REX faisant état d'une **méconnaissance** des ouvrages et de leur fonctionnement sont eux aussi **relativement développés**.

Trois constats ressortent des REX attestant d'une **méconnaissance** des ouvrages et de leur fonctionnement (toutes solutions confondues) :

- Les participants ont **peu ou pas de connaissances de leur patrimoine existant** (inventaire, documentation technique) du fait du récent transfert de compétence GEPU et/ou d'une gestion patrimoniale perfectible.
- La mise en œuvre de la **gestion à la source des eaux pluviales** reste **relativement nouvelle** bien que de plus en plus fréquente (ouvrages récents).
- Les participants n'ont **pas de visibilité sur les ouvrages réalisés par les particuliers**.

Ces constats ne sont, à nos yeux, **pas spécifiques aux territoires enquêtés**. Il s'agit plutôt de constats propres à la gestion à la source des eaux pluviales en France. Le premier constat ici mentionné rejoint d'ailleurs le constat n°2 du Plan d'action national pour une gestion durable des eaux pluviales (Gestion durable des eaux pluviales : le plan d'action, 2021).

L'analyse des **REX mitigés** (toutes solutions confondues) a elle fait ressortir plusieurs éléments : certains sont eux aussi **spécifiques à la gestion à la source des eaux pluviales en France** de manière générale (également présent dans Girot *et al.*, 2024 pour la plupart) et d'autre spécifiques à ce

type de gestion dans les DROM. Parmi les éléments listés ci-dessous, **ceux identifiés comme spécifiques aux territoires interrogés sont soulignés** :

- **Mauvaises réalisations et pratiques** : implantation en pente, pas de concertation avec les services d'entretien en amont, compactage des sols et réduction de leur perméabilité.
- **Pas de contrôle** lors de la réalisation / livraison ni de bilan d'efficacité une fois l'ouvrage en service.
- **Difficultés d'entretien** : nécessité d'un entretien régulier, croissance très rapide de la végétation.
- **Problèmes d'acceptabilité** : aspect boueux, risques pour les riverains, végétation incontrôlable.
- **Pluviométries extrêmes** et inefficacité de certains dispositifs face à ce type de pluie.
- **Sols argileux** non propices à l'infiltration.
- **Vieillesse des ouvrages** : colmatage.
- **Nappes souvent hautes** qui limitent l'implantation d'ouvrages d'infiltration.
- **Coût prohibitif**.
- **Végétation possiblement inadaptée**.

Le contexte ultramarin transparait dans ces REX tant en termes de climat (pluviométries extrêmes, croissance végétative rapide voire incontrôlable), de sols (sols argileux et nappes phréatiques hautes en Guyane), de végétation (végétation possiblement inadaptée) que d'isolement géographique (coût prohibitif) et traduisent, pour la plupart, la nécessité de règles claires pour le dimensionnement et la gestion des ouvrages.

Pour chaque solution, les REX associés sont détaillés dans la partie suivante.

III.2.1 Répartition et REX par type de solutions

III.2.1.1 Toitures végétalisées

La répartition et la nature des solutions de type toitures végétalisées sont présentées Figure 8.

Les **toitures végétalisées** sont présentes dans 4 des 5 DROM (sauf Guadeloupe) mais s'avèrent **très peu plébiscitées** avec un maximum de 1 à 5 ouvrages par EPCI.

Les cartes permettent également de constater que les toitures existantes sont **uniquement extensives** et non intensives. Ce dernier constat s'explique peut-être par le fait que les toitures extensives sont plus légères (donc potentiellement plus compatibles avec des normes antisismiques pour les territoires concernés), moins onéreuses et nécessitent moins de maintenance et d'irrigation que les toitures intensives.

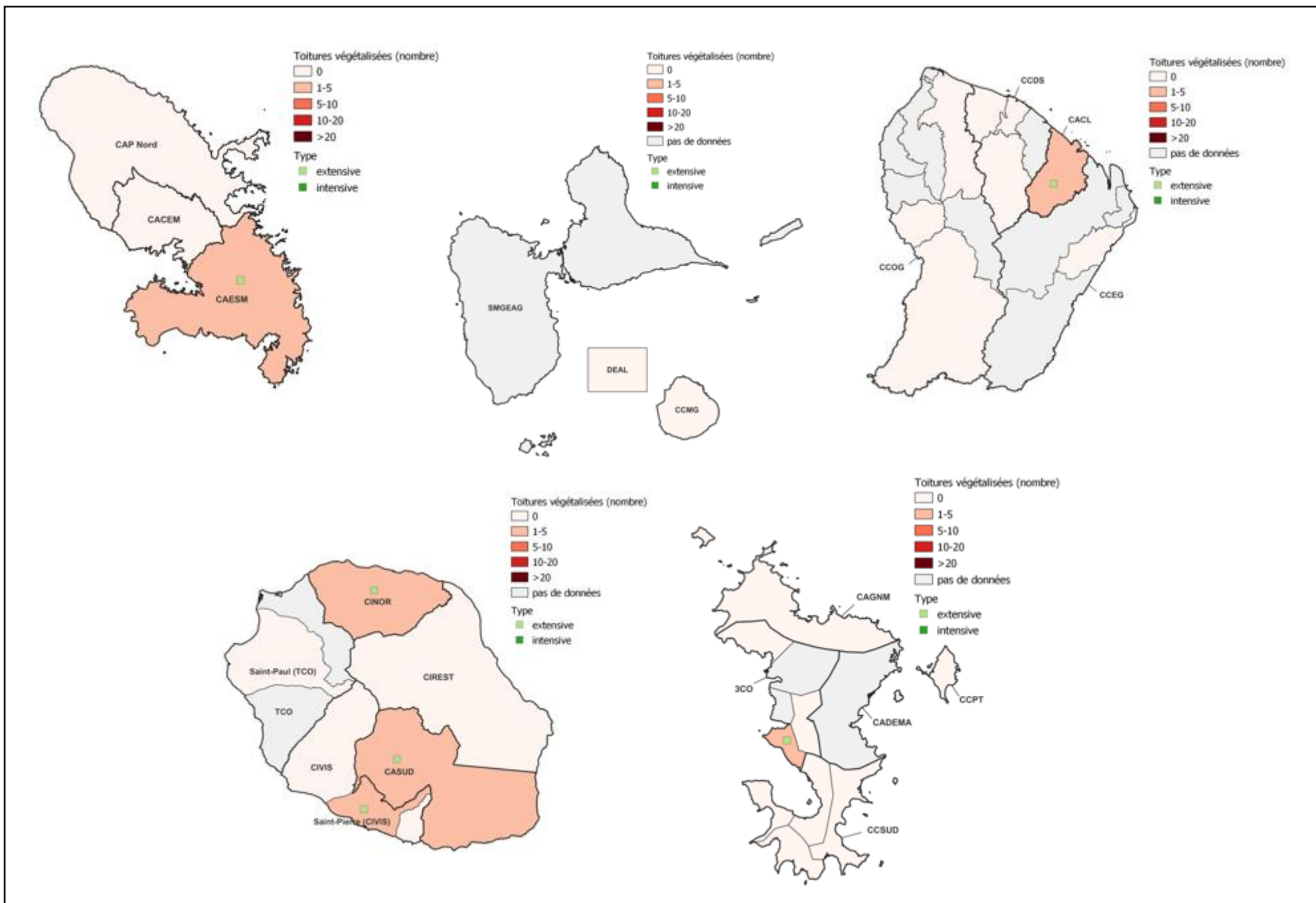


Figure 8 : répartition et types de toitures végétalisées pour chaque territoire (2023).

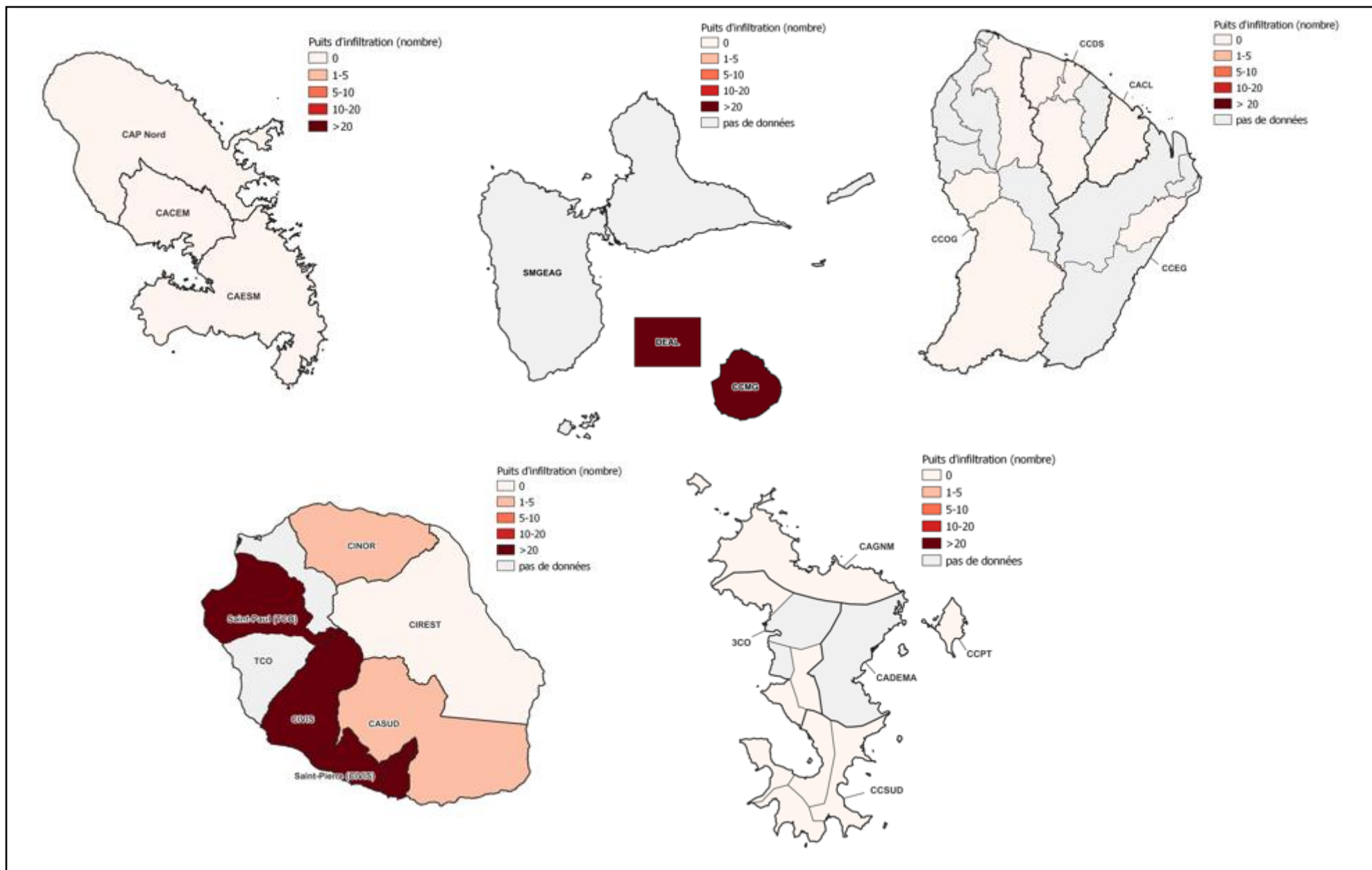


Figure 9 : répartition des ouvrages de type puits d'infiltration pour chaque territoire (2023).

Sur les **5 REX** enregistrés pour ce type de solutions :

- 4 font état d'une **méconnaissance** des ouvrages et de leur fonctionnement en termes de gestion des eaux pluviales (ouvrage récent, récent transfert de compétence, objectif principal de confort thermique) ;
- 1 est **négatif** et mentionne un impact sur la pérennité des ouvrages en béton.

III.2.1.2 Puits d'infiltration

La répartition des solutions de type puits d'infiltration est présentée Figure 9.

Les puits d'infiltration sont présents **uniquement en Guadeloupe et à La Réunion**, mais ils le sont **en proportion notable**. En effet, les acteurs de ces territoires ayant mentionné ce type de solutions indiquent fréquemment un nombre d'ouvrages supérieur à 20.

Une hypothèse pour expliquer la répartition observée des ouvrages de type puits d'infiltration est une nature de sols particulièrement propice à l'infiltration. L'étude de la carte pédologique de La Réunion semble montrer une concordance entre la répartition des sols bruns et des sols bruns andiques et l'implantation de puits d'infiltration (Figure 10).

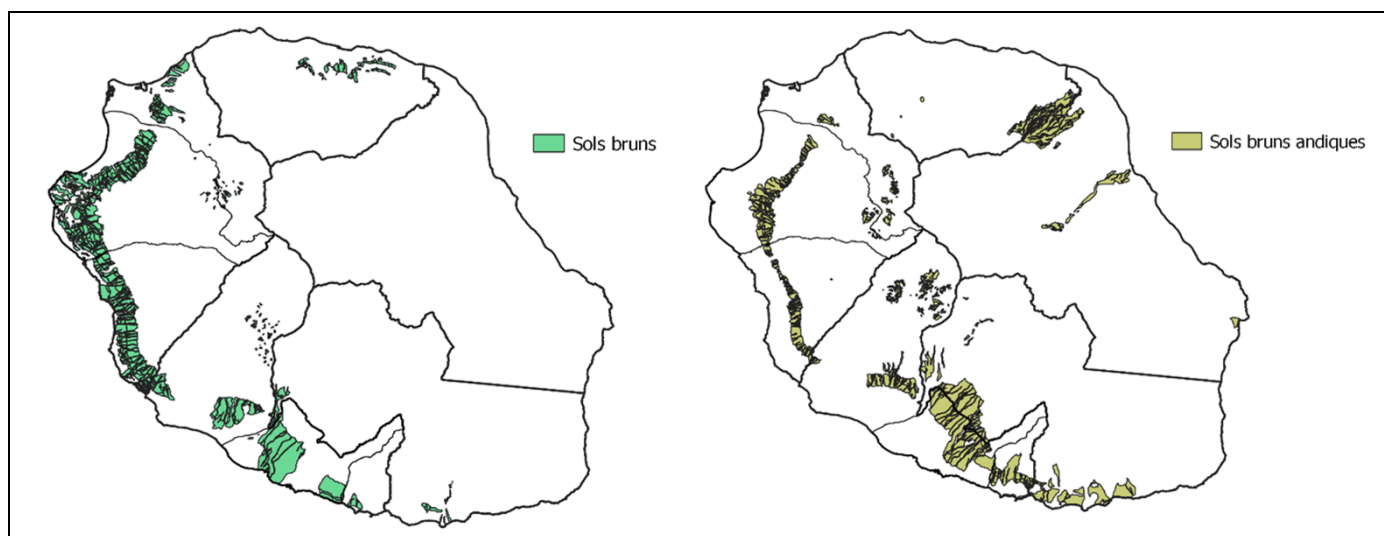


Figure 10 : répartition des sols de type bruns et bruns andiques à La Réunion (extraction à partir de la carte pédologique SIG, source : BRGM).

Sur les **4 REX** recueillis pour ce type de solutions :

- 2 sont **mitigés** (rôle majeur en termes de réduction des problématiques de ruissellement pluvial urbain, performances variables selon la géologie des sols, mauvaises réalisations et pratiques, pas de contrôle lors la réalisation / livraison, difficultés d'entretien) ;
- 1 fait état d'une **méconnaissance** des ouvrages et de leur fonctionnement en termes de gestion des eaux pluviales (récent transfert de compétence) ;
- 1 est de type précision du contexte (choix historique).

III.2.1.3 Bassins secs et en eau

La répartition et la nature des solutions de ce type sont présentées Figure 11.

Les ouvrages de rétention et d'infiltration (bassins ouverts) sont **présents** sans exception **dans les cinq territoires** et il s'agit du troisième type de solutions qui y est le plus représenté numériquement. Cette forte représentativité est relativement surprenante au vu du contexte foncier tendu qui caractérise les différents DROM. Leur **facilité d'implémentation** et leur **capacité à gérer des volumes importants** expliquent potentiellement ce constat. Par ailleurs, les bassins sont peut-être plus facilement identifiables que d'autres solutions de par leur taille et leur désignation peu équivoque.

Les bassins existants sont **aussi bien secs qu'en eau** et aucun participant n'a mentionné de problèmes de moustiques et développement larvaire dans les bassins en eau, contrairement à ce qui pouvait être attendu : Le Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à La Réunion (DEAL Réunion, 2012) attire particulièrement l'attention sur ce risque de nuisance et préconise un entretien régulier des ouvrages situés à moins de 100 m des habitations (tous les 10 jours a minima). Le Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les projets d'aménagements (DEAL Martinique, 2013) recommande l'usage d'un matériau de surface de granulométrie grossière afin d'éviter la stagnation d'eau et donc la création de gîtes de moustiques. Ce même guide suggère de tester l'introduction de *poecilia vivipara*, un poisson friand de larves de moustiques dans les bassins en eau.

Sur les **10 REX** recueillis pour ce type de solutions :

- 5 sont **positifs** (impact positif pour limiter les inondations, permet l'infiltration / tampon des eaux pluviales, permet l'écrtage lors d'épisodes pluvieux intenses mais de courtes périodes) ;
- 2 font état d'une **méconnaissance** des ouvrages et de leur fonctionnement (ouvrages récents, récent transfert de compétence) ;
- 2 sont **mitigés** (sols argileux et nappe proche de la surface, nécessité d'un entretien régulier : débroussaillage, dégagement des végétaux au niveau des surverses, remise en état des clôtures d'accès au bassin, ...) ;
- 1 est de type commentaire (pas assez nombreux).

III.2.1.4 Jardins de pluie et jardinières surélevées

La répartition et la nature des solutions de ce type sont présentées Figure 12.

Les jardins de pluie et jardinières sont **présents dans 4 des 5 territoires enquêtés** (sauf Guadeloupe) en **proportion très variable** : très représentés en Martinique (CACEM), ils le sont moyennement à Mayotte et à La Réunion et quasiment pas en Guyane. Plus représentés que les toitures végétalisées, mais bien moins que les autres solutions, il s'agit du deuxième type de solutions le moins représenté numériquement.

La **majorité** des ouvrages indiqués par les participants sont des **jardins de pluie** bien que quelques jardinières surélevées aient aussi été mentionnées (1 occurrence en Guyane et 1 occurrence à Mayotte).

A noter qu'un jardin de pluie, contrairement à une toiture végétalisée, un bassin ouvert ou encore un puits d'infiltration est généralement plus difficile à identifier de par sa taille réduite, son inclusion au paysage urbain, mais surtout la multitude de formes et de configurations qu'il peut adopter. De ce fait, leur nombre a possiblement été sous-estimé.

Les **3 REX** recueillis sur ce type de solutions sont relatifs à des **jardins de pluie** :

- 1 est **positif** (bonne intégration paysagère et gestion des eaux pluviales satisfaisante) ;
- 1 est **mitigé** mais non détaillé ;

- 1 fait état d'une **méconnaissance** des ouvrages et de leur fonctionnement (pas de visibilité sur les ouvrages réalisés par les particuliers où ces ouvrages sont majoritairement implantés).

III.2.1.5 Noues

La répartition et la nature des solutions de type noues sont présentées Figure 13.

Les noues sont **présentes** sans exception **dans les cinq territoires** et il s'agit du deuxième type de solutions qui y est le plus représenté numériquement. Leur **facilité d'implémentation** et leur **intégration paysagère relativement simple** (bordure de route, de parking, etc.) expliquent plausiblement ce constat.

La **majorité** des noues sont **sèches**. Des noues humides ont aussi été indiquées à Mayotte, La Réunion et surtout en Guyane. Là encore, aucun des participants concernés n'a mentionné de problèmes de moustiques et développement larvaire. Les noues étant des dispositifs peu profonds, la présence observée d'une lame d'eau permanente est peut-être due à un niveau de nappe haut, à des perméabilités très faibles et/ou des inter-événements pluvieux (durées de temps sec) très courts. L'assimilation fréquente de noues à des fossés (dispositifs plus profonds) est aussi une piste d'explication.

Sur les **9 REX** relatifs aux noues :

- 3 sont **positifs** (bonne intégration paysagère et gestion des eaux pluviales satisfaisante) ;
- 2 sont **mitigés** (difficultés d'entretien : nécessité d'un entretien régulier, croissance très rapide de la végétation ; problème d'acceptabilité : végétation incontrôlable, risques de chute voire de noyade pour les riverains) ;
- 4 font état d'une **méconnaissance** des ouvrages et de leur fonctionnement (ouvrages récents, récent transfert de compétence, pas de visibilité sur les ouvrages réalisés par les particuliers).

III.2.1.6 Autres solutions

Les ouvrages de type autres solutions regroupent les dalles gazon, les tranchées drainantes plantées, les arbres de pluie et les bandes végétatives filtrantes. Il s'agit d'ouvrages ponctuels généralement dédiés à la gestion des premiers millimètres de pluie. Leur répartition et leur nature sont présentées Figure 14.

Les solutions catégorisées ici comme autres sont **présentes** sans exception **dans les cinq territoires** et il s'agit du **type de solutions le plus représenté** numériquement.

Les **4 sortes de dispositifs** précités **existent dans les DROM** mais dans des **proportions très variables**. Les **dalles gazon** sont **les plus représentées, suivies des tranchées drainantes plantées**. Les arbres de pluie et les bandes végétatives filtrantes sont peu mentionnés avec respectivement 2 occurrences (La Réunion, Mayotte) et 1 occurrence (Guadeloupe). L'inclusion paysagère des arbres de pluie et des bandes végétatives filtrantes les rend peut-être plus difficiles à identifier que les dalles gazon ou les tranchées drainantes plantées ce qui explique potentiellement ce constat.

Sur les **6 REX** relatifs aux **dalles gazon** :

- 2 sont **positifs** (gestion satisfaisante des petites pluies) ;
- 3 sont **mitigés** (inefficacité face à des pluies extrêmes, colmatage rapide, problème d'acceptabilité : sols boueux, mauvaises pratiques et réalisations : implantation en pente, dalle remplie de gravillons réduisant significativement sa perméabilité) ;
- 1 est de type commentaire (solution mise en avant pour le stationnement).

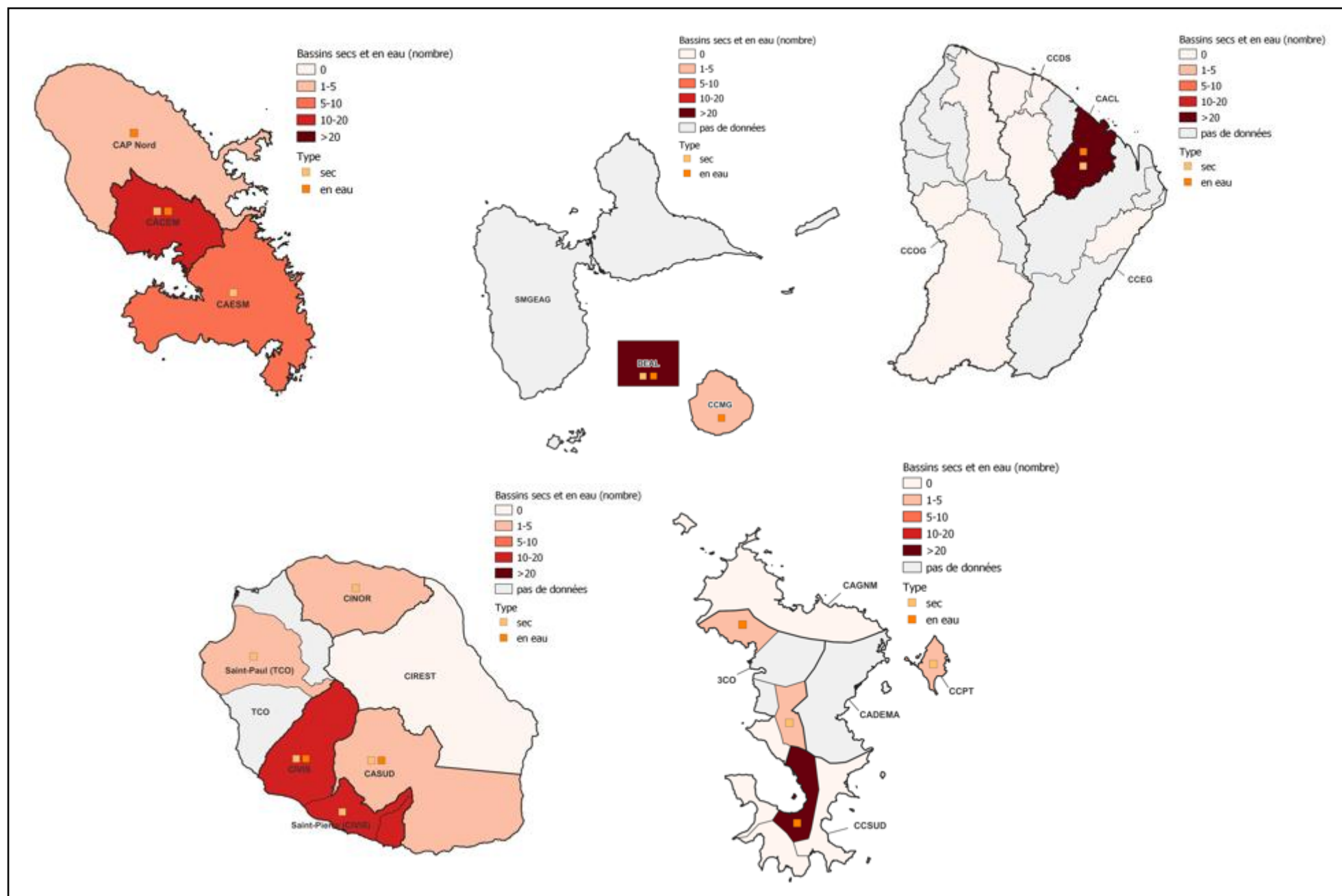


Figure 11 : répartition et types de bassins de surface pour chaque territoire (2023).

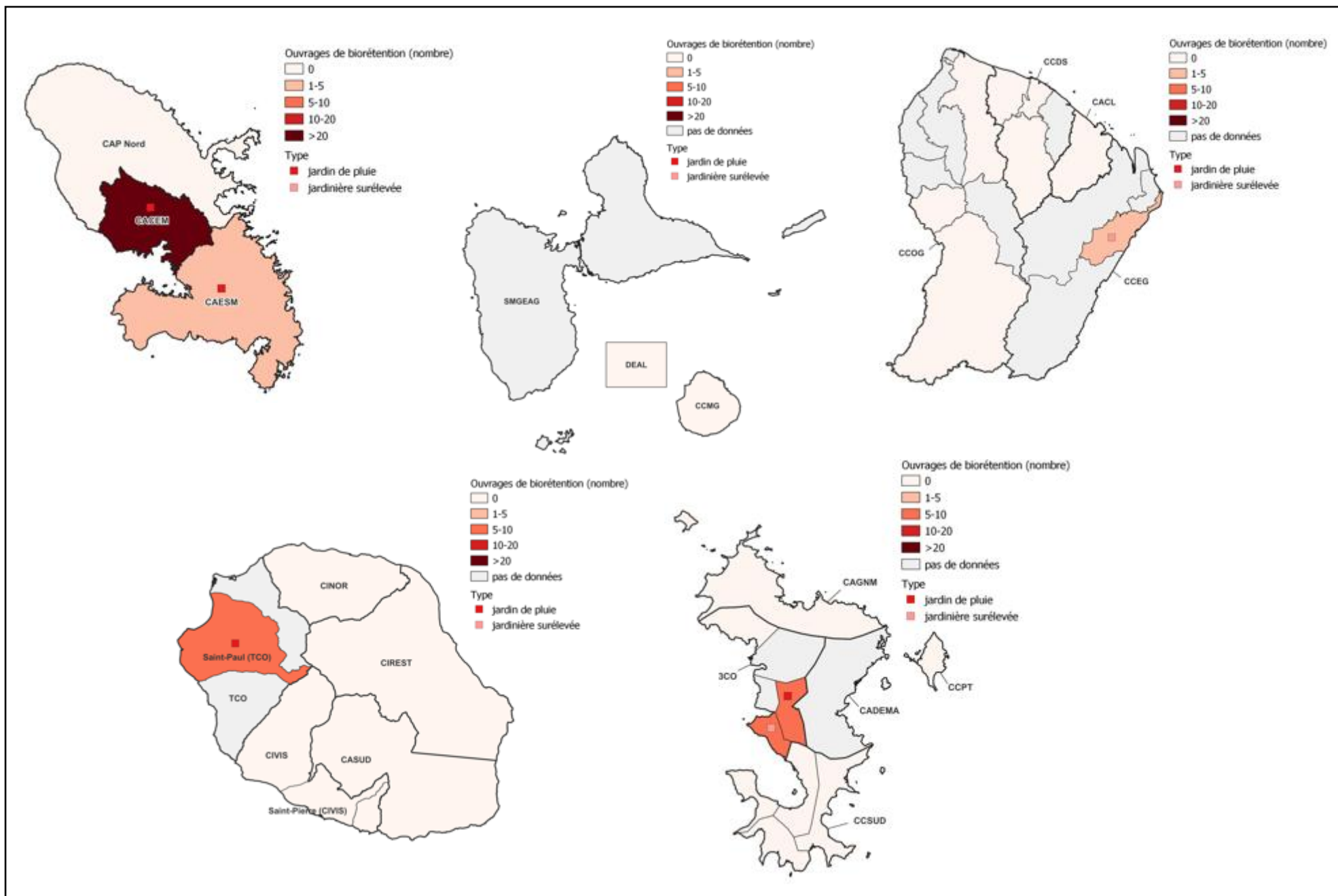


Figure 12 : répartition et types d'ouvrages de biorétention pour chaque territoire (2023).

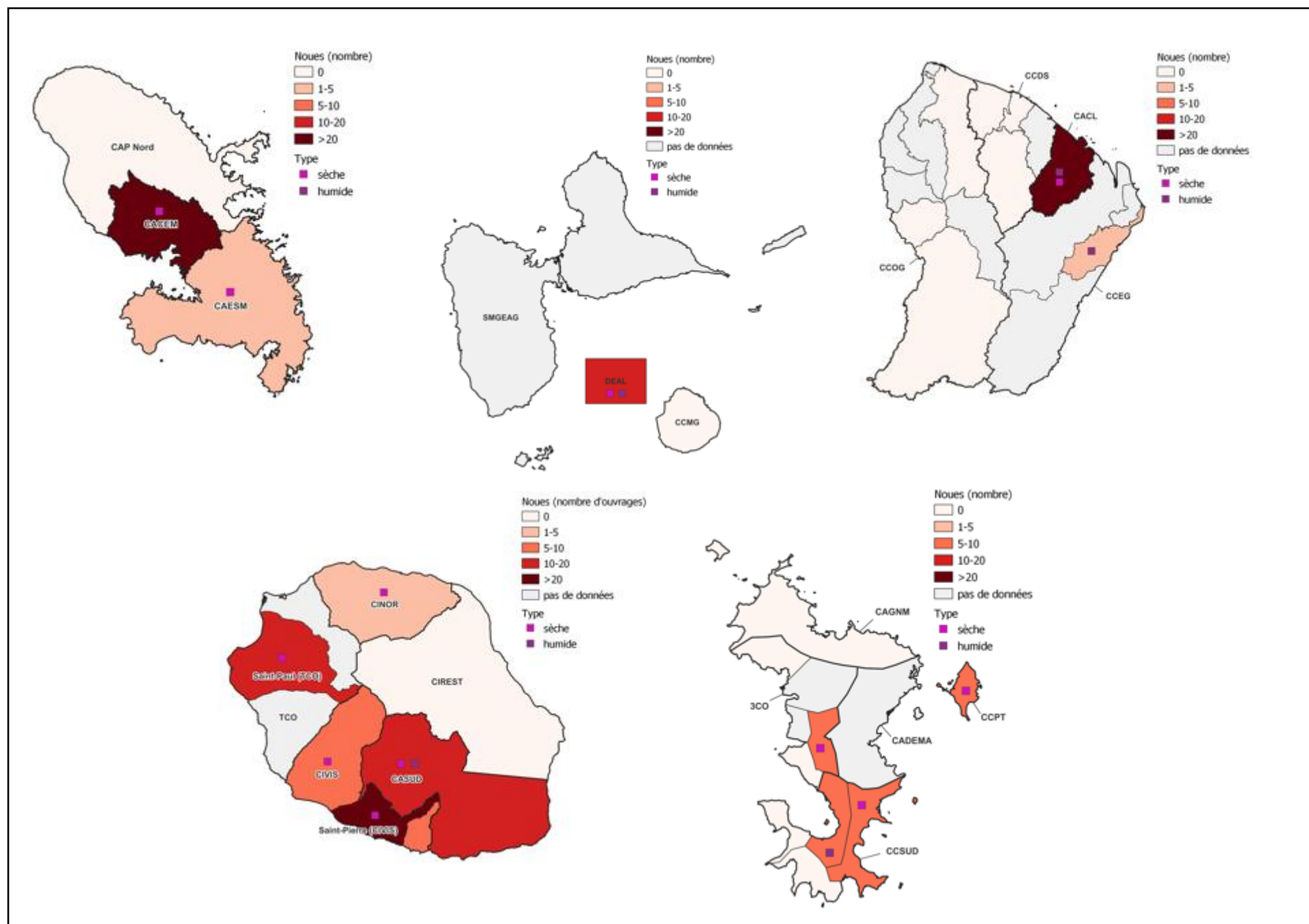


Figure 13 : répartition et types de noues pour chaque territoire (2023).

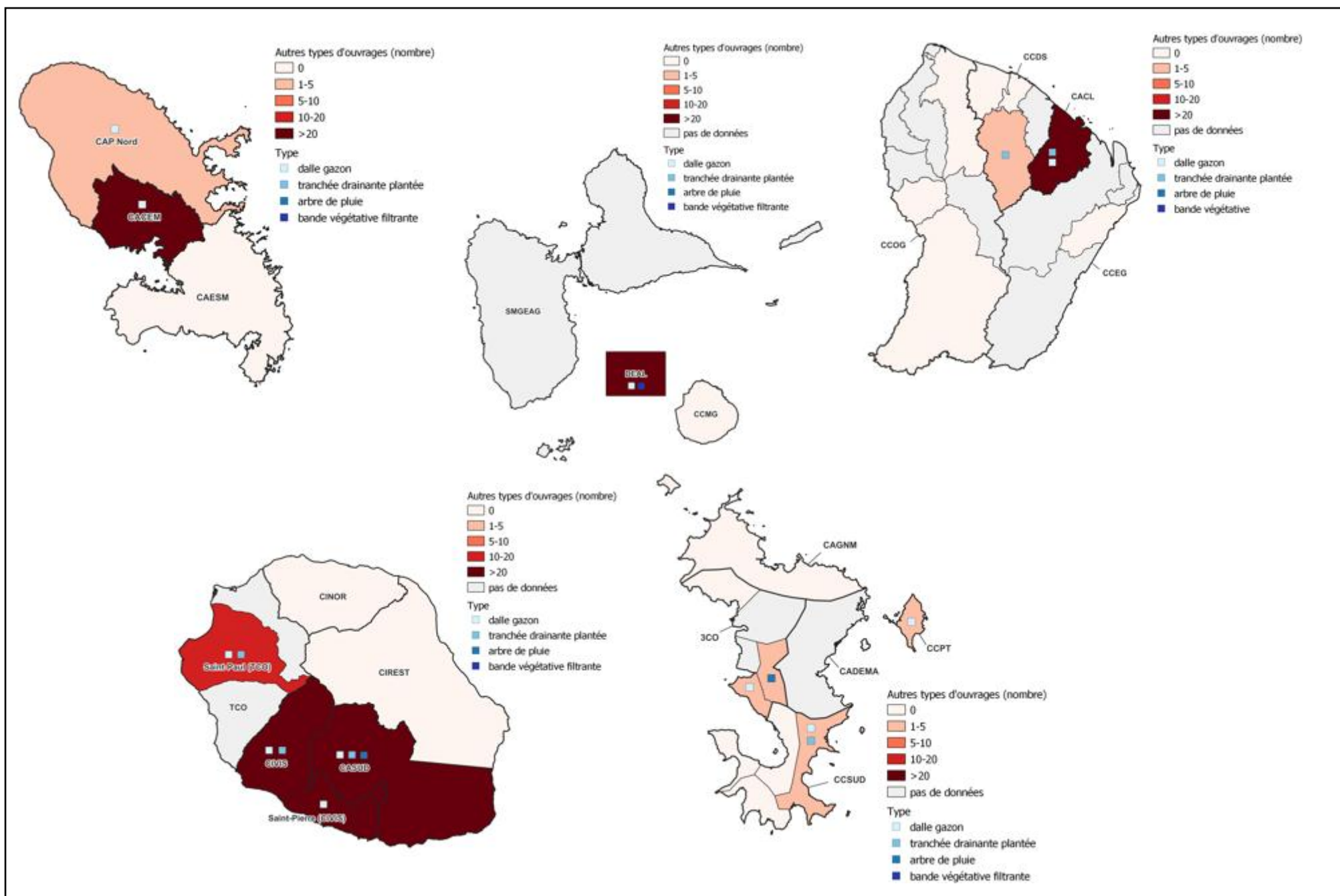


Figure 14 : répartition des ouvrages de type « autres » pour chaque territoire (2023).

Sur les **4 REX** enregistrés pour les **tranchées drainantes plantées** :

- 3 sont **mitigés** et relativement exhaustifs (difficultés d'entretien, végétation possiblement inadaptée, inefficacité face à des pluies extrêmes, nature des sols non propices à l'infiltration et nécessité d'un drain en fond d'ouvrage dont le coût est prohibitif, mauvaises pratiques : pas de concertation avec les services d'entretien) ;
- 1 fait état d'une **méconnaissance** des ouvrages et de leur fonctionnement (ouvrages récents).

Aucun REX n'a été recueilli sur les **arbres de pluie** et les **bandes végétatives filtrantes** lors de cette enquête.

III.2.2 Synthèse

Les résultats de l'enquête menée apportent un premier éclairage sur la gestion des eaux pluviales à la source par des solutions fondées sur la nature dans les territoires ultramarins. L'enquête a été réalisée en 2023. Il est donc possible que les informations présentées aient légèrement évolué. Toutefois, la globalité de l'état des lieux reste vraisemblablement valable.

La répartition géographique des solutions et leur type varient selon les territoires. Certaines solutions sont présentes sur les cinq territoires enquêtés en proportions parfois inégales (bassins secs et en eau, noues, dalles gazon, tranchées drainantes plantées). D'autres sont très répandues dans certains territoires et quasi absentes des autres (puits d'infiltration). D'autres encore s'avèrent très peu plébiscitées sur l'ensemble des territoires considérés (toitures végétalisées).

La terminologie parfois équivoque dans le domaine car en phase de construction (Chocat *et al.*, 2022) et le public interrogé (gestionnaires publics en très grande majorité) ont pu induire une sous-estimation de la représentation de certaines solutions. Il s'agit là d'une limite qu'il est important de considérer mais qui ne dévalue pas pour autant l'intérêt des résultats obtenus.

Si dans l'enquête, chaque solution a été considérée et questionnée indépendamment, il est à noter qu'en termes de gestion à la source des eaux pluviales, une solution se suffit rarement à elle-même pour gérer l'ensemble des eaux générées par un aménagement ou un bassin versant au sein d'un aménagement. Les solutions sont combinatoires et la gestion des eaux pluviales engendrées par une installation mobilise très souvent plusieurs dispositifs.

Un exemple qui peut être donné pour illustrer ce propos est celui du Carrefour Génipa (Martinique, site visité en 2022). Pour gérer l'intégralité des eaux pluviales issues de la zone commerciale (bâtiments et parking), quatre types de solutions ont été déployées : des arbres de pluie, des noues enherbées et plantées, deux bassins d'infiltration et un bassin tampon. Les arbres de pluie et les noues sur les parkings sont alimentés directement par le ruissellement du parking et gèrent les premiers millimètres de pluie (Figure 15, gauche) ; les bassins d'infiltrations collectent les eaux des toitures et l'excédent du parking grâce à la présence de discontinuités dans les bordures de trottoirs (Figure 15, droite) ; tandis que le bassin tampon stocke en cas de forte pluie avant de restituer à l'un des deux bassins d'infiltration.

Un autre exemple est celui du site de la Volière qui a été instrumenté à La Réunion (Favreau *et al.*, 2024). Les eaux issues de chaque bassin versant de l'aménagement mobilisent différentes solutions. Par exemple : une dépression végétalisée qui surverse dans un puits d'infiltration en cas de fortes pluies, ou des tranchées drainantes qui alimentent une chaussée réservoir, elle-même en lien avec un puits d'infiltration où elle surverse en cas de pluies intenses.

Les **retours d'expérience** consignés lors de l'enquête retranscrivent bien les **problématiques spécifiques au domaine de la gestion à la source des eaux pluviales** (méconnaissance patrimoniale du fait de la récente prise de compétence, changement de paradigme relativement récent dont la mise œuvre opérationnelle reste parfois difficile, etc.), mais ont également soulignés des **difficultés propres au contexte ultramarin** (climat, sols, végétation, isolement géographique).



Figure 15 : photographies de dispositifs de gestion des eaux pluviales implantés sur le site du Carrefour Génipa (Martinique).

A gauche : noue enherbée alimentée par le ruissellement du parking. A droite : discontinuités dans la bordure de trottoir permettant l'alimentation de l'une des surfaces d'infiltration par ruissellement direct.

IV. Simulations

IV.1 Méthodologie

Objectif

L'objectif des simulations qui ont été réalisées était d'explorer l'impact des conditions climatiques tropicales (pluviométrie et évapotranspiration) sur le dimensionnement des solutions de gestion à la source par stockage / infiltration afin d'apporter un premier éclairage à la question posée en introduction : en quoi les caractéristiques pédologiques, climatiques ainsi que les espèces végétales locales peuvent modifier les dimensionnements et la gestion de ces solutions ?

Choix de la solution de gestion à la source

Il a été choisi de simuler le fonctionnement hydraulique d'une noue.

Une noue, telle que définit dans l'article de Chocat *et al.* (2022), est « un fossé large et peu profond, généralement végétalisé, susceptible de stocker, et/ou transporter et/ou d'infiltrer les eaux de pluie de surface. » Une noue se distingue d'une dépression par son aspect linéaire (Chocat *et al.*, 2022). Les résultats de l'enquête ont montré qu'il s'agit d'une solution très répandue dans les territoires d'Outre-Mer, ce qui rejoint le constat de l'enquête réalisée en 2024 sur le sol hexagonal (Girod *et al.*, 2024).

Dans notre cas, la noue simulée permet uniquement de stocker et d'infiltrer les eaux de pluie de surface. Elle ne permet pas le transit vers une autre solution de gestion des eaux pluviales (pas de transport). La noue est alimentée par le ruissellement d'une surface imperméable (parking).

L'étendue de la surface imperméable (surface drainée) a toujours été prise égale à 100 m². La surface de la noue en revanche variait entre 1 et 10 m² selon les simulations afin d'avoir un ratio surface de noue/surface d'ouvrage allant de 1 à 10 %. Plusieurs valeurs de perméabilités ont également été considérées, l'objectif *in fine* étant d'aboutir à des abaques indiquant l'abattement hydraulique atteint par la noue et le temps en eau de la noue pour différents ratios surface de noue/surface d'ouvrage et différentes perméabilités. Les valeurs de Ks testées fluctuent entre 0,36 mm/h et 36 mm/h, soit 1,00e⁻⁷ m/s et 1,00e⁻⁵ m/s, afin de représenter la diversité des perméabilités possibles sur les différents territoires.

Choix des données climatiques et des villes

Les simulations ont été réalisées sur la base de chroniques de pluies et d'évapotranspiration (données d'entrée des simulations) obtenues auprès de Météo-France¹⁰ sur la période du 1^{er} janvier 2020 au 31 décembre 2022. Au total, sept chroniques ont été considérées : une sur chacun des territoires étudiés (5 villes) et deux sur le territoire hexagonal (2 villes).

Les sept villes ont été sélectionnées sur la base de deux critères : une forte densité urbaine (induisant vraisemblablement une forte imperméabilisation) et la qualité des données météo disponibles (pluviométrie au pas de temps 6 min et évapotranspiration quotidienne).

Les simulations ont ainsi été réalisées pour les villes suivantes :

- Les Abymes (Guadeloupe) : poste 97101015 ;
- Le Lamentin (Martinique) : poste 97213004 ;
- Cayenne (Guyane) : poste 97302005 ;
- Le Port (La Réunion) : poste 97407520 ;
- Dzaoudzi (Mayotte) : poste 98508001 ;
- Paris (Ile de France) : poste 75114001 ;
- Lyon (Rhône) : poste 69029001.

Les choix faits sont discutables, particulièrement celui du Port à La Réunion puisque cette ville abrite un des climats les plus secs de l'île. Dans tous les cas, la nécessité de réduire un territoire à une ville d'étude induisait inmanquablement un biais mais ils permettent de se rendre compte de la diversité des cas possibles sur ces territoires. En conséquence, il est important de souligner que les résultats obtenus pour une ville ne peuvent être généralisés à l'ensemble du territoire à laquelle cette ville appartient.

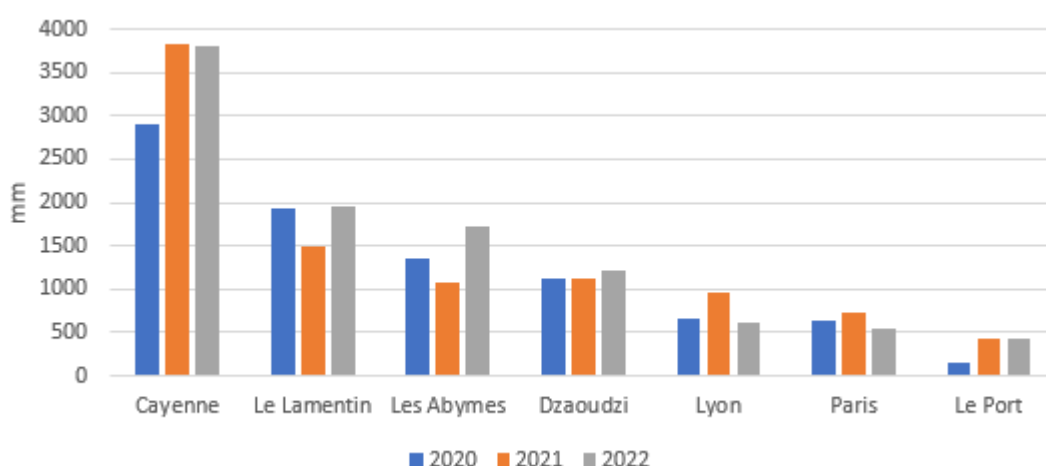


Figure 17 : cumuls pluviométriques annuels enregistrés dans chacune des villes retenues pour les simulations (2020, 2021, 2022).

Source de données : Météo-France (postes 97407520, 97101015, 97213004, 97302005, 98508001, 75114001 et 69029001).

La Figure 16 présente les cumuls pluviométriques annuels observés dans chacune des villes d'intérêt

¹⁰ L'ouverture des données Météo-France date du 1^{er} janvier 2024.

pour les années 2020, 2021 et 2022. Elle met en évidence les fortes disparités au sein du jeu de données avec Cayenne qui atteint des cumuls 4 fois supérieurs en moyenne à ceux observés sur le sol hexagonal. Le Lamentin, Les Abymes et Dzaoudzi affichent des cumuls certes la moitié moindre que ceux de Cayenne, mais qui correspondent néanmoins au double de ceux enregistrés à Paris et Lyon, tandis que Le Port enregistre les plus faibles cumuls.

La Figure 17 indique le nombre de jours avec évènement pluvieux (c.-à-d. avec enregistrement d'une pluviométrie non nulle) sur la période d'étude pour chaque ville. Il est intéressant de constater que les évènements pluvieux à Dzaoudzi sont moins fréquents qu'à Paris par exemple, mais au vu des cumuls enregistrés, sont plus intenses. De même, Cayenne arrive derrière Le Lamentin en termes de nombre de jours avec évènements pluvieux laissant présager des épisodes pluvieux très intenses.

La répartition des courbes de percentiles pour les intensités de pluie non nulles (mm/h) observées entre janvier 2020 et décembre 2022 pour les 7 villes d'intérêt (Figure 18) met bien évidence un écart de répartition avec beaucoup de très fortes pluies à Cayenne et Dzaoudzi, et un peu plus de fortes pluies au Lamentin, aux Abymes et au Port qu'à Paris.

Les villes du jeu de données se distinguent ainsi en termes de cumuls observés et d'intensités pluvieuses. Les dynamiques pluvieuses de Cayenne, du Lamentin, des Abymes, de Dzaoudzi et du Port se différencient par ailleurs de celles observées à Lyon ou Paris du fait de leur saisonnalité : au lieu de quatre saisons, ces territoires transitent annuellement par deux saisons, l'une sèche et l'autre généralement dite « des pluies » lors de laquelle les pluies sont plus fréquentes et intenses.

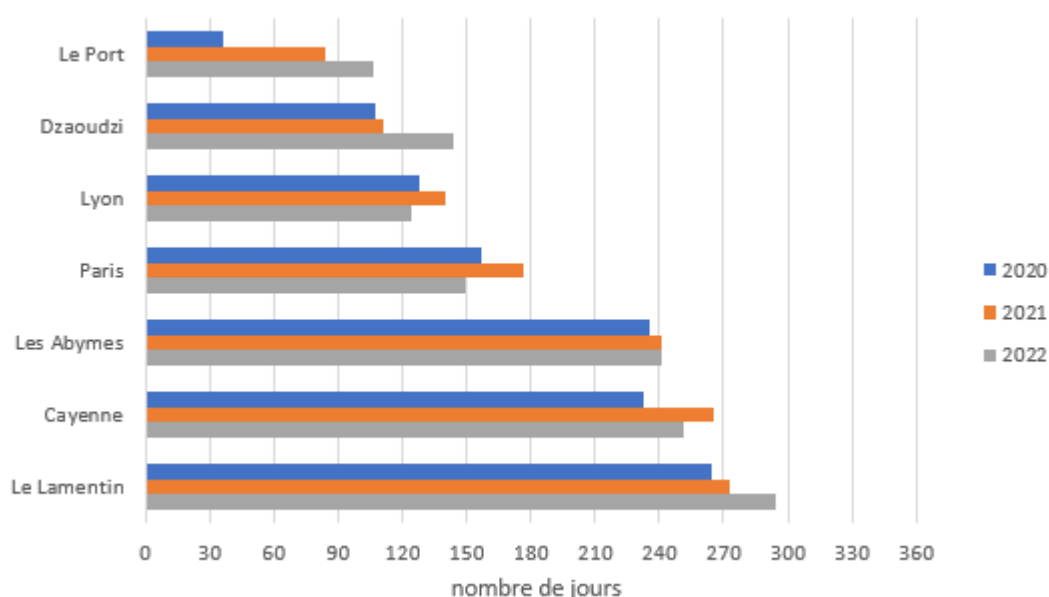


Figure 18 : nombre de jours avec évènement pluvieux pour chacune des 7 villes (2020, 2021, 2022).

Source de données : Météo-France (postes 97407520, 97101015, 97213004, 97302005, 98508001, 75114001 et 69029001).

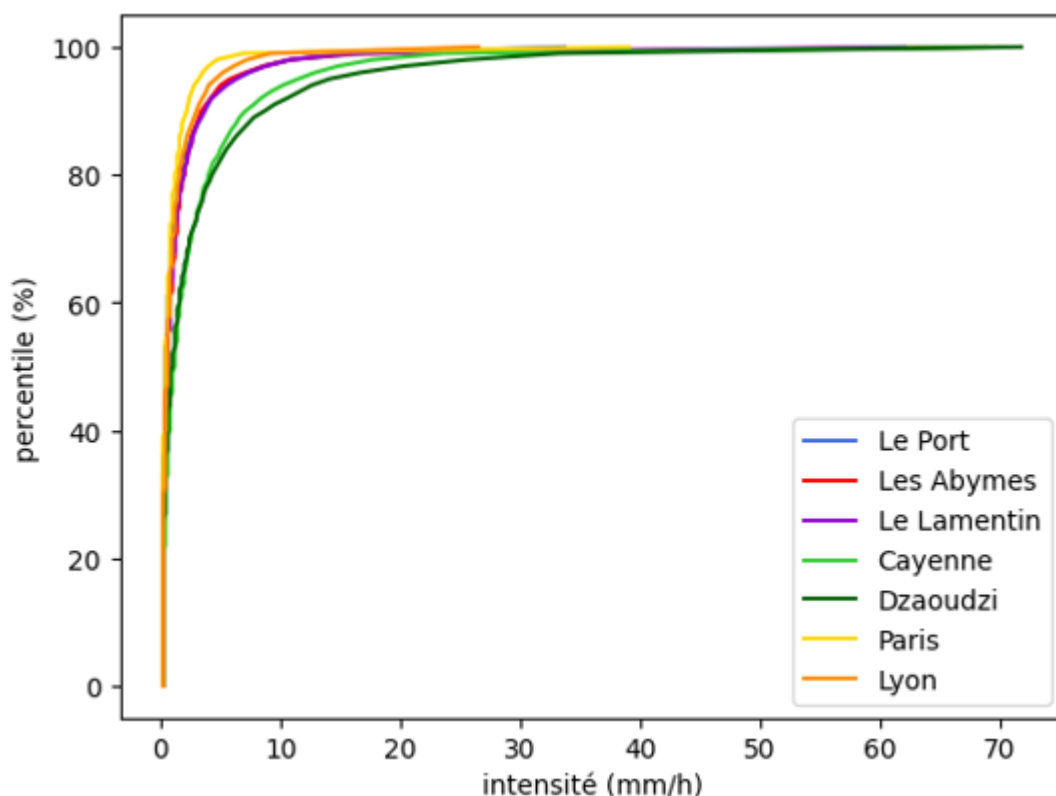


Figure 19 : courbes de percentiles des intensités de pluie non nulles (mm/h) entre janvier 2020 et décembre 2022 pour les 7 villes d'intérêt (en considérant un pas de temps de 1h).

Source de données : Météo-France (postes 97407520, 97101015, 97213004, 97302005, 98508001, 75114001 et 69029001).

Représentation de la noue alimentée par le parking dans URBIS

Le logiciel URBIS propose de modéliser une noue comme une entité de stockage. Plusieurs paramètres permettent de la définir : sa surface, son périmètre, son indice de vide, sa profondeur, sa perméabilité et les modalités d'infiltration (parois et/ou fond).

Pour l'ensemble des simulations : la profondeur a été fixée à 700 mm, l'indice de vide à 0,95 et l'infiltration a été définie comme se faisant par les parois et le fond de la noue. La surface, le périmètre et la perméabilité étaient eux variables.

Les paramètres dits « paramètres avancés » ont été laissés aux valeurs par défaut :

- hauteur d'eau initiale dans la noue : 0 mm ;
- capacité maximale du sol : 0,3 ;
- teneur en eau résiduelle du sol : 0,05 ;
- pression de succion : 50 mm.

Les trois derniers paramètres cités correspondent aux paramètres de l'équation de Green-Ampt qui permet de modéliser le phénomène d'infiltration ayant lieu au fond et sur les parois de la noue.

La quantité d'eau stockée dans la noue est, elle, évaluée par un bilan de masse (Sandron *et al.*, 2020).

La quantité d'eau évaporée est estimée à partir du flux évapotranspiré sur la base de l'équation fournie par l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture¹¹ (FAO), en considérant un Kp (pan coefficient) de 0,7¹².

¹¹ Eq. 55 : <https://www.fao.org/4/X0490E/x0490e08.htm> (dernière consultation le 06-12-2024)

¹² La prise en compte de l'évaporation n'est pas mentionnée dans Sandron *et al.* (2020). Les informations ici indiquées ont été obtenues lors d'un échange de mail avec les auteurs (S. Sandoval et J-L Bertrand-Krajewski) en octobre 2023.

La surverse est, quant à elle, imposée par la profondeur de la noue qui correspond à la hauteur d'eau maximale dans l'ouvrage (Sandron *et al.*, 2020).

L'évaluation faite de l'ouvrage est donc strictement quantitative (hydraulique), et non qualitative (pollution).

Le parking alimentant la noue est lui modélisé comme une surface imperméable d'une surface de 100 m². Le logiciel URBIS considère, pour les surfaces imperméables, que le débit d'écoulement correspond au débit entrant en se basant sur l'hypothèse que les surfaces sont suffisamment petites pour négliger l'atténuation et le retard du débit ruisselé (Sandron *et al.*, 2020).

Le débit de ruissellement du parking est relié à la noue en considérant un temps de transfert nul.

En tenant compte des spécifications du système définies par l'utilisateur et sur la base d'une chronique de pluies, URBIS simule le comportement du système sur la période de la chronique. En sortie, il est possible d'avoir accès à différentes grandeurs pour chaque élément du système. Par exemple, pour la noue simulée : le volume de pluie directement accueilli, le volume amont (volume ruisselé du parking), le volume évaporé, le volume surversé, le volume infiltré et le volume final stocké. L'abattement hydraulique est également indiqué. Il est calculé selon l'Équation 1.

$$\text{abattement hydraulique } [\%] = \left(1 - \frac{V_{\text{surverse}}}{V_{\text{pluie}} + V_{\text{amont}}} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

A l'issue de la simulation, des chroniques sont également mises à disposition de l'utilisateur. A chaque pas de temps, sont connus : la pluie, l'évaporation réelle, le volume amont, la surverse, l'infiltration et le niveau d'eau dans la noue.

Méthodologie d'obtention et de tracé des abaques

Pour chaque chronique, 6 couples surface/périmètre ont été testés (Tableau 4), et pour chacun, 13 perméabilités différentes ont été tour à tour considérées : 0,36, 0,72, 1,08, 1,44, 2,16, 2,88, 3,60, 7,20, 10,8, 14,4, 21,6, 28,8, 36,0 mm/h.

A l'issue de chaque simulation, l'abattement hydraulique a été conservé et intégré à la matrice de résultats d'abattement hydraulique de la ville concernée.

Tableau 4 : synthèse des couples surface/périmètre utilisés pour les simulations.

Ratio (%)	1	2	4	6	8	10
Périmètre (m)	4	6	10	14	18	22

Le temps en eau de la noue sur la période d'étude a été estimé pour chaque cas simulé sur la base des chroniques de niveau d'eau fournies par URBIS en sortie de simulation. En particulier, la chronique de niveau d'eau a été filtrée de sorte à extraire les valeurs non nulles (noue en eau). Le temps en eau a ensuite été calculé selon l'Équation 2. L'ensemble des valeurs obtenues pour chaque ville a été consigné dans une matrice de structure similaire à celle des résultats d'abattement hydraulique.

$$\text{temps en eau } [\%] = \frac{\text{nombre de valeurs non nulles}}{\text{nombre total de valeurs}} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Un script R a ensuite permis d'obtenir les abaques présentés dans la partie IV.1.1.

Méthodologie d'obtention et de tracé des courbes de percentiles

Sur la base des chroniques obtenues, des courbes de percentiles ont été tracées pour étayer la discussion. Deux grandeurs ont été examinées : le niveau d'eau dans la noue et les durées en eau observées. Ce travail a été réalisé pour chaque ville, mais uniquement pour un ratio de surfaces (6 %)

et une perméabilité ($2,0\text{e}^{-6}$ m/s) et non pour l'ensemble des couples simulés.

Le niveau dans la noue était directement accessible sous forme de chronique en sortie de simulation URBIS. Le calcul de l'ensemble des percentiles (de 0 à 100) caractérisant cette chronique et le tracé des courbes ont été réalisés avec un script Python.

A partir des chroniques de niveau d'eau, les différentes périodes en eau ont pu être identifiées (périodes avec un niveau d'eau non nul comprises entre deux périodes à sec) et leurs durées ont été déterminées. L'ensemble des durées, ici dites durées en eau, constitue un échantillon dont l'ensemble des percentiles (de 0 à 100) a été calculé puis les courbes correspondantes ont été tracées, le tout à l'aide d'un script Python.

Les courbes de percentiles obtenues sont présentées dans la partie IV.1.2.

IV.1 Résultats

IV.1.1 Abaques

Les abaques obtenus, aussi bien celui d'abattement hydraulique que celui du temps en eau, sont présentés pour chaque ville. Pour mieux en discuter, deux exemples ont été mis en évidence sur les différents abaques.

L'exemple 1 considère une perméabilité de $3,0\text{e}^{-6}$ m/s et un objectif d'abattement hydraulique de 80 %. Pour l'exemple 2, la perméabilité et l'objectif d'abattement considérés sont plus faibles : $3,0\text{e}^{-7}$ m/s et 60 %.

La perméabilité et l'objectif d'abattement permettent, par lecture de l'abaque abattement hydraulique (avec un dégradé de vert), l'identification du ratio de surfaces requis pour assurer la performance visée. La lecture de l'abaque temps en eau (dégradé de rouge) en considérant en entrées le ratio de surfaces identifié et la perméabilité permet de déterminer le temps en eau de la noue dans ces conditions. Les flèches et les points noirs se réfèrent à l'exemple 1 ; ceux en violets à l'exemple 2.

Les Figures 19 à 32 présentent les différents abaques pour l'ensemble des lieux sélectionnés. Ces abaques sont propres à la noue simulée et ne constituent pas une base de dimensionnement pour des solutions de type stockage / infiltration.

Paris

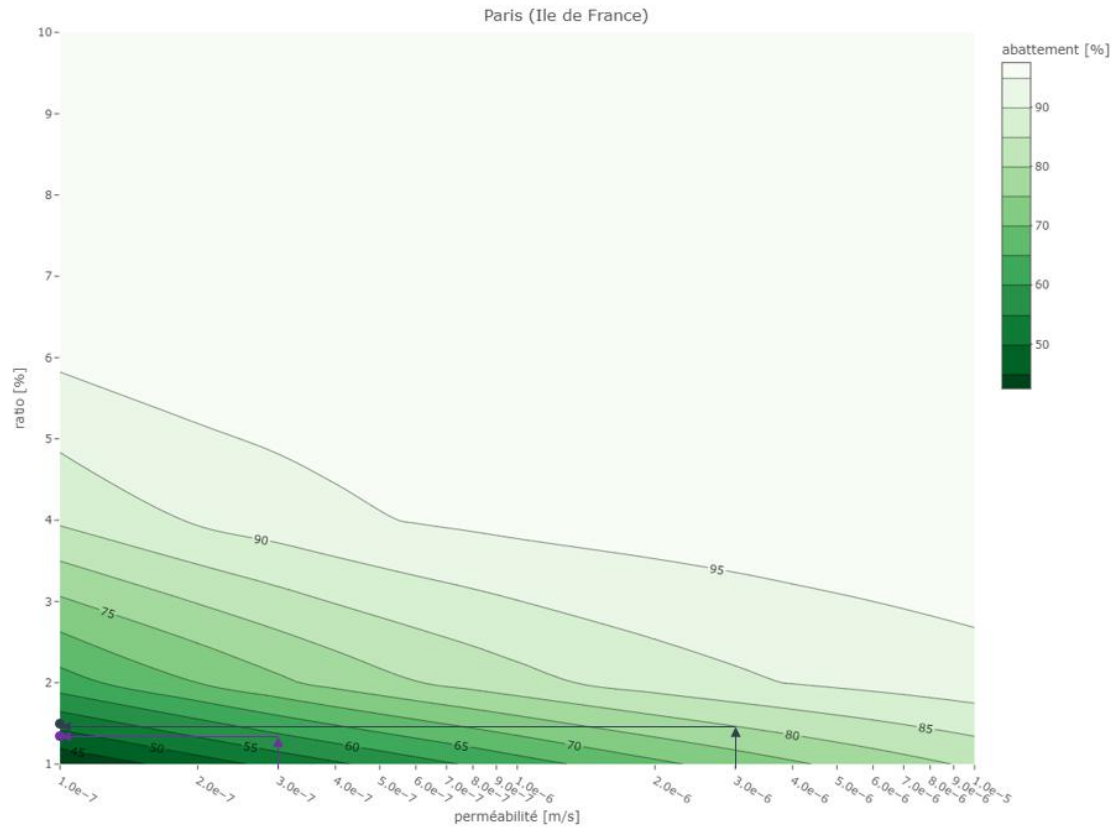


Figure 20 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte hexagonal (Paris,2020-2022).

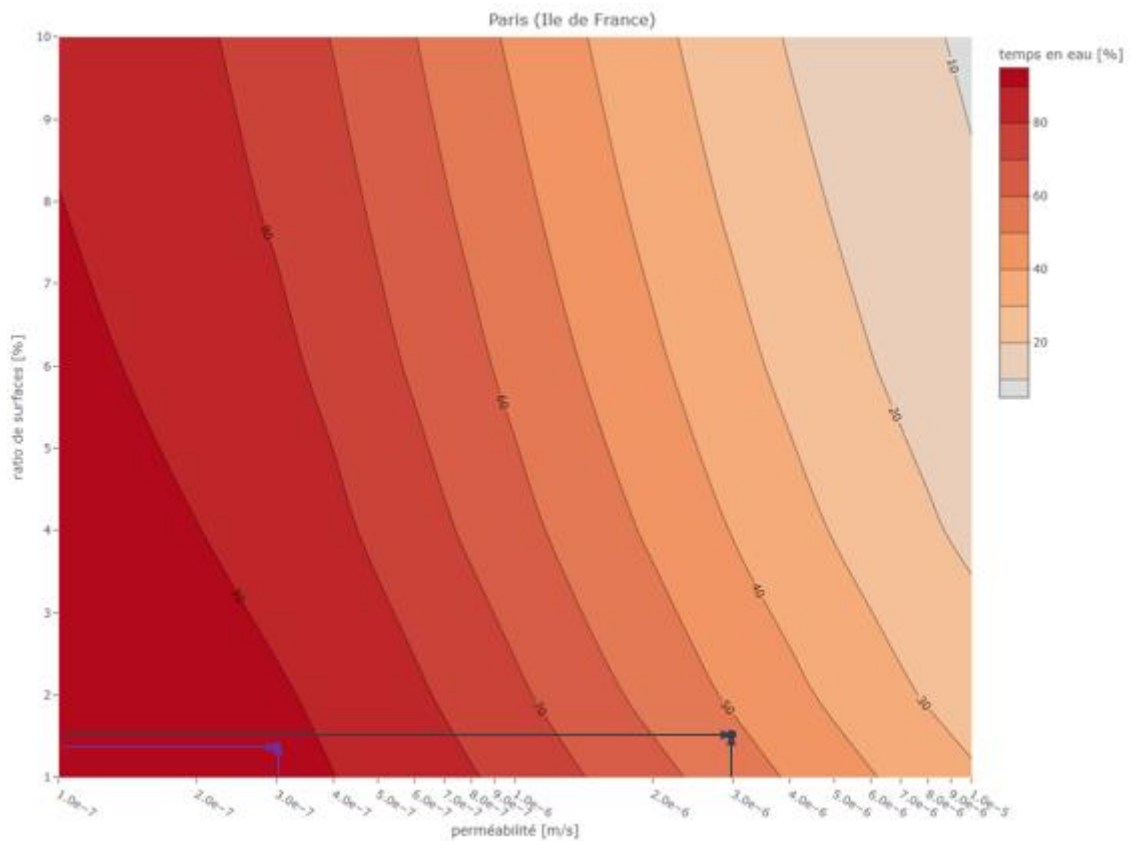


Figure 21 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte hexagonal (Paris, 2020-2022).

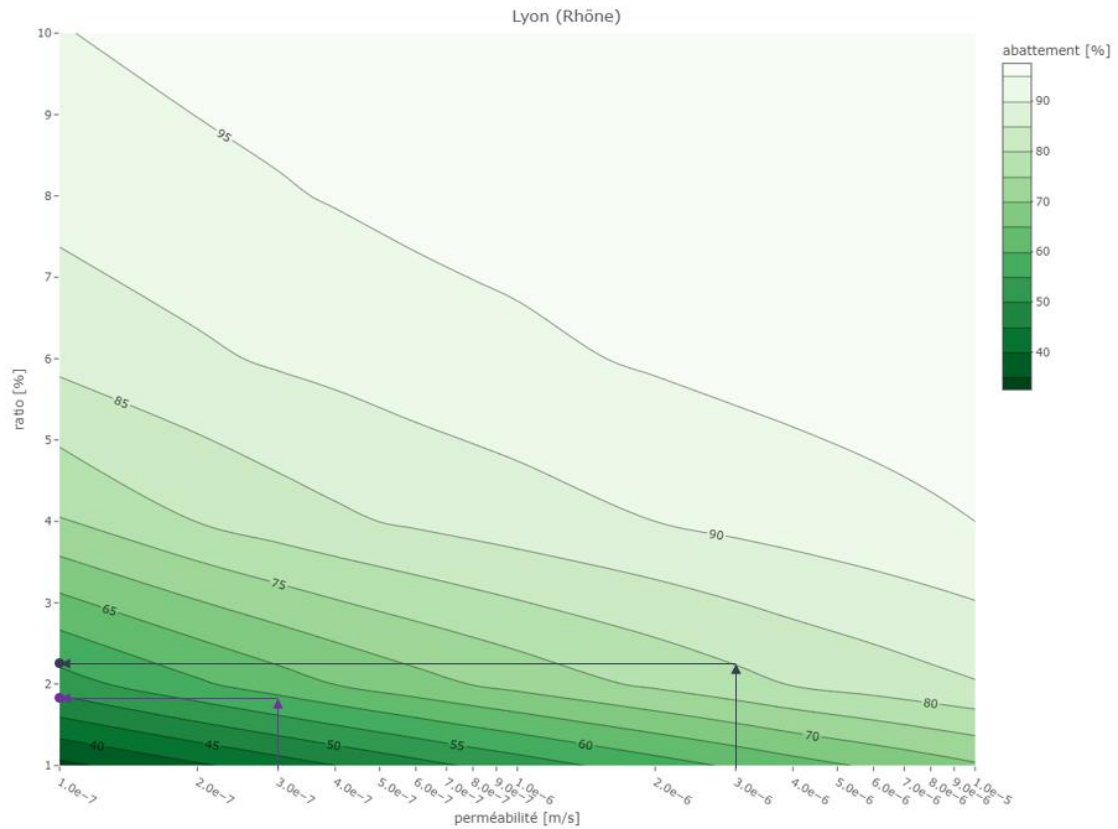


Figure 22 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte hexagonal (Lyon, 2020-2022).

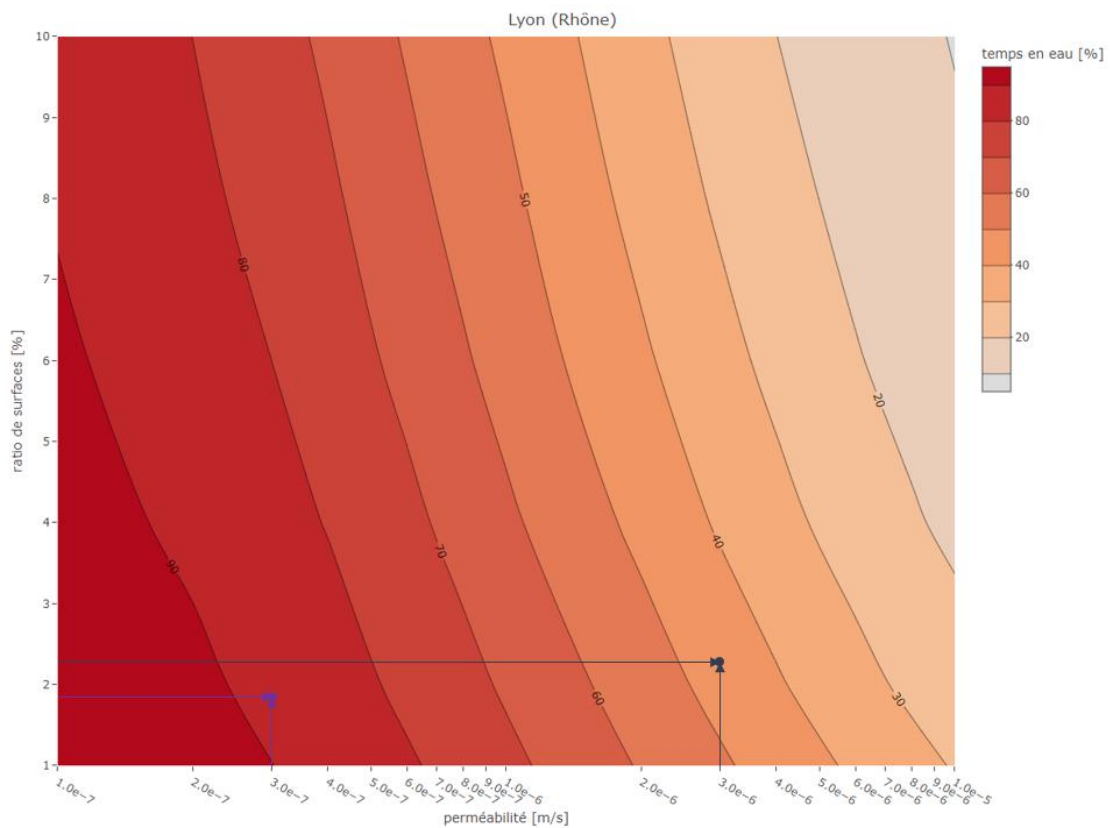


Figure 23 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte hexagonal (Lyon, 2020-2022).

Les Abymes (Guadeloupe)

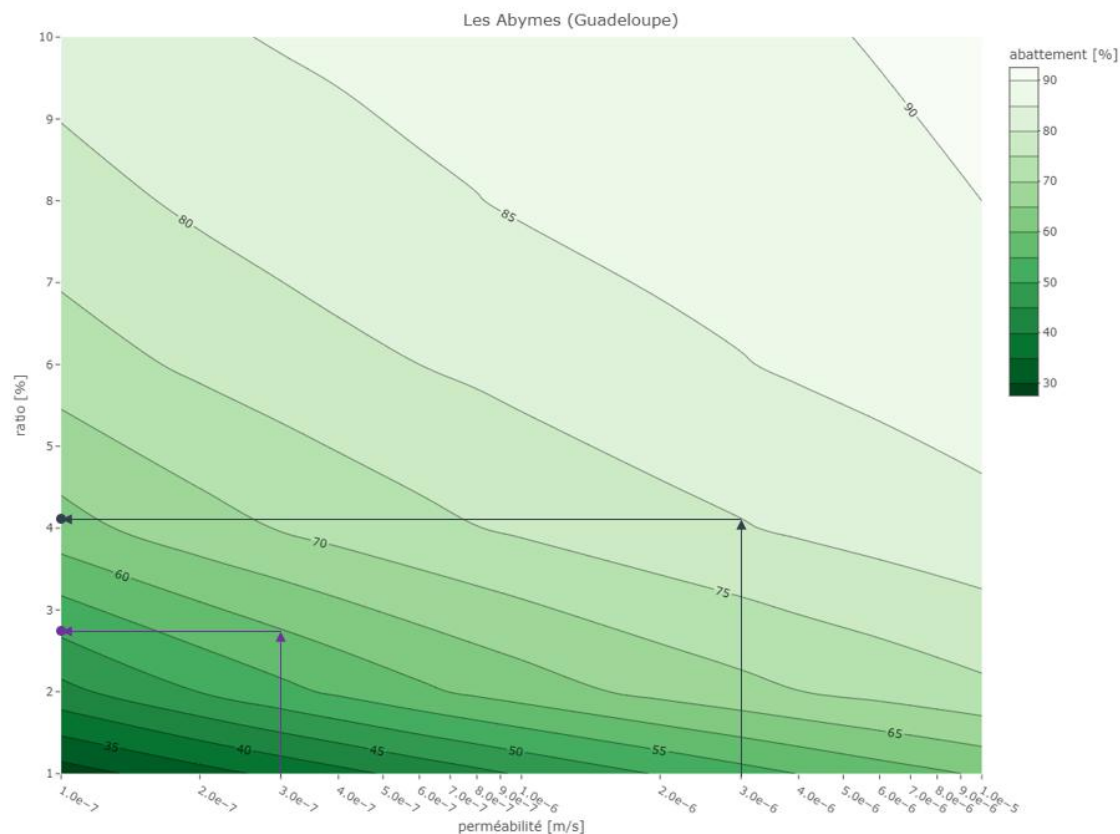


Figure 24 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte guadeloupéen (Les Abymes, 2020-2022).

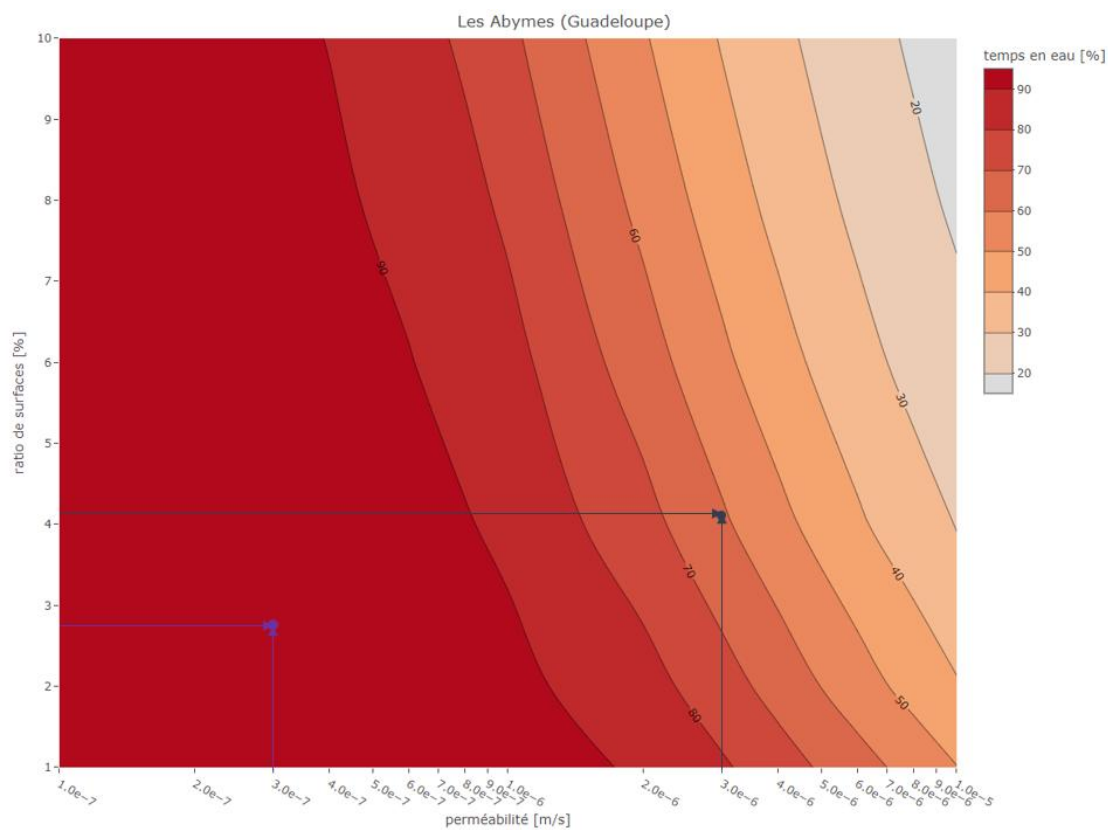


Figure 25 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte guadeloupéen (Les Abymes, 2020-2022).

Cayenne (Guyane)

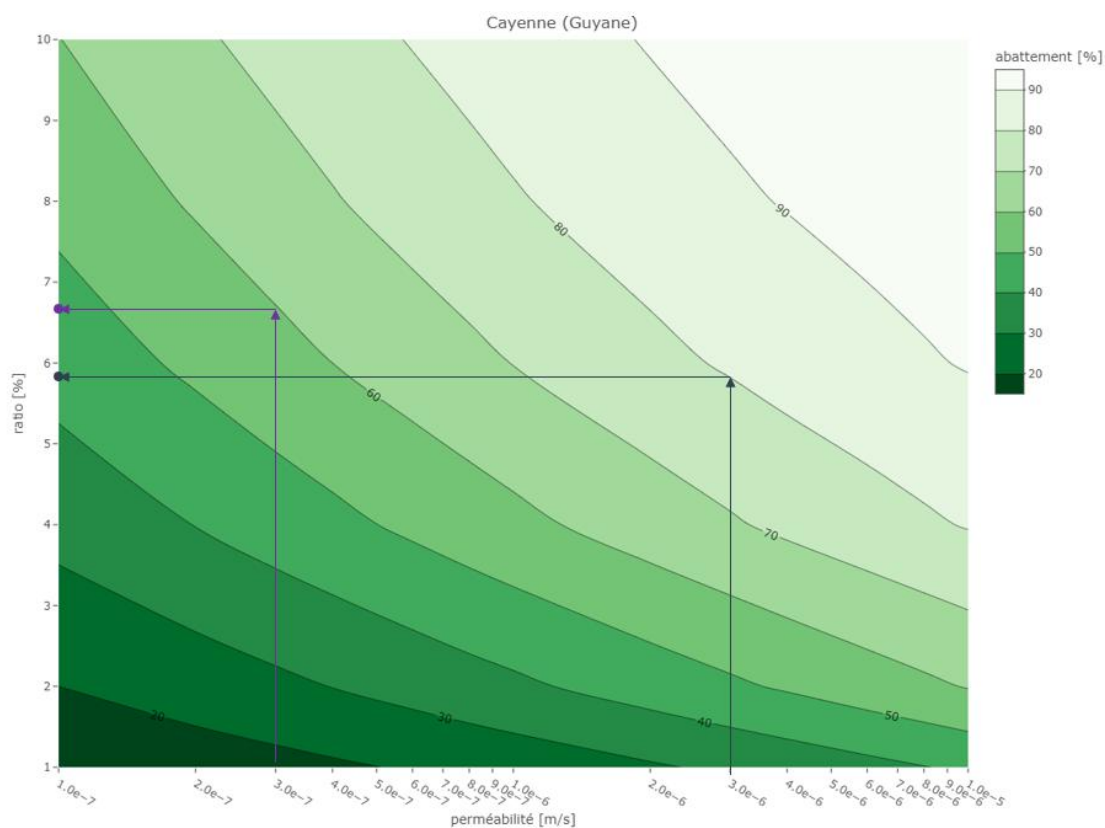


Figure 26 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte guyanais (Cayenne, 2020-2022).

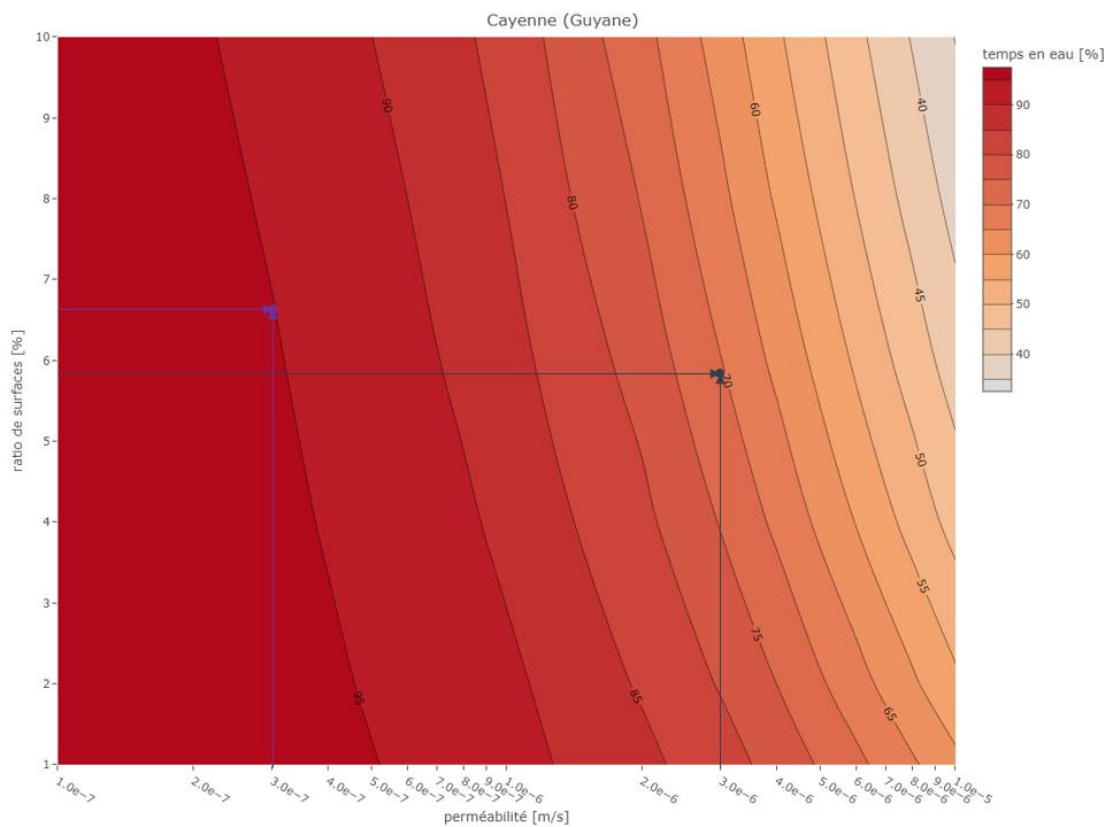


Figure 27 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte guyanais (Cayenne, 2020-2022).

Le Lamentin (Martinique)

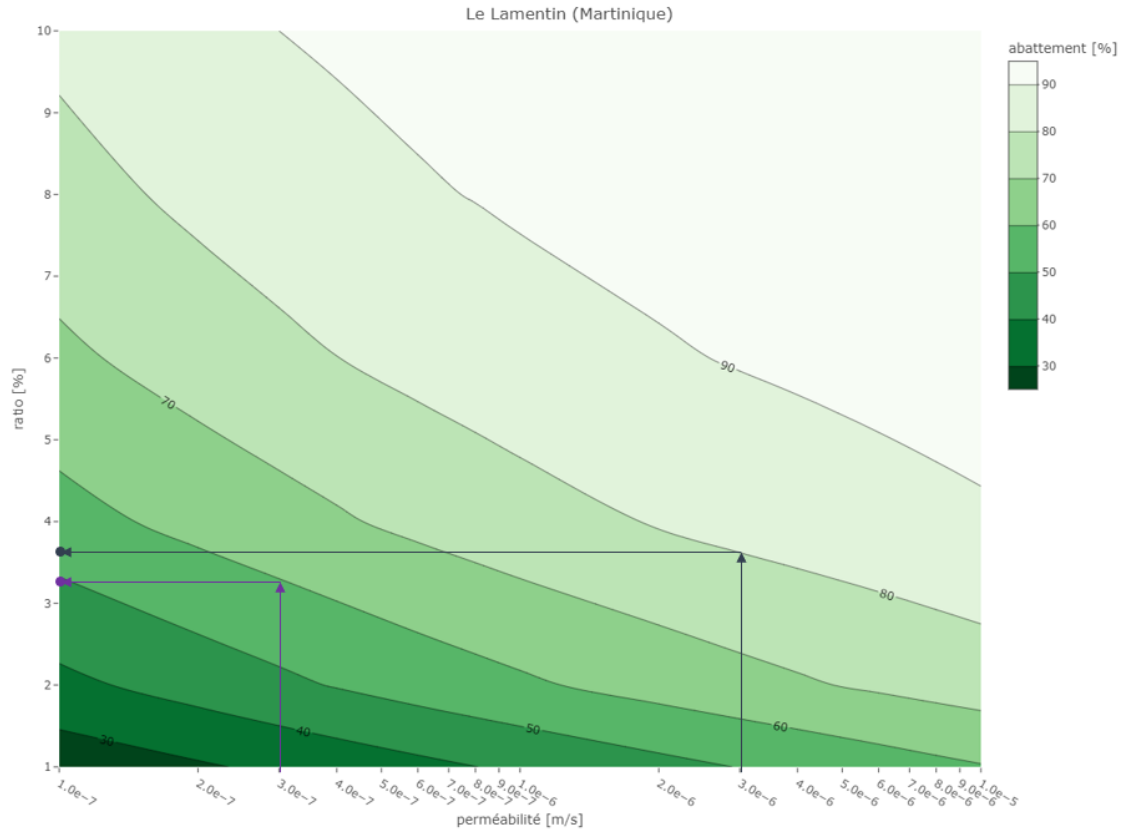


Figure 28 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte martiniquais (Le Lamentin, 2020-2022).

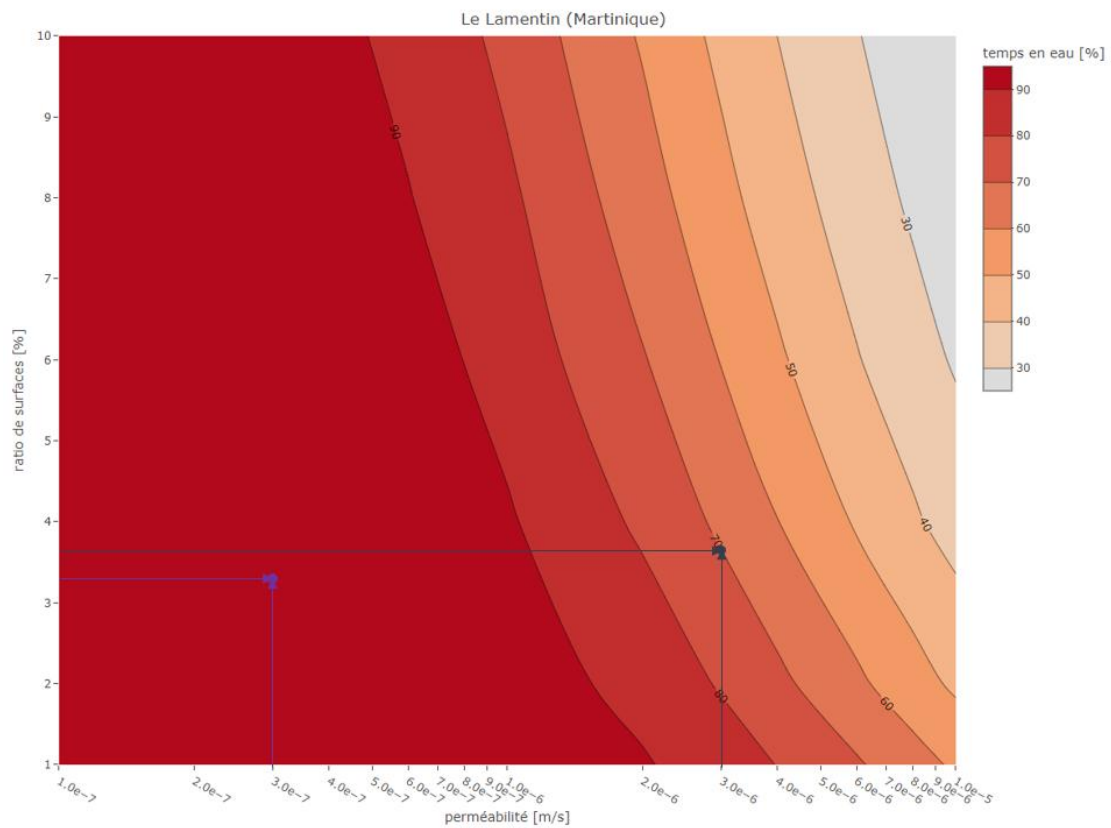


Figure 29 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte martiniquais (Le Lamentin, 2020-2022).

Dzaoudzi (Mayotte)

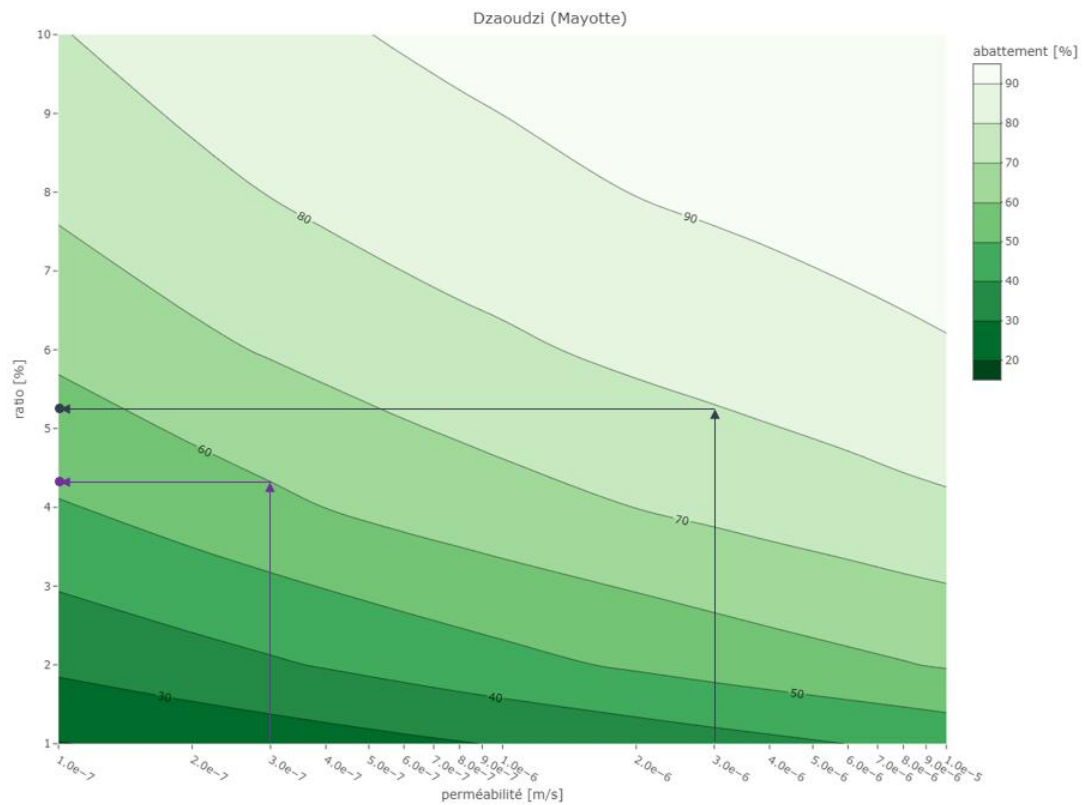


Figure 30 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte mahorais (Dzaoudzi, 2020-2022).

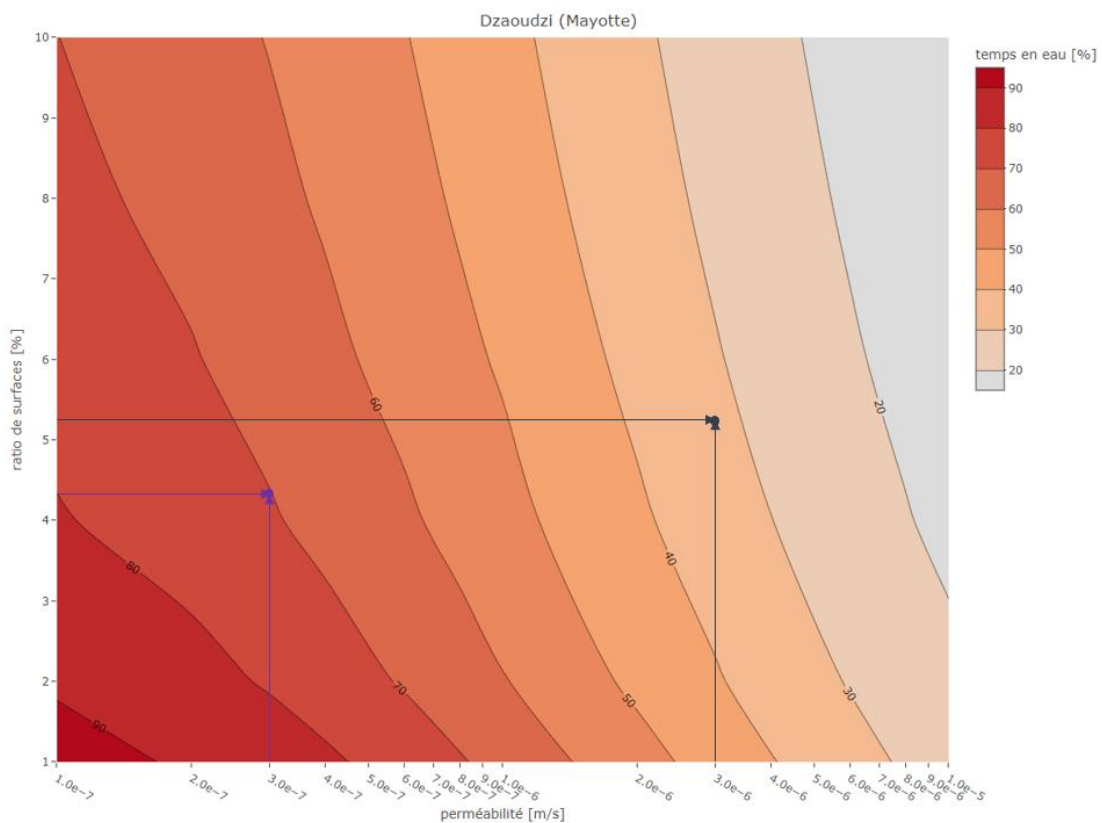


Figure 31 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte mahorais (Dzaoudzi, 2020-2022).

Le Port (La Réunion)

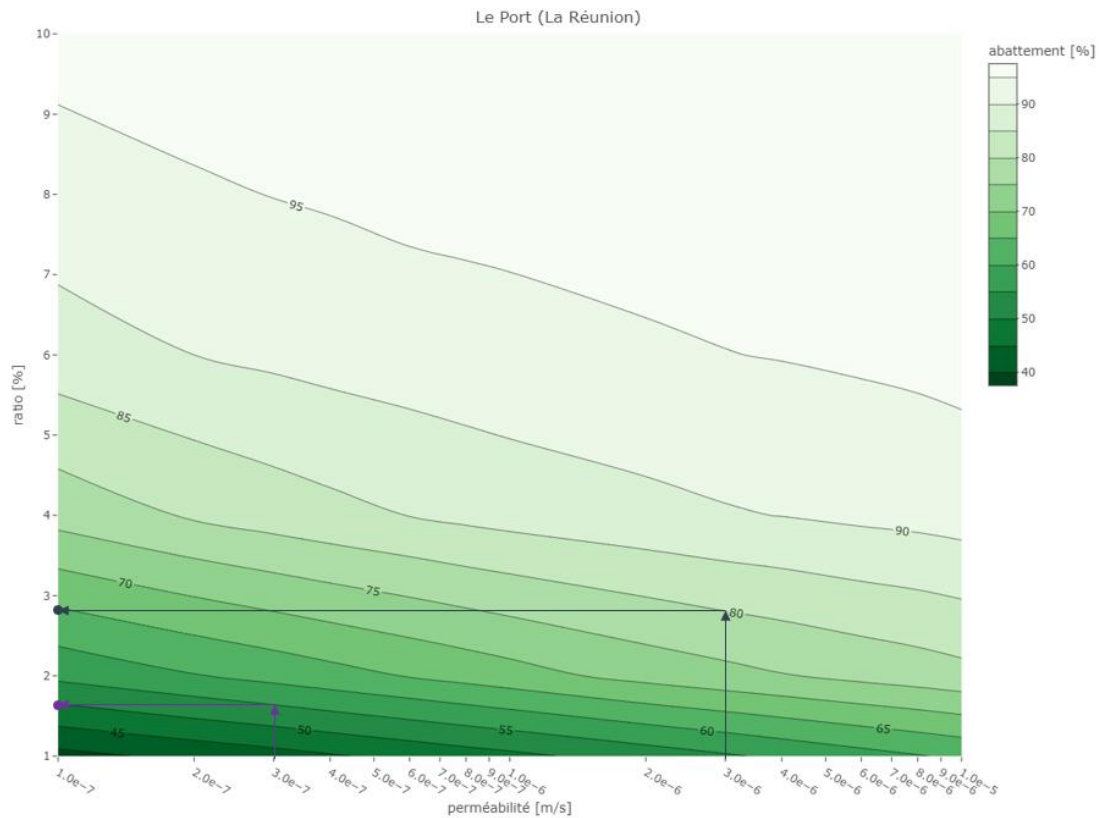


Figure 32 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte réunionnais (Le Port, 2020-2022).

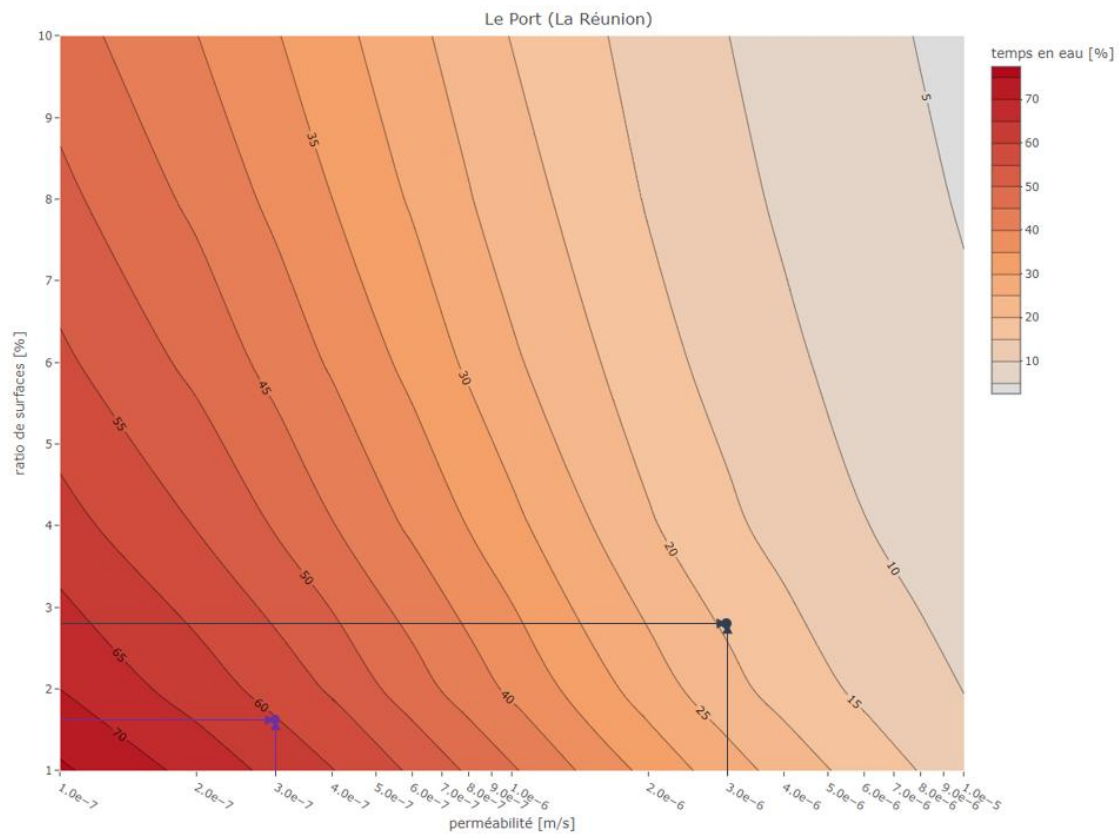


Figure 33 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte réunionnais (Le Port, 2020-2022).

Synthèse comparative

Les valeurs obtenues par lecture des abaques sont synthétisées dans le Tableau 5 (exemple 1) et le Tableau 6 (exemple 2).

Tableau 5 : synthèse des ratios de surfaces et temps en eau obtenus à la lecture des abaques pour une perméabilité de $3,0e^{-6}$ m/s et un abattement hydraulique de 80 % (exemple 1, noir).

	Paris	Lyon	Les Abymes	Cayenne	Le Lamentin	Dzaoudzi	Le Port
Ratio de surfaces [%]	1,4	2,3	4,1	6,7	3,6	5,2	2,9
Temps en eau [%]	52	46	61	71	70	33	19

Tableau 6 : synthèse des ratios de surfaces et temps en eau obtenus à la lecture des abaques pour une perméabilité de $3,0e^{-7}$ m/s et un abattement hydraulique de 60 % (exemple 2, violet).

	Paris	Lyon	Les Abymes	Cayenne	Le Lamentin	Dzaoudzi	Le Port
Ratio de surfaces [%]	1,3	1,8	2,7	5,8	3,3	4,3	1,6
Temps en eau [%]	92	88	95	95	95	70	60

Le premier constat concerne les variations du ratio de surfaces requis : pour une même perméabilité et un même objectif d'abattement, le foncier requis est très nettement supérieur (doublé voire triplé) dans les villes ultramarines relativement aux villes hexagonales (à l'exception du Port). Le seul paramètre variable étant la pluviométrie et ses dynamiques, ce constat souligne bien que les différences entre pluviométries tropicales, voire équatoriales, et pluviométries tempérées mises en évidence dans la partie IV.1 ont un fort impact sur le dimensionnement des solutions de gestion à la source des eaux pluviales. Il vient également questionner la problématique de limitation foncière caractéristique des territoires ultramarins (partie I).

Le chiffrage du temps en eau associé mène au second constat : le stockage contribue fortement à l'abattement hydraulique par la noue, particulièrement pour des perméabilités faibles (exemple 2) où elle reste en eau sur la très grande majorité de la période simulée. Pour Les Abymes, Le Lamentin et Cayenne, cette caractéristique reste marquée y compris pour des perméabilités plus fortes (exemple 1). Il est vraisemblable que les perméabilités des sols guadeloupéens et martiniquais excèdent celles ici considérées du fait de leur nature volcanique. En revanche, le constat fait pour Cayenne est vraisemblablement une réalité pour une grande partie du territoire dont le sol est majoritairement composé de latérite.

Le stockage de l'eau dans des solutions à la source de gestion des eaux pluviales induit un risque d'eau stagnante qui, couplé aux fortes températures présentes dans les territoires ultramarins, laisse présager une probable prolifération de moustiques. Il s'agit d'un risque sanitaire bien identifié (Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à La Réunion, 2012 ; Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les projets d'aménagements, 2013) même si aucune mention n'en a été faite dans les REX de l'enquête menée sur ces territoires (III.2.2). Une hypothèse possible serait que ces solutions constituent des zones souvent humides accueillant une biodiversité qui permet la régulation du développement des larves de moustiques.

IV.1.2 Courbes percentiles

Pour étoffer la discussion concernant le temps en eau de la noue, deux paramètres supplémentaires, ont été étudiés en considérant un ratio de surfaces et une perméabilité pour chaque ville (et non l'intégralité des combinaisons des abaques), à savoir : un ratio de 6 % et une perméabilité de $2,0e^{-6}$ m/s.

La Figure 33 présente les courbes de percentiles du niveau d'eau dans la noue pour les différentes villes. Si la noue est à sec plus de 50 % du temps sur la période simulée au Port, Lyon, Paris et Dzaoudzi, elle est en revanche majoritairement en eau aux Abymes et au Lamentin et très majoritairement en eau

à Cayenne. Par ailleurs, lorsque la noue est en eau, les différences de niveau d'eau sont notables. Par exemple, en considérant le percentile 80, il est possible de constater que 80 % des valeurs sont comprises entre 0 et 30 cm à Cayenne, 0 et 16 cm au Lamentin, 0 et 11 cm aux Abymes, 0 et 9 cm à Dzaoudzi et 0 et 7 cm à Lyon et Paris. Au Port, l'intégralité des valeurs de cet intervalle sont nulles. Parmi les REX de l'enquête, un acteur guyanais a d'ailleurs mentionné le risque de chute et de noyade dans les noues « qui peuvent être remplies avec plus d'un mètre d'eau ». A noter qu'il s'agit ici vraisemblablement plus d'un fossé (dispositif similaire à une noue mais qui se caractérise par une profondeur plus importante), mais ce REX vient bien questionner le risque physique qui peut être lié à des dispositifs de gestion des eaux pluviales par stockage et infiltration. Ce risque n'a pas été mentionné par les répondants des autres territoires.

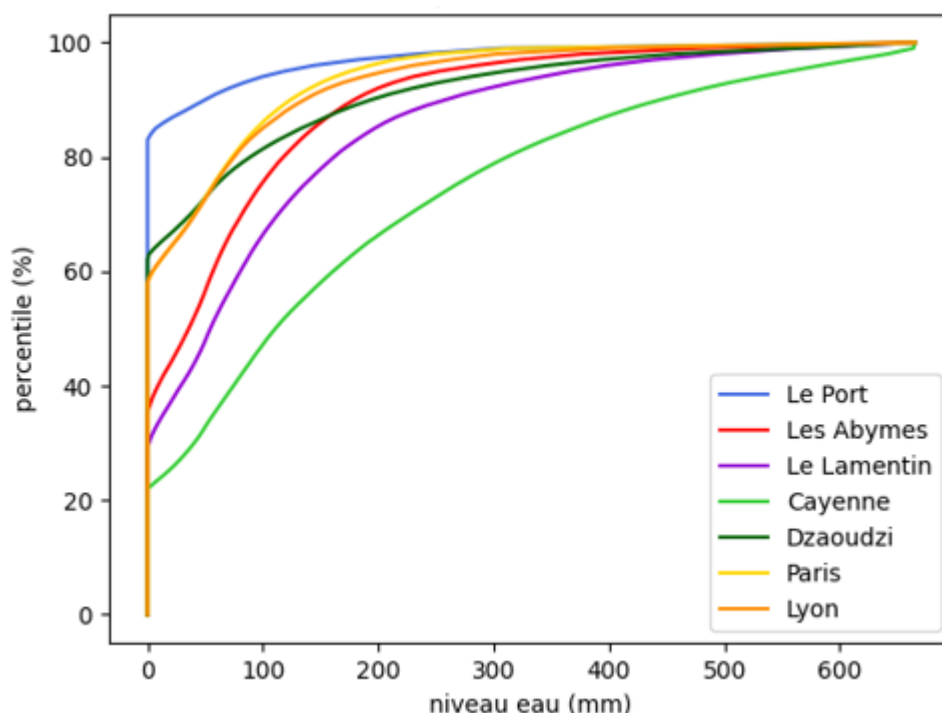


Figure 34 : courbes de percentiles des niveaux d'eau (mm) dans la noue dont le comportement a été simulé entre janvier 2020 et décembre 2022 pour les villes d'intérêt.

Source de données : Météo-France (postes 97407520, 97101015, 97213004, 97302005, 9850800, 75114001 et 69029001).

La Figure 34 représente, elle, les courbes de percentiles des durées en eau de la noue pour chaque ville. Les différences de durée maximale en eau de la noue sont très marquées entre les différentes villes : 16 jours au Port, 18 à Lyon, 26 à Dzaoudzi, 29 aux Abymes, 30 à Paris, 42 au Lamentin et jusqu'à 98 jours à Cayenne, soit plus de 3 mois. En haut de la Figure 34, un zoom montre plus précisément la répartition des courbes de percentiles sur l'intervalle 0-2 jours : les durées maximum en eau prescrites sont en effet souvent comprises entre 24 et 72h, une durée inférieure à 72h étant suffisante pour empêcher le développement larvaire pour une solution de type stockage de surface (Wikhydro, 2024). Si une durée maximum en eau de 48h constituait un critère de dimensionnement, il est possible de constater qu'il serait respecté 85 % du temps au Port (sur la période simulée), 75 % au Lamentin et aux Abymes, 65% à Lyon, Paris et Dzaoudzi et 50% à Cayenne.

Si ces courbes, au regard des hypothèses prises, ne constituent pas des éléments de dimensionnement, il est néanmoins intéressant de constater que dans des conditions identiques de perméabilités et de ratios de surfaces, une même solution se comporte très différemment selon les pluviométries et leurs dynamiques. Un dimensionnement dynamique, c.-à-d. basé sur des chroniques de pluies (passées voire futures), pourrait ainsi être une alternative pertinente au dimensionnement conventionnellement basé sur des coefficients variables selon la localisation géographique.

Les différents résultats de simulations présentés questionnent tout de même la pertinence et la faisabilité d'une gestion par infiltration en Guyane où les sols sont très peu perméables. Cette modalité

de gestion est peu mise en œuvre par les aménageurs en local qui lui préfèrent souvent des ouvrages bétonnés de type stockage / restitution¹³ malgré leur prix significativement supérieur. Au regard des abattements hydrauliques possibles et des caractéristiques en eau (temps global en eau, niveau d'eau et durées en eau avant retour à sec) ici observées, il est possible que l'infiltration comme mode de gestion unique trouve des limites opérationnelles sur ce territoire, mais constitue une brique primaire intéressante dans une logique de gestion combinatoire (combinaison de solutions de gestion à la source).

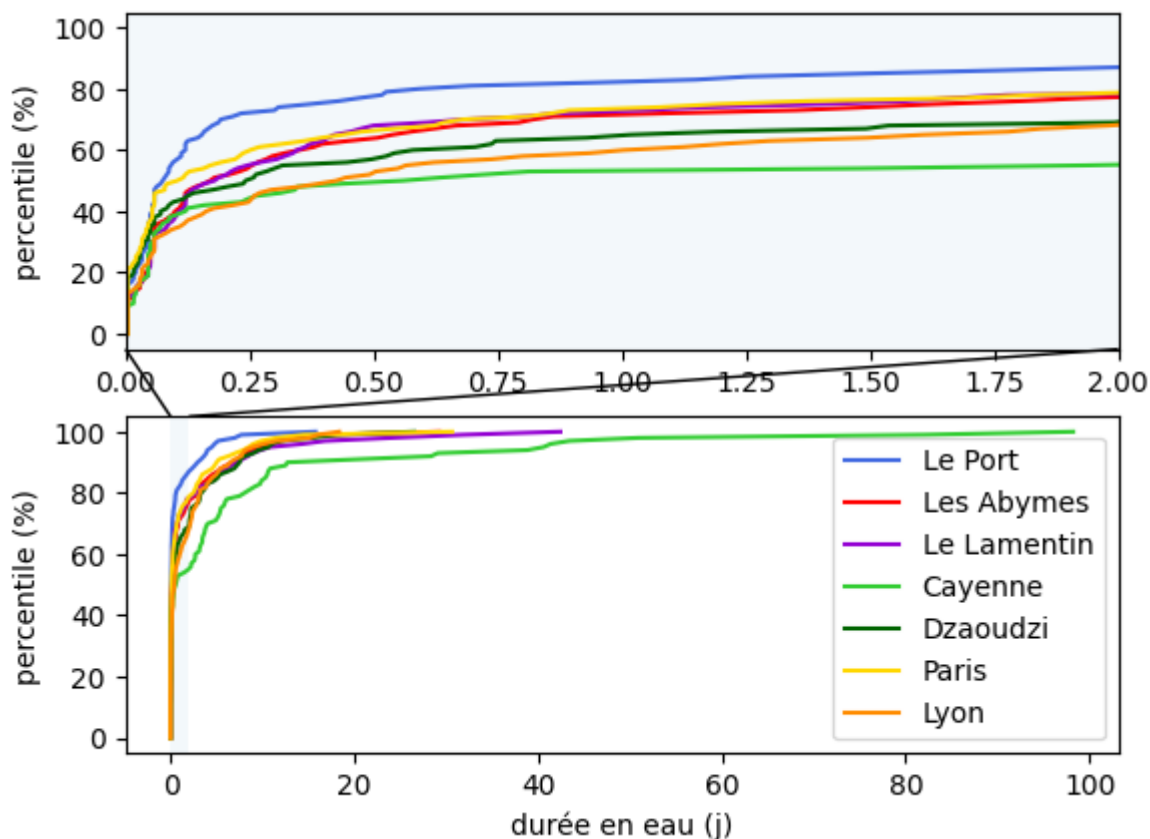


Figure 35 : courbes de percentiles des durées en eau (mm) de la noue dont le comportement a été simulé entre janvier 2020 et décembre 2022 pour les villes d'intérêt.

Source de données : Météo-France (postes 97407520, 97101015, 97213004, 97302005, 98508001, 75114001 et 69029001).

IV.1.3 Synthèse

Les simulations réalisées et leur exploitation ont permis une première exploration de l'impact des conditions climatiques tropicales, voire équatoriales, sur le fonctionnement et le dimensionnement des solutions de gestion à la source par stockage / infiltration en considérant le cas d'une noue (ici sans fonction de transport).

Plusieurs limites sont à noter :

- Une hypothèse forte faite lors des simulations est de considérer la perméabilité de la noue comme homogène. Le sol est rarement homogène et ses hétérogénéités influent sur les performances hydrauliques des solutions de gestion à la source des eaux pluviales par infiltration. L'hétérogénéité du sol est une réalité d'autant plus probable que la surface de la solution est étendue. Or il a été mis en évidence le besoin de ratios de surfaces plus grands, donc de solutions plus étendues, dans les villes ultramarines étudiées. Une autre limitation relative aux simulations réalisées dans

¹³ Échange de mails et visioconférence avec EPFA Guyane (Établissement Public Foncier et d'Aménagement de la Guyane) au T4 2023

URBIS est la non prise en compte de la hauteur de la nappe. A noter que l'hétérogénéité du sol n'est pas le seul élément impactant les performances hydrauliques : la conception / construction d'une solution de gestion à la source des eaux pluviales par infiltration et son entretien conditionnent aussi fortement la pérennité de son efficacité d'infiltration.

- La réduction d'un territoire à une seule ville est un biais et il est important de ne pas généraliser les résultats obtenus pour cette ville à l'ensemble du territoire auquel elle appartient. La Réunion et la Guadeloupe, en particulier, se caractérisent par de très nombreux microclimats.
- La fourchette de perméabilités commune retenue et les exemples illustratifs ne correspondent peut-être pas partout à une réalité de terrain : la gamme s'arrête ici à 36 mm/h alors que des perméabilités de l'ordre de 50 mm/h ont pu être mesurées dans le premier mètre de sol en contexte réunionnais ¹⁴.

Néanmoins, cette exploration apporte un premier éclairage sur le sujet. Elle permet de mettre en évidence le fort impact des différences de pluviométries sur le dimensionnement des solutions de gestion à la source des eaux pluviales avec un ratio de surfaces doublé, voire triplé, pour des pluviométries tropicales comparativement à des pluviométries tempérées. Les temps en eau et les durées en eau observées questionnent par ailleurs la gestion par stockage et ses modalités afin de limiter les risques physiques et sanitaires pour la population. L'importance des dynamiques pluvieuses et son influence sur le comportement des solutions laissent à penser qu'un dimensionnement dynamique (basé sur des chroniques) serait une alternative pertinente au dimensionnement conventionnellement mis en œuvre (basé sur des pluies de projet).

L'abattement hydraulique souhaité et la durée en eau admissible apparaissent comme deux critères de dimensionnement importants à l'issue de cette exploration. Leurs calculs impliquent une connaissance préalable de la perméabilité du sol mis en jeu. La connaissance et la caractérisation du sol dans la gamme 0-1 m sont, de fait, des éléments clés du dimensionnement de solutions de type stockage / infiltration. Apparaissent ainsi deux problématiques : celle de la qualité de la mesure de la perméabilité, particulièrement pour des sols très perméables, et celle de l'identification des hétérogénéités du sol. A celles-ci s'ajoute celle de la modélisation, notamment la prise en compte des hétérogénéités, mais aussi du niveau de la nappe, dans le dimensionnement des ouvrages. L'aspect modélisation constitue en effet un élément essentiel dans le cadre d'un dimensionnement dynamique.

En résumé, pour un dimensionnement à la fois hydrauliquement satisfaisant et qui assure une sécurité physique et sanitaire des personnes, il ressort de cette exploration que :

- Il est essentiel de bien caractériser le sol impliqué (perméabilité, hétérogénéités).
- Un dimensionnement dynamique semble pertinent. L'ouverture des données Météo-France début 2024 et l'accessibilité des chroniques constituent des opportunités qui pourraient appuyer l'adoption de nouvelles pratiques par les acteurs du domaine.
- L'abattement hydraulique visé et la durée en eau admissible sont deux critères de dimensionnement importants.

Par ailleurs, il est à garder en tête que les solutions de gestion à la source des eaux pluviales se suffisent rarement à elles-mêmes et sont généralement combinatoires. L'ajout de sécurités qui permettent de solliciter des solutions avalées est un élément qui est partie intégrante du dimensionnement. Le dimensionnement doit donc idéalement se faire à l'échelle d'un groupement de solutions.

Dans un contexte défavorable à l'infiltration, situation qui risque de se trouver à certains endroits de la Guyane, des solutions bleues (aussi dites hydrides), voire grises, seront à combiner aux solutions fondées sur la nature avec restitution par infiltration pour atteindre les abattements souhaités.

¹⁴ Dossier de déclaration au titre des articles L214-1 à L241-6 du code de l'Environnement - Projet d'aménagement « La Volière », 2021).

V. Conclusion et perspectives

La gestion durable des eaux pluviales urbaines mobilise des enjeux forts aussi bien sur le sol hexagonal que dans les territoires ultramarins. Si elle fait consensus d'un point de vue conceptuel et qu'elle est encouragée par les pouvoirs publics français, se posent toujours des questions d'ordre opérationnel. La mise en œuvre d'une gestion à la source par des solutions fondées sur la nature reste source d'interrogations. La transposition de ces solutions au climat tropical en particulier est à éprouver.

L'axe pluvial de l'action DOM OFB portée par REVERSAAL et financée par l'Office français de la biodiversité vise à apporter des éléments de réponse aux questionnements suivants :

- En quoi les caractéristiques pédologiques, climatiques ainsi que les espèces végétales locales peuvent modifier les dimensionnements et la gestion des solutions fondées sur la nature classiquement mises en œuvre pour gérer les eaux pluviales à la source en favorisant leur infiltration ?
- Quelles adaptations, particulièrement en termes de dimensionnement, seraient à mettre en œuvre pour « tropicaliser » ces solutions, pour quelle efficacité hydraulique et quelles conséquences en termes de foncier ?

L'axe pluvial de l'action DOM OFB s'intègre ainsi à l'axe 4 du Plan national d'action pour une gestion durable des eaux pluviales (Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, 2021), à savoir : « améliorer les connaissances scientifiques pour mieux gérer les eaux pluviales ».

Pour obtenir un éclairage aux questionnements cités plus haut, plusieurs moyens ont été déployés en parallèle les uns des autres lors de cette première tranche de trois ans (2022-2024).

Une enquête

Pour identifier la réalité du terrain, une enquête a été réalisée en 2023. Elle a été transmise à une cinquantaine de personnes sur les cinq territoires rassemblés dans cette étude (Guadeloupe, Guyane, Martinique, Mayotte et La Réunion) et a enregistré des taux de participation très satisfaisants. Les résultats ont permis d'apporter un premier éclairage sur la gestion des eaux pluviales à la source par des solutions fondées sur la nature dans les territoires ultramarins. Ainsi, la répartition géographique des solutions et leur type varient selon les territoires. Certaines solutions sont présentes sur les cinq territoires enquêtés en proportions parfois inégales (bassins secs et en eau, noues, dalles gazon, tranchées drainantes plantées). D'autres sont très répandues dans certains territoires et quasi absentes des autres (puits d'infiltration). D'autres encore s'avèrent très peu plébiscitées sur l'ensemble des territoires considérés (toitures végétalisées). Par ailleurs, les retours d'expérience consignés lors de l'enquête retranscrivent bien les problématiques spécifiques au domaine de la gestion à la source des eaux pluviales (méconnaissance patrimoniale du fait de la récente prise de cette compétence, changement de paradigme relativement récent dont la mise œuvre opérationnelle reste parfois difficile, etc.), mais ont également souligné des difficultés propres au contexte ultramarin (climat, sols, végétation, isolement géographique).

La terminologie parfois équivoque dans le domaine car en phase de construction (Chocat *et al.*, 2022) et le public interrogé (questionnaires publics en très grande majorité) ont pu induire une sous-estimation de la représentation de certaines solutions. Il s'agit là d'une limite qu'il est important de considérer mais qui ne dévalue pas pour autant l'intérêt des résultats obtenus. Les résultats présentés datent de 2023. Toutefois, la globalité de l'état des lieux reste vraisemblablement valable.

Des simulations

Pour éclaircir la possible incidence de climats différents sur le fonctionnement de solutions de gestion à la source des eaux pluviales via l'infiltration, le fonctionnement d'une noue avec des fonctions hydrologiques de stockage et d'infiltration (pas de transport) a été simulé pour différentes villes, dont une pour chacun des cinq territoires d'Outre-Mer de l'étude. La réalisation d'abaques et de courbes de percentiles ont permis d'explorer l'impact d'une pluviométrie tropicale, voire équatoriale, sur l'abattement hydraulique atteignable par cette solution et sur ses caractéristiques en eau (temps en eau,

niveau d'eau et durées en eau).

Malgré les limites qui ont été identifiées, cette exploration a tout de même apporté un premier éclairage sur le sujet. Elle a permis de mettre en évidence le fort impact des différences entre pluviométries tropicales et pluviométries tempérées sur le ratio de surfaces à mettre en œuvre. Les temps en eau et les durées en eau qui ont été observées sont venues questionner la gestion par stockage et ses modalités afin de limiter les risques physiques et sanitaires pour la population. L'importance des dynamiques pluvieuses et son influence sur le comportement des solutions a d'autre part permis de suggérer qu'un dimensionnement dynamique (basé sur des chroniques) serait une alternative pertinente au dimensionnement conventionnellement mis en œuvre (basé sur des pluies de projet). L'ouverture des données Météo-France début 2024 pourrait constituer une opportunité pour un changement de pratique par les acteurs du domaine.

A l'issue de cette exploration, il a été conclu que l'abattement hydraulique souhaité et la durée en eau admissible constituent deux critères dimensionnants importants. Leurs calculs impliquant une connaissance préalable de la perméabilité du sol mis en jeu, la connaissance et la caractérisation du sol dans la gamme 0-1 m ont été soulignés comme des éléments clés du dimensionnement de solutions de type stockage / infiltration. Leurs enjeux propres ont été indiqués (qualité de la mesure de perméabilité, particulièrement pour des sols très perméables ; identification des hétérogénéités du sol) ainsi que les enjeux subséquents liés à la modélisation (hétérogénéités, niveau de la nappe), laquelle est nécessaire à une approche dynamique de dimensionnement.

Comme mentionné lors de la contextualisation de l'étude, si la Guyane a des caractéristiques communes aux cinq territoires, elle s'en démarque néanmoins par différents aspects : climat équatorial, sols de type latérite, absence de relief. Les résultats de simulations, même s'ils sont à considérer avec prudence, montrent les contraintes de ce territoire quant à la faisabilité d'une gestion basée uniquement sur l'infiltration. Au regard des abattements hydrauliques possibles et des caractéristiques en eau (temps en eau, niveau d'eau et durées en eau) observées, la gestion à la source des eaux pluviales par infiltration ne pourra vraisemblablement pas être déployée seule à l'ensemble du territoire guyanais. La combinaison avec d'autres solutions, bleues (aussi dites hydrides) voire grises, sera très probablement nécessaire.

Si dans l'enquête et dans les simulations, le raisonnement s'est ici fait à l'échelle d'une solution, il a été noté à plusieurs reprises qu'en termes de gestion à la source des eaux pluviales, une solution se suffit rarement à elle-même pour gérer l'ensemble des eaux générées par un aménagement ou un bassin versant au sein d'un aménagement. Les solutions sont combinatoires et la gestion des eaux pluviales engendrées par une installation en mobilise très souvent plusieurs. C'est le cas du site qui a été instrumenté en contexte réunionnais. L'instrumentation de ce site et son suivi dans le cadre de l'action DOM OFB permettront l'acquisition de données en conditions tropicales et à l'échelle d'un groupement de solutions, apportant ainsi un éclairage sur le sujet qui sera complémentaire à ceux ici exposés.

VI. Sigles et abréviations

EPCI : Etablissement Public de Coopération Intercommunale

DROM : Département et Région d'Outre-Mer

GEPU : Gestion des Eaux Pluviales Urbaines

Kp : pan coefficient

Ks : conductivité hydraulique à saturation

REX : retour d'expérience

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

VII. Tables des illustrations

VII.1 Liste des figures

Figure 1 : répartition des solutions de gestion à la source des eaux pluviales en Guadeloupe (2023).	12
Figure 2 : répartition des solutions de gestion à la source des eaux pluviales en Guyane (2023).....	13
Figure 3 : répartition des solutions de gestion à la source des eaux pluviales en Martinique (2023). .	13
Figure 4 : répartition des solutions de gestion à la source des eaux pluviales à Mayotte (2023).	14
Figure 5 : répartition des solutions de gestion à la source des eaux pluviales à La Réunion (2023)...	14
Figure 6 : représentation graphique de la répartition du nombre de citations par type de solutions lors de l'enquête menée par Girot et al. en 2024 sur le territoire hexagonal (à partir du tableau mentionné dans le rapport).	16
Figure 7 : répartition des REX selon les types identifiés.....	17
Figure 8 : répartition et types de toitures végétalisées pour chaque territoire (2023).....	19
Figure 9 : répartition des ouvrages de type puits d'infiltration pour chaque territoire (2023).	20
Figure 10 : répartition des sols de type bruns et bruns andiques à La Réunion (extraction à partir de la carte pédologique SIG, source : BRGM).....	21
Figure 11 : répartition et types de bassins de surface pour chaque territoire (2023).....	24
Figure 12 : répartition et types d'ouvrages de biorétention pour chaque territoire (2023).	25
Figure 13 : répartition et types de noues pour chaque territoire (2023).....	26
Figure 14 : répartition des ouvrages de type « autres » pour chaque territoire (2023).....	27
Figure 15 : photographies de dispositifs de gestion des eaux pluviales implantés sur le site du Carrefour Génipa (Martinique).	29
Figure 16 : répartition des ouvrages de type « autres » pour chaque territoire (2023).....	29
Figure 17 : cumuls pluviométriques annuels enregistrés dans chacune des villes retenues pour les simulations (2020, 2021, 2022).	30
Figure 18 : nombre de jours avec évènement pluvieux pour chacune des 7 villes (2020, 2021, 2022).	31
Figure 19 : courbes de percentiles des intensités de pluie non nulles (mm/h) entre janvier 2020 et décembre 2022 pour les 7 villes d'intérêt (en considérant un pas de temps de 1h).....	32
Figure 20 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte hexagonal (Paris, 2020-2022).	35
Figure 21 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte hexagonal (Paris, 2020-2022).	35
Figure 22 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte hexagonal (Lyon, 2020-2022).	36
Figure 23 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte hexagonal (Lyon, 2020-2022).	36
Figure 24 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte guadeloupéen (Les Abymes, 2020-2022).	37
Figure 25 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte guadeloupéen (Les Abymes, 2020-2022).	37
Figure 26 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte guyanais (Cayenne, 2020-2022).	38

Figure 27 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte guyanais (Cayenne, 2020-2022).....	38
Figure 28 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte martiniquais (Le Lamentin, 2020-2022).	39
Figure 29 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte martiniquais (Le Lamentin, 2020-2022).	39
Figure 30 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte mahorais (Dzaoudzi, 2020-2022).....	40
Figure 31 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte mahorais (Dzaoudzi, 2020-2022).....	40
Figure 32 : variation de l'abattement hydraulique d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte réunionnais (Le Port, 2020-2022).	41
Figure 33 : variation du temps en eau d'une noue pour différents ratios de surface et différentes perméabilités dans un contexte réunionnais (Le Port, 2020-2022).	41
Figure 34 : courbes de percentiles des niveaux d'eau (mm) dans la noue dont le comportement a été simulé entre janvier 2020 et décembre 2022 pour les villes d'intérêt.	43
Figure 35 : courbes de percentiles des durées en eau (mm) de la noue dont le comportement a été simulé entre janvier 2020 et décembre 2022 pour les villes d'intérêt.	44
Figure 36 : moyenne annuelle des cumuls pluviométriques en Guyane sur la période 1991-2020.	55
Figure 37 : taux d'imperméabilisation des sols en Guyane (Corine Land Cover 2015, résolution de 20 m).	56
Figure 38 : moyenne annuelle des cumuls pluviométriques en Guadeloupe sur la période 1991-2020.	57
Figure 39 : taux d'imperméabilisation des sols en Guadeloupe (Corine Land Cover 2015, résolution de 20 m).	58
Figure 40 : moyenne annuelle des cumuls pluviométriques en Martinique sur la période 1991-2020.	59
Figure 41 : taux d'imperméabilisation des sols en Martinique (Corine Land Cover 2015, résolution de 20 m).	60
Figure 42 : moyenne annuelle des cumuls pluviométriques à Mayotte sur la période 1991-2020.	61
Figure 43 : taux d'imperméabilisation des sols à Mayotte (Corine Land Cover 2015, résolution de 20 m).	62
Figure 44 : moyenne annuelle des cumuls pluviométriques à La Réunion sur la période 1991-2020.	63
Figure 45 : taux d'imperméabilisation des sols à Mayotte (Corine Land Cover 2015, résolution de 20 m).	64
Figure 46 : moyenne annuelle des cumuls pluviométriques sur le territoire hexagonal sur la période 1991-2020.	65

VII.2 Liste des tableaux

Tableau 1 : récapitulatif de la terminologie employée dans l'enquête, correspondance avec celle de Chocat et al. (2022) et fonctions hydrologiques associées.....	10
Tableau 2 : taux de participation à l'enquête (détail par territoire).	11
Tableau 3 : typologie des REX enregistrés lors de l'enquête (détail par solution).	17
Tableau 4 : synthèse des couples surface/périmètre utilisés pour les simulations.	33
Tableau 5 : synthèse des ratios de surfaces et temps en eau obtenus à la lecture des abaques pour une perméabilité de $3,0e^{-6}$ m/s et un abattement hydraulique de 80 % (exemple 1, noir).	42

Tableau 6 : synthèse des ratios de surfaces et temps en eau obtenus à la lecture des abaques pour une perméabilité de $3,0e^{-7}$ m/s et un abattement hydraulique de 60 % (exemple 2, violet). 42

VIII. Bibliographie

- Chocat, B., Cherqui, F., Afrit, B., Barjot, G., Boumahdi, M., Breil, P., Brelot, E., Celerier, J.-L., Chebbo, G., De Gouvello, B., Deutsch, J.-C., Gachelin, C., Gromaire, M.-C., Herin, J.-J., Jairy, A., Maytraud, T., Paupardin, J., Pierlot, D., Rodriguez, F., ... Wery, C. (2022). Contribution à une meilleure explicitation du vocabulaire dans le domaine des solutions dites « alternatives » de gestion des eaux pluviales urbaines : Contribution to a better understanding of the terminology in the field of sustainable solutions for urban stormwater management. *Techniques Sciences Méthodes*, 5(5), 103-119. <https://doi.org/10.36904/tsm/202205103>
- Dossier de déclaration au titre des articles L214-1 à L241-6 du code de l'Environnement—Projet d'aménagement « La Volière » (p. 72). (2021). ENVIROTECH.
- Durée en eau (HU). (2024). In Wikhydro. [http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Dur%C3%A9e_en_eau_\(HU\)](http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Dur%C3%A9e_en_eau_(HU))
- Etat des lieux 2019 : Évaluation des pressions et des impacts liés au ruissellement urbain (p. 42). (2019). Comité de l'eau et de la biodiversité La Réunion, Office de l'Eau Réunion et DEAL Réunion. <https://www.comite-eau-biodiversite-reunion.fr/sdage-etat-des-lieux-2019-a206.html>
- Favreau, G., Clément, R., & Molle, P. (2024). *Instrumentation du site la Volière : Un site pilote à La Réunion pour mieux comprendre le fonctionnement des ouvrages de gestion intégrée des eaux pluviales en contexte tropical* (p. 56). INRAE et OFB.
- Fiches de synthèse : Qualité et pressions par masse d'eau (SDAGE 2016-2021) (p. 68). (2019). Comité de bassin Martinique. <https://www.observatoire-eau-martinique.fr/documents/14%20-%20SDAGE%20MARTINIQUE%202016-2021%20-%20FICHES%20MASSE%20D%20EAU.pdf>
- Gestion durable des eaux pluviales : Le plan d'action (p. 22). (2021). Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/Gestion_durable_des_eaux_pluviales_le_plan_daction.pdf
- Girot, E., Cherqui, F., Taillandier, F., & Curt, C. (2024). *Rapport de résultats du sondage « Pratiques d'entretien des solutions de gestion des eaux pluviales »* (p. 8). <https://recover.paca.hub.inrae.fr/content/download/5607/52548?version=1>
- Gouzy, A. (2017). *Guide pour l'inventaire des émissions, rejets et pertes de micropolluants vers les eaux de surface* (p. 85). INERIS. https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/R_DRC-17-136877-04137A_Guide_Inventaire_Emissions_2017_juin17_Vf.pdf
- Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les projets d'aménagements (p. 20). (2013). Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Martinique. <https://www.martinique.developpement-durable.gouv.fr/guide-des-eaux-pluviales-a540.html>
- Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à La Réunion (p. 92). (2012). DEAL Réunion. https://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/guide_eaux_pluviales_reunion_cle575121.pdf
- Mise en oeuvre de la révision de l'Etat Des Lieux du cycle de gestion de l'eau 2022-2027 de la Guyane « EDL 2019 » (p. 214). (2020). Comité de l'Eau et de la biodiversité Guyane, Office de l'Eau de Guyane, DEAL Guyane, Géo-Hyd. https://www.ceb-guyane.fr/images/4-Outils-de-gestion/EDL/2019/EDL_Guyane_OEG_RapportFinal_VF.pdf

- Révision de l'état des lieux 2019 : Inventaire des pressions* (p. 203). (2019). Office de l'Eau de la Guadeloupe, Comité de l'Eau et de la Biodiversité, DEAL Guadeloupe. <https://www.observatoire-eau-guadeloupe.fr/documents/revision-de-letat-des-lieux-2019-inventaire-des-pressions-2/>
- Sandron, L., Szelényi, D., Sandoval, S., Villarreal, E., & Bertrand-Krajewski, J. J.-L.-L. (2020). *URBIS Notice technique* (p. 12).
- Solarte Moncayo, L. M., & Duchesne, S. (2023). *Pratiques et coûts liés à l'entretien des infrastructures vertes pour le contrôle à la source des eaux pluviales en milieu urbain* (p. 79) [Revue de littérature]. Observatoire de la gestion intégrée de l'espace public urbain. <https://ceriu.qc.ca/bibliotheque/mandat-recherche-observatoire-analyse-couts-avantages-infrastructures-vertes>
- Synthèse de l'état des lieux : Bassin de la Guyane* (p. 8). (2020). Comité de l'eau et de la biodiversité Guyane, Office de l'eau de Guyane, DEAL Guyane. https://www.ceb-guyane.fr/images/4-Outils-de-gestion/EDL/2019/PlaquePresentation_CEB.pdf
- Tabary, M., Monteignies, L., Lesollic, M., Collet, A., & Ratsimihara, T. (2020). *Etat des lieux du bassin hydrographique de Mayotte : Analyse des impacts des activités humaines sur l'état des masses d'eau* (p. 339). Agence française pour la biodiversité, Comité de l'eau et de la biodiversité, DEALM Mayotte. https://www.ceb-mayotte.fr/images/3-L_eau_a_Mayotte/Caracteristiques_du_Bassin_hydrographique/Tome_2_Vf_compressed.pdf
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SuDs Manual* (p. 964).

IX. Annexe 1 : visuels utilisés lors de l'enquête

■ Toitures végétalisées

Toitures végétalisées

Les toitures végétalisées peuvent être extensives ou intensives :

- extensive = faible épaisseur de substrat et plantation simple (mousses, lichens, etc)
- intensive = épaisseur de substrat plus importante et plantation plus élaborée (jardin)



Toiture extensive

Source : <https://efb-greenroof.eu/work/extensive-green-roof-uk-3/>



Toiture intensive

Source : <https://efb-greenroof.eu/work/intensive-green-roof-germany-2/>

■ Puits d'infiltration

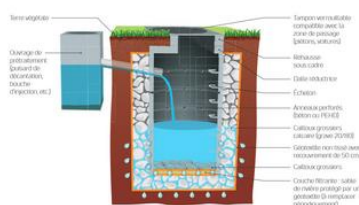
Puits d'infiltration

Les systèmes d'infiltration sont conçus spécifiquement pour permettre l'infiltration des eaux de ruissellement. Ils nécessitent l'usage de matériaux rapportés. Les solutions végétalisées sont :

- les puits d'infiltration = excavations verticales remplies d'un matériau poreux dont les alentours peuvent être végétalisés.



Source : "The SuDS Manual", Woods Ballard et al. 2015



Source : Fiche technique Adopta

■ Systèmes de rétention et d'infiltration

Systèmes de rétention et d'infiltration

Les systèmes de rétention et d'infiltration sont des ouvrages d'assez grande dimension conçus pour stocker temporairement les eaux de ruissellement et pour permettre leur infiltration. Ils utilisent le sol en place. Ils comprennent :

- les bassins secs = dépressions paysagères sèches hors évènements pluvieux
- les étangs et zones humides = dépressions paysagères humides



Bassin sec

Source : https://www.researchgate.net/figure/BMPs-dry-and-wet-detention-ponds_fig15_321584466



Etang

Source : https://www.researchgate.net/figure/BMPs-dry-and-wet-detention-ponds_fig15_321584466

■ Systèmes de biorétention

Systèmes de biorétention

Les systèmes de biorétention sont des ouvrages de taille réduite à moyenne conçus pour stocker temporairement les eaux de ruissellement en surface et pour permettre leur collecte ou leur infiltration. Ils nécessitent l'usage de matériaux rapportés. Ils comprennent :

- les jardins de pluie = dépressions plantées peu profondes et de taille réduite
- les jardinières surélevées = systèmes en caisson au dessus du sol muni d'un sous-drain



Jardin de pluie

Source : "The SuDS Manual", Woods Ballard et al. 2015



Jardinière surélevée

Source : "The SuDS Manual", Woods Ballard et al. 2015

■ Noues

Noues

Les noues sont des canaux végétalisés peu profonds conçus pour stocker temporairement les eaux de ruissellement en surface et permettre leur collecte ou leur infiltration. Elles utilisent le sol en place. Une noue peut-être :

- sèche = sèche à la base hors évènements pluvieux
- humide = humide à la base même en dehors des évènements pluvieux

Elle peut être simplement engazonnée ou bien plantée à la base.



Noue sèche

Source : "The SuDS Manual", Woods Ballard et al. 2015



Noue sèche plantée

Crédit photo : INRAE



Noue humide

Source : "The SuDS Manual", Woods Ballard et al. 2015

■ Autres solutions

Autres

D'autres solutions végétalisées permettent la gestion des eaux de ruissellement :

- les arbres de pluie = arbres dont la fosse est adaptée pour accueillir les eaux de ruissellement
- les dalles gazon = grilles plastiques ou bétonnées ensemencées d'herbe
- les bandes végétatives filtrantes = zones végétalisées en pente douce
- les tranchées drainantes plantées = tranchées peu profondes remplies de pierres ou graviers et plantées



Arbre de pluie

Source : "The SuDS Manual", Woods Ballard et al. 2015



Dalles gazon

Crédit photo : INRAE



Bandes filtrantes

Source : "The SuDS Manual", Woods Ballard et al. 2015



Tranchées drainantes

Source : "The SuDS Manual", Woods Ballard et al. 2015

X. Annexe 2 : Guyane (synthèse des cartes consultées)

■ Cumuls pluviométriques annuels

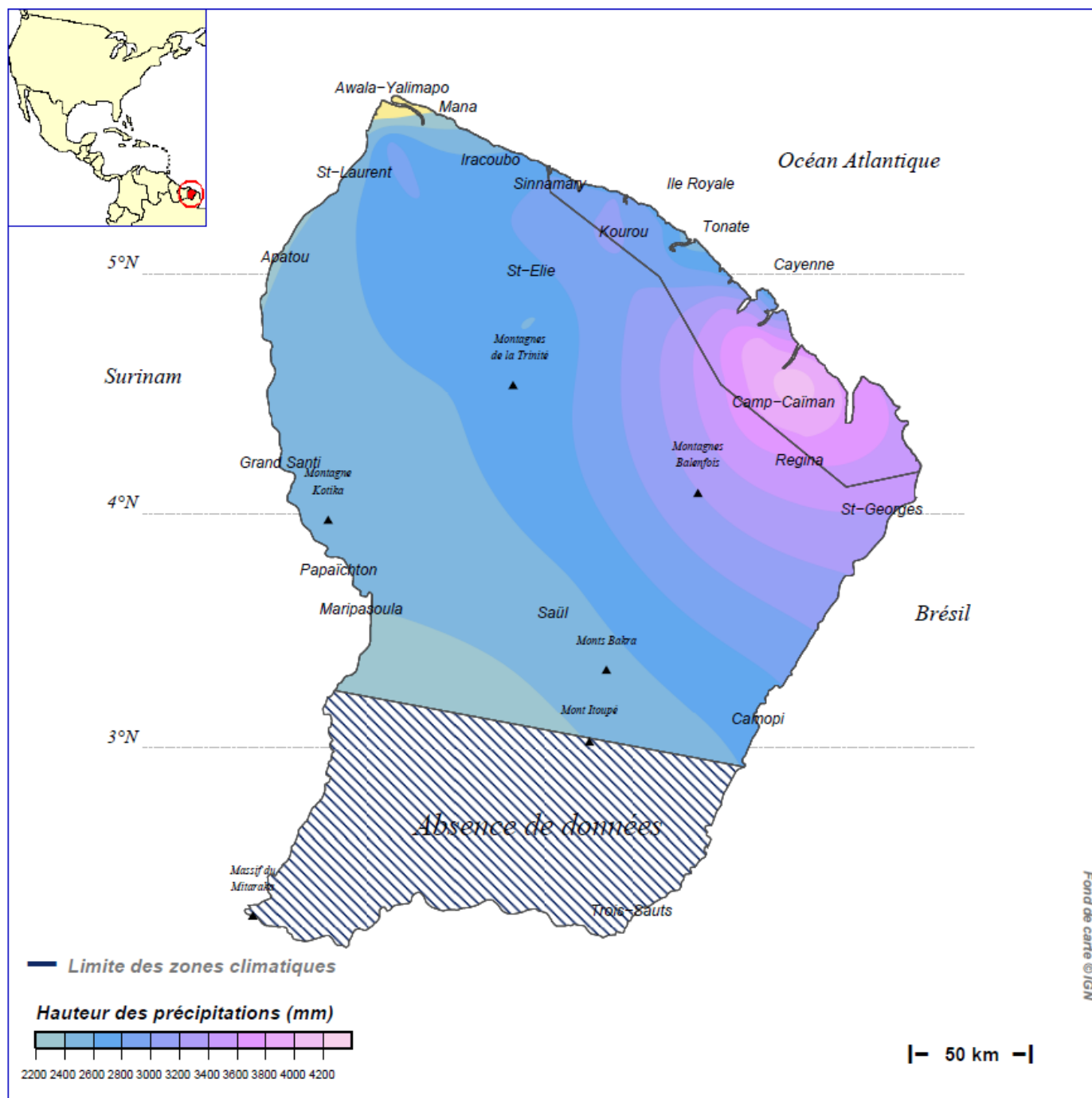


Figure 36 : moyenne annuelle des cumuls pluviométriques en Guyane sur la période 1991-2020.
(Source : Météo-France, édition du 07/10/2022)

■ Taux d'imperméabilisation

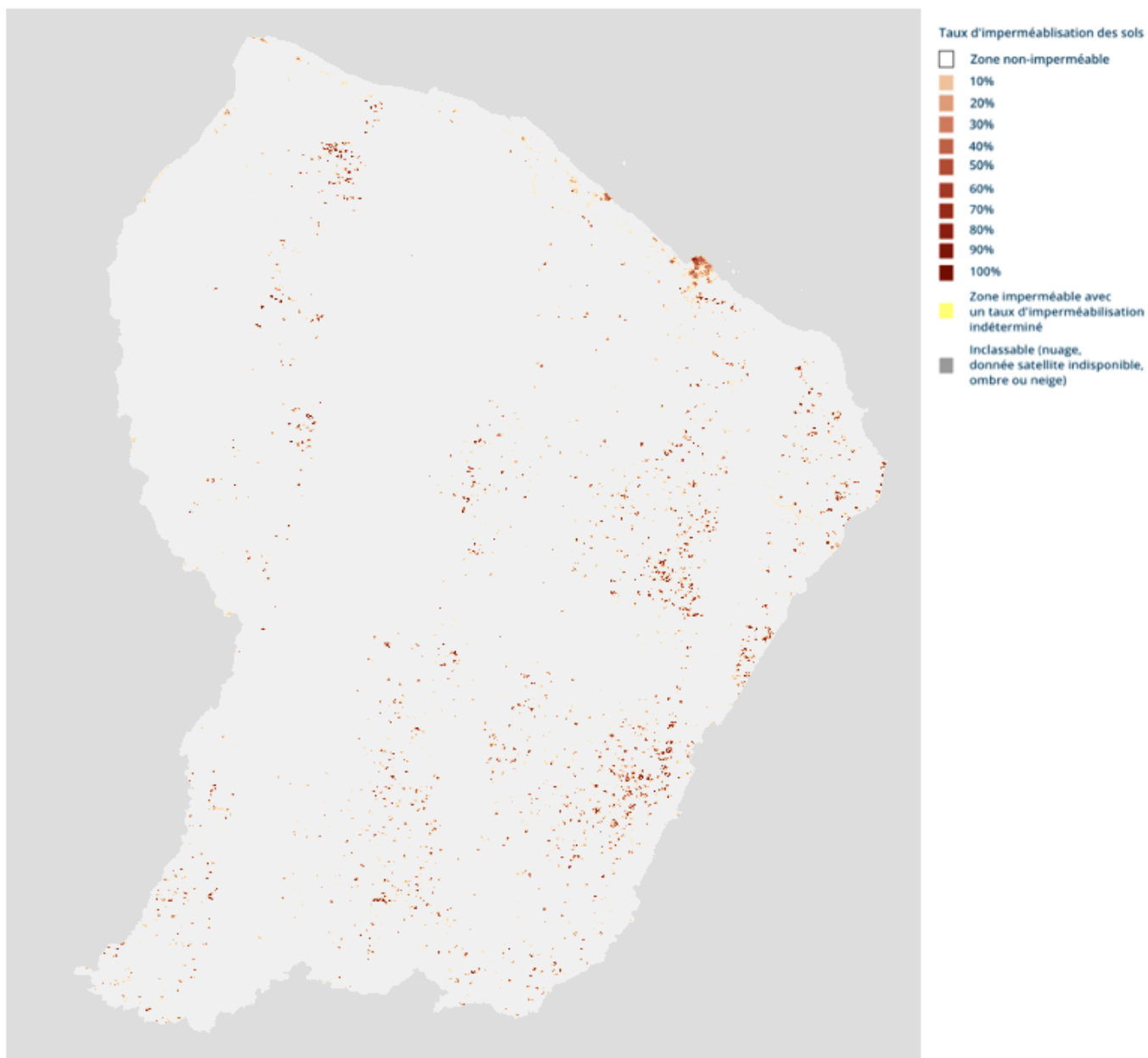


Figure 37 : taux d'imperméabilisation des sols en Guyane (Corine Land Cover 2015, résolution de 20 m).
(Source : <https://www.geoportail.gouv.fr/>)

XI. Annexe 3 : Guadeloupe (synthèse des cartes consultées)

■ Cumuls pluviométriques annuels

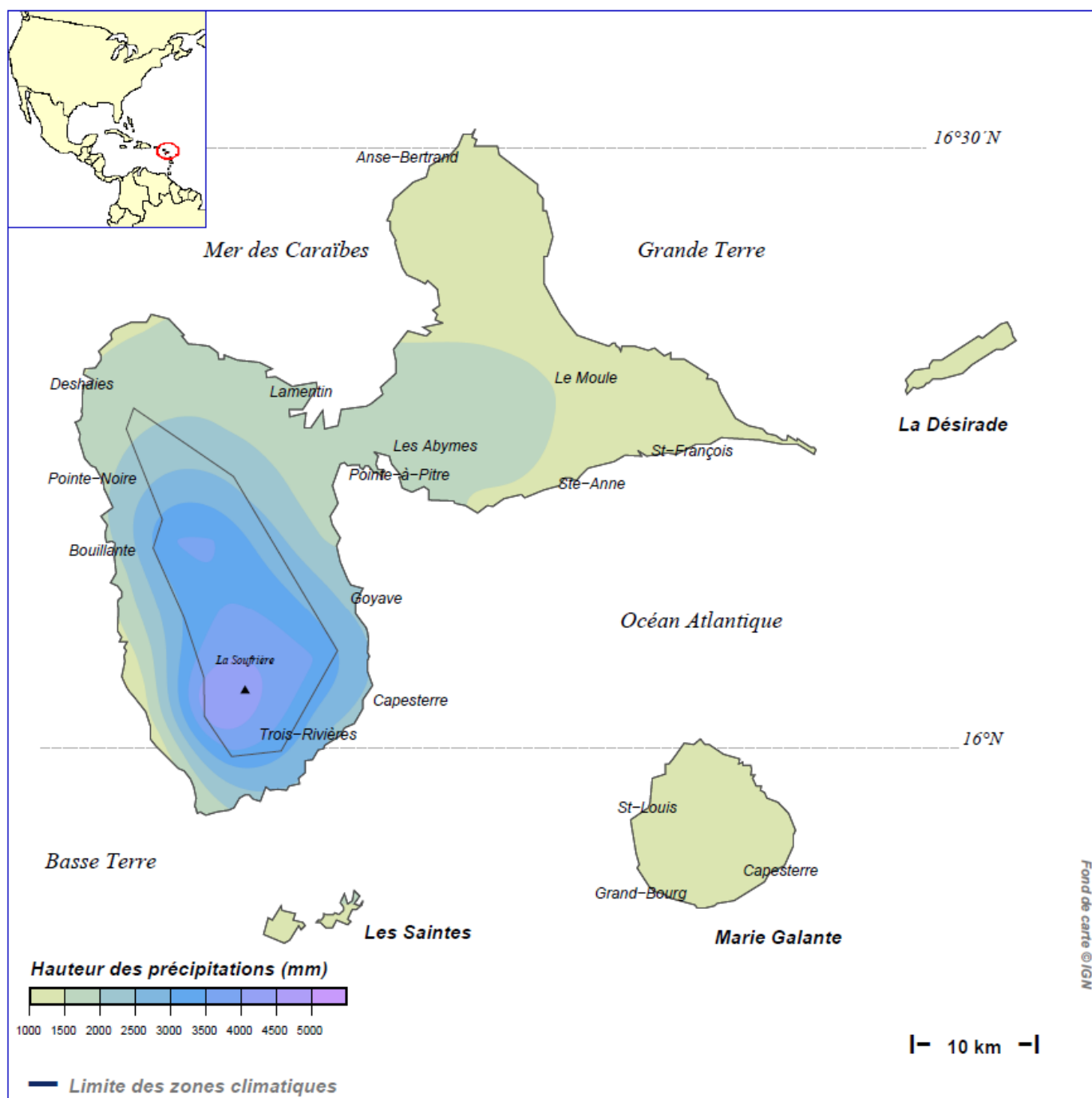


Figure 38 : moyenne annuelle des cumuls pluviométriques en Guadeloupe sur la période 1991-2020.
(Source : Météo-France, édition du 07/10/2022)

■ Taux d'imperméabilisation

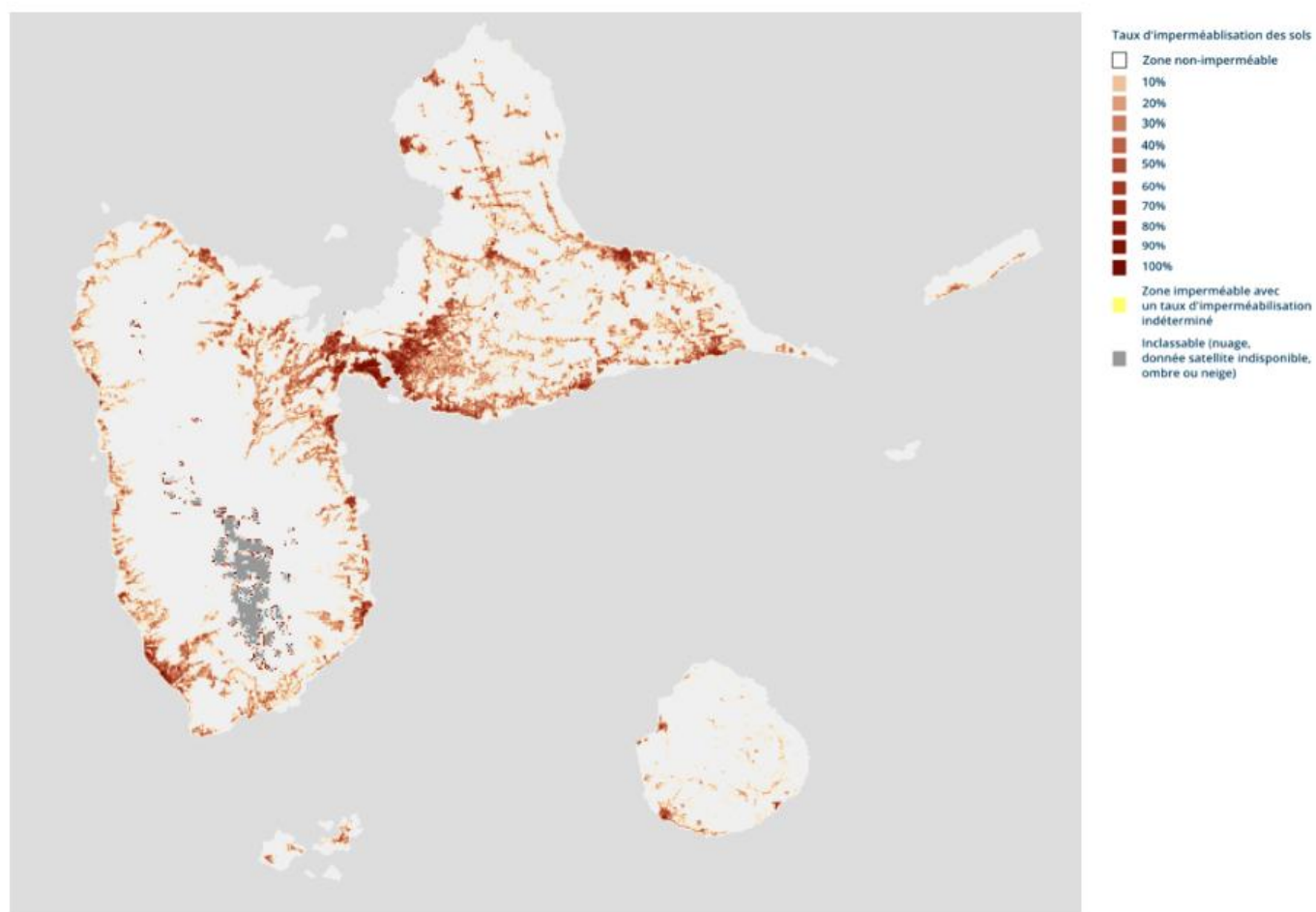


Figure 39 : taux d'imperméabilisation des sols en Guadeloupe (Corine Land Cover 2015, résolution de 20 m).
(Source : <https://www.geoportail.gouv.fr/>)

XII. Annexe 4 : Martinique (synthèse des cartes consultées)

- Cumuls pluviométriques annuels

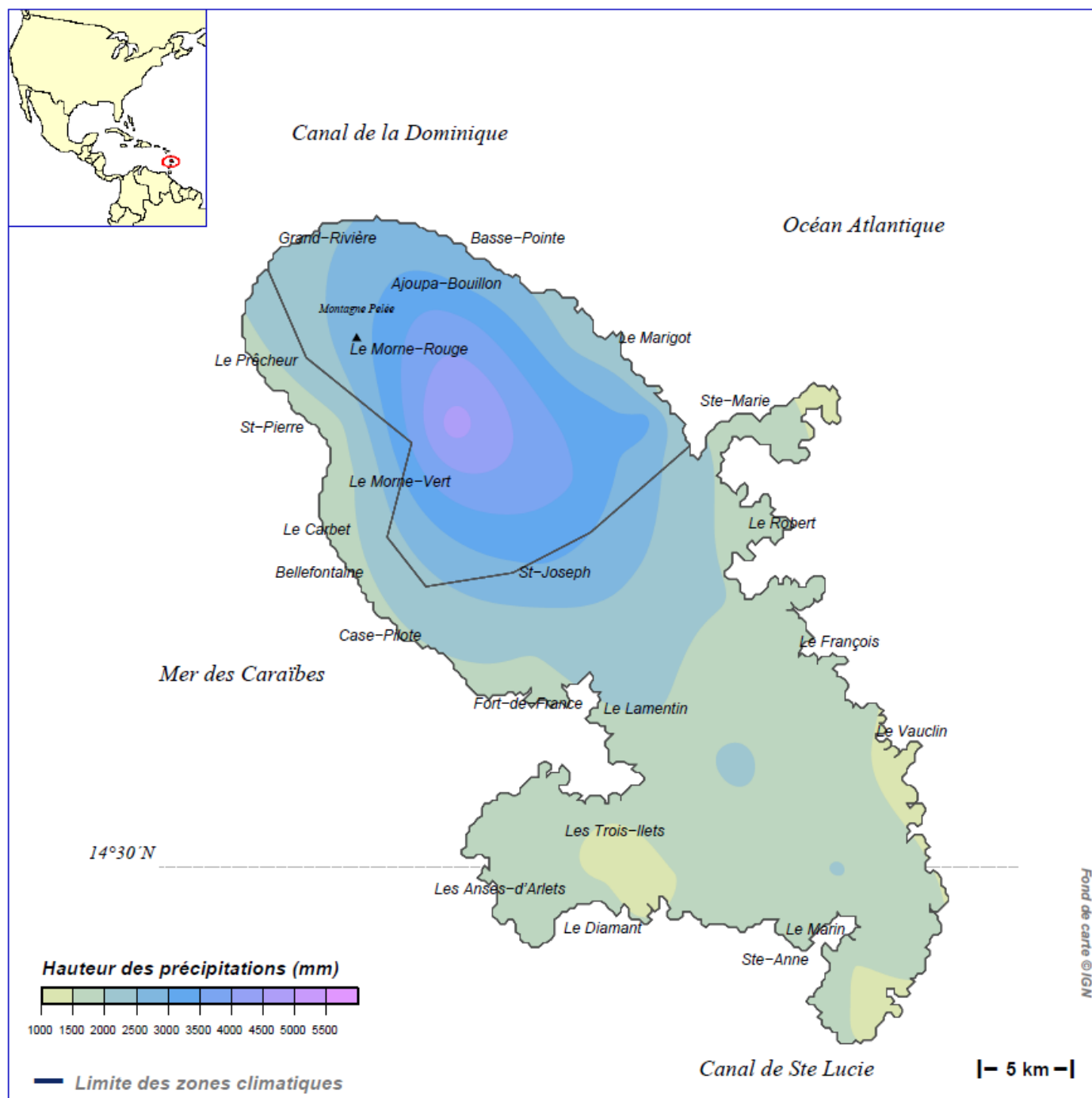


Figure 40 : moyenne annuelle des cumuls pluviométriques en Martinique sur la période 1991-2020.
(Source : Météo-France, édition du 07/10/2022)

- Taux d'imperméabilisation

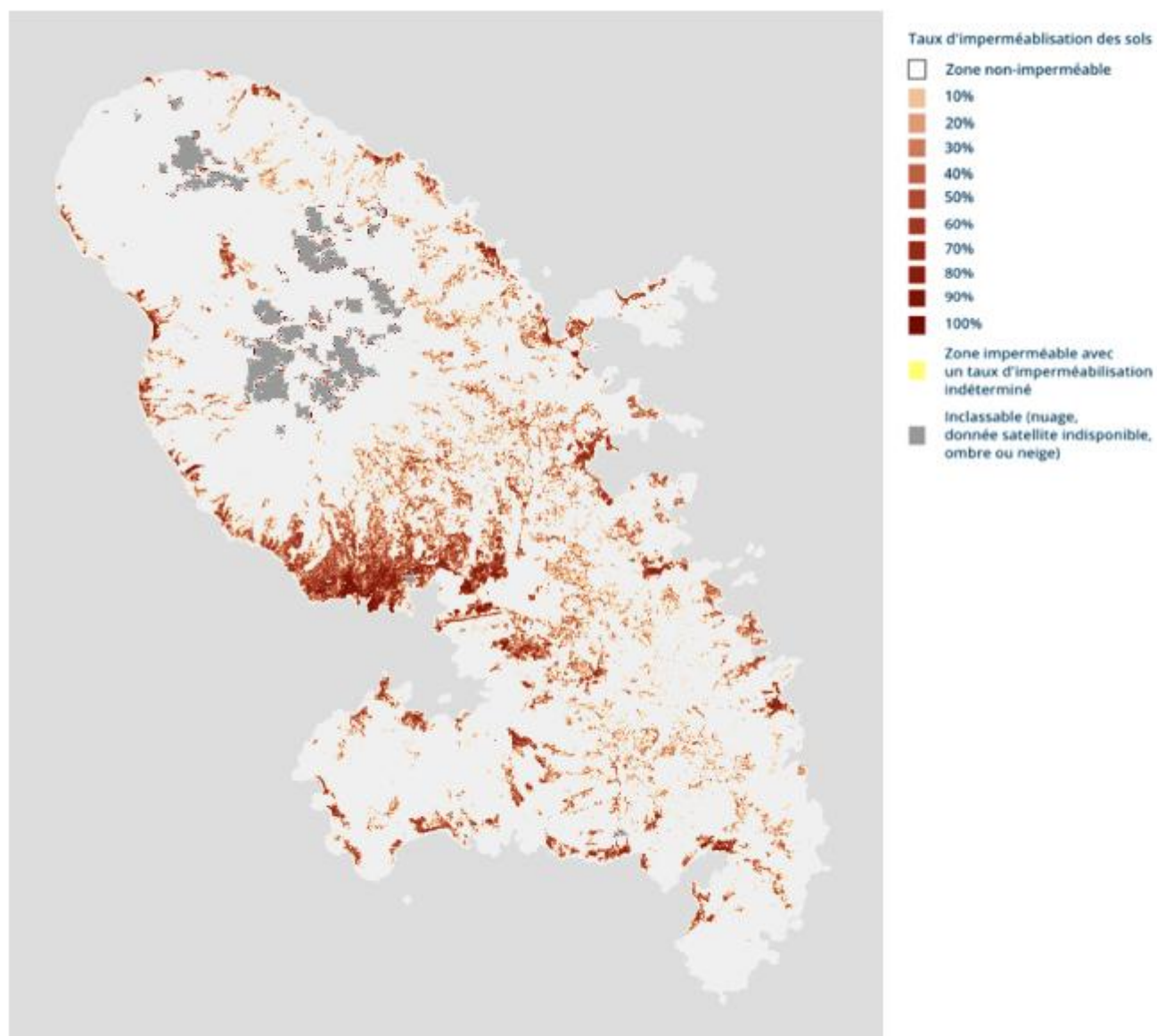


Figure 41 : taux d'imperméabilisation des sols en Martinique (Corine Land Cover 2015, résolution de 20 m).
(Source : <https://www.geoportail.gouv.fr/>)

XIII. Annexe 5 : Mayotte (synthèse des cartes consultées)

- Cumuls pluviométriques annuels

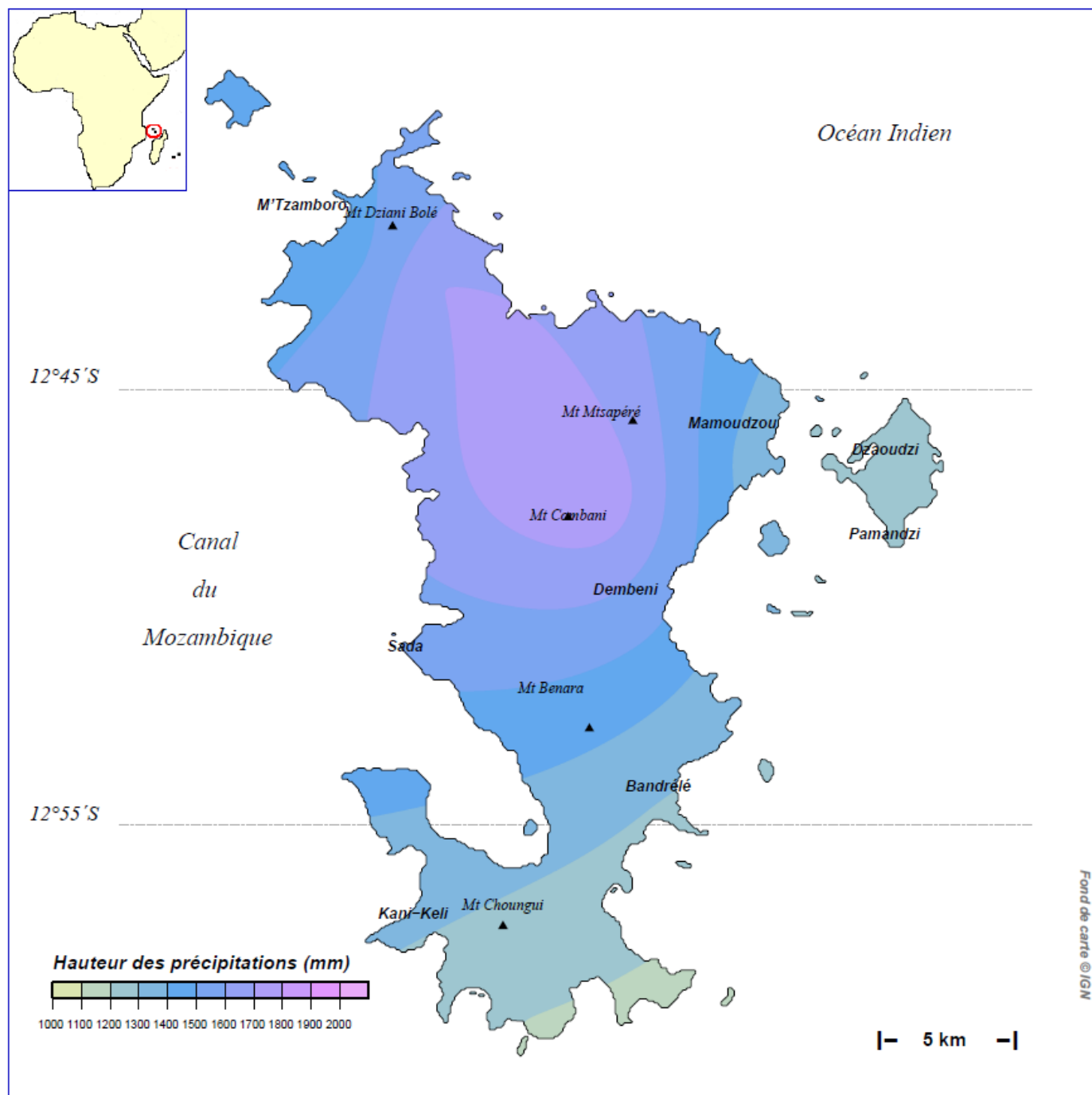


Figure 42 : moyenne annuelle des cumuls pluviométriques à Mayotte sur la période 1991-2020.
(Source : Météo-France, édition du 07/10/2022)

- Taux d'imperméabilisation

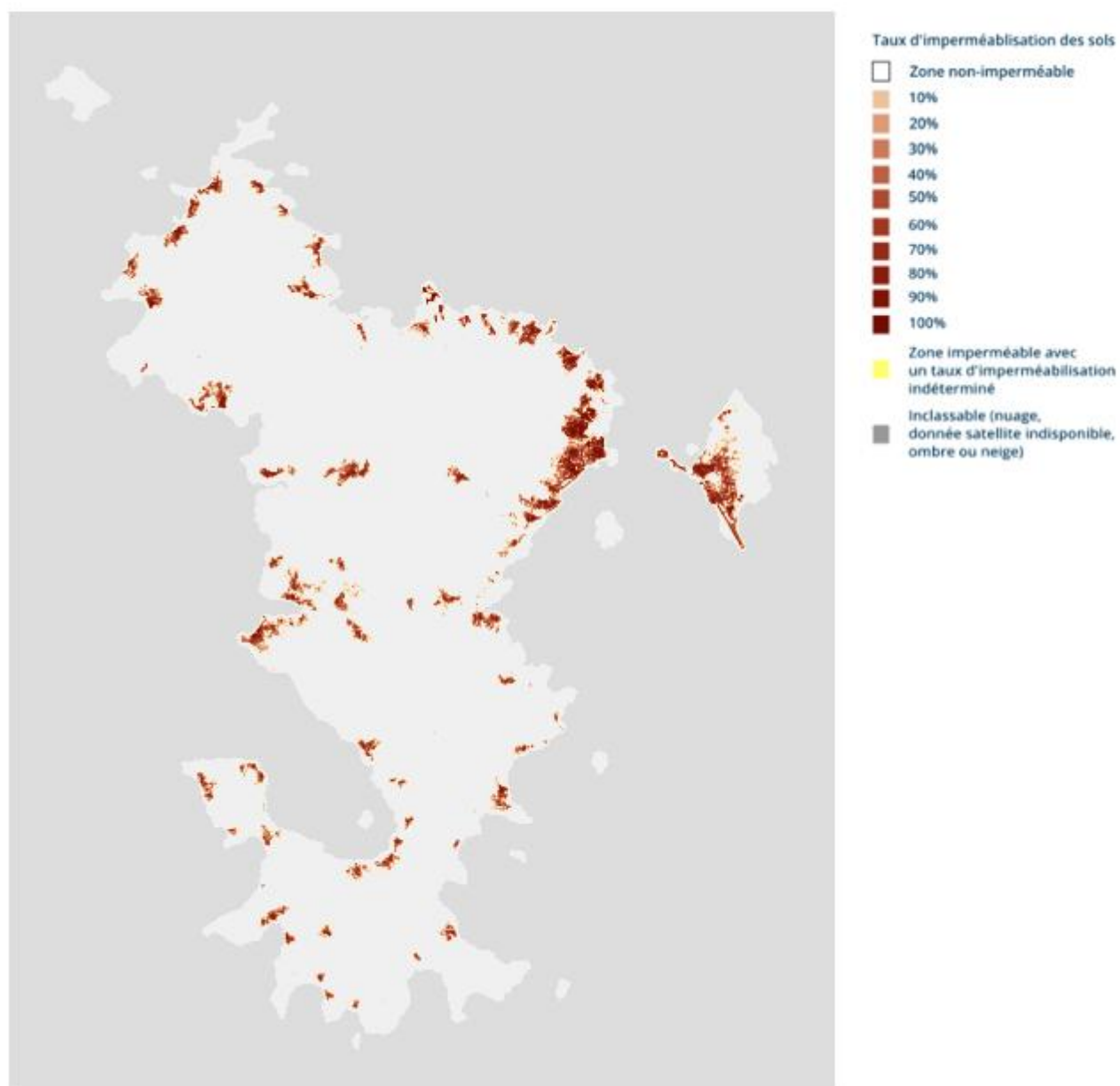


Figure 43 : taux d'imperméabilisation des sols à Mayotte (Corine Land Cover 2015, résolution de 20 m).
(Source : <https://www.geoportail.gouv.fr/>)

XIV. Annexe 6 : La Réunion (synthèse des cartes consultées)

■ Cumuls pluviométriques annuels

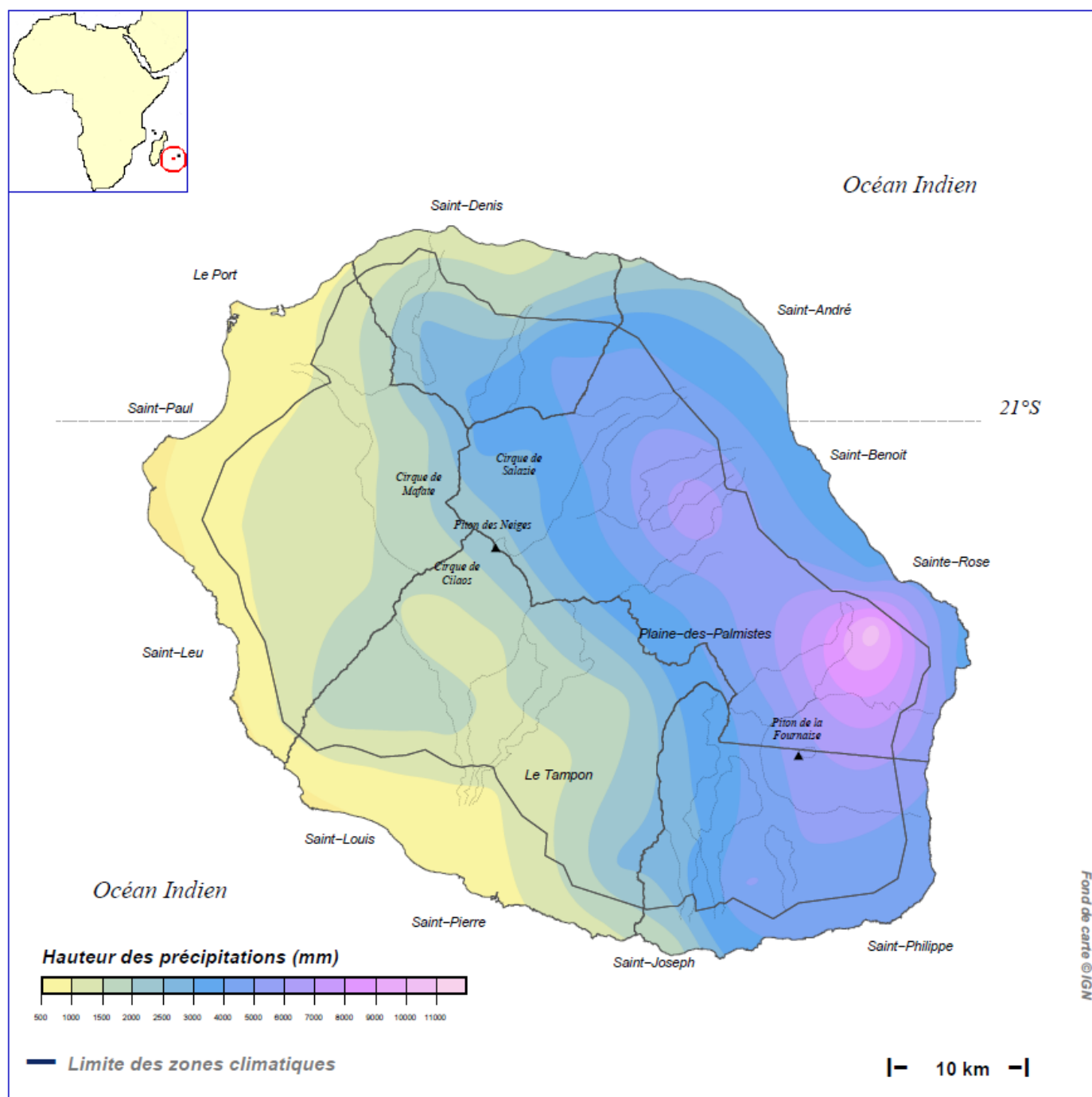


Figure 44 : moyenne annuelle des cumuls pluviométriques à La Réunion sur la période 1991-2020.
(Source : Météo-France, édition du 07/10/2022)

■ Taux d'imperméabilisation

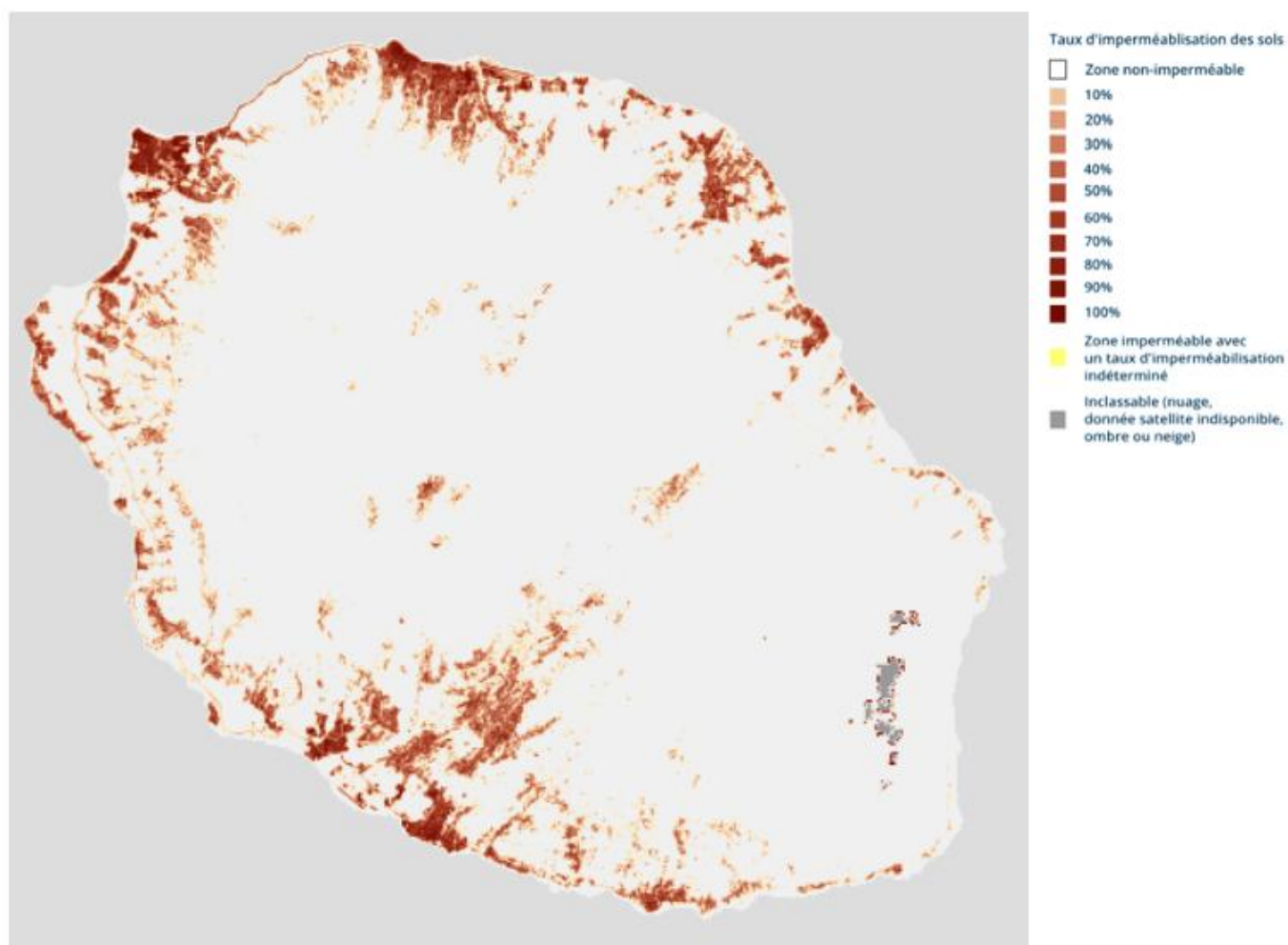


Figure 45 : taux d'imperméabilisation des sols à Mayotte (Corine Land Cover 2015, résolution de 20 m).
(Source : <https://www.geoportail.gouv.fr/>)

XV. Annexe 7 : France hexagonale (synthèse des cartes consultées)

- Cumuls pluviométriques annuels

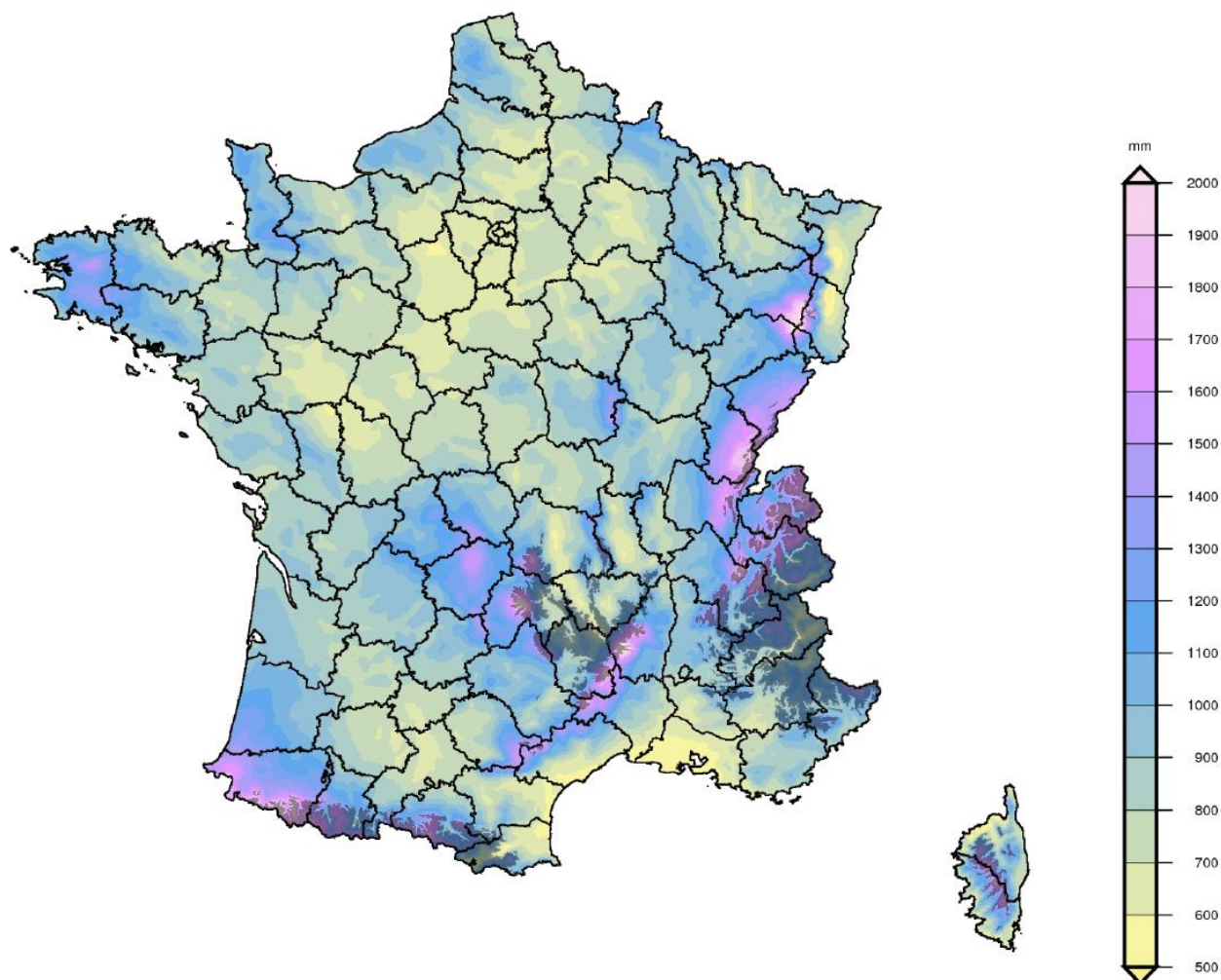


Figure 46 : moyenne annuelle des cumuls pluviométriques sur le territoire hexagonal sur la période 1991-2020.
(Source : Météo-France, édition du 20/09/2022)