

## PING GIRI - Étude ciblée de différents sites en vue de l'expérimentation d'aménagements adaptés pour une gestion locale des eaux pluviales



### **Guide méthodologique pour la définition d'aménagements de gestion des eaux pluviales**

Mars 2022



# Table des matières

---

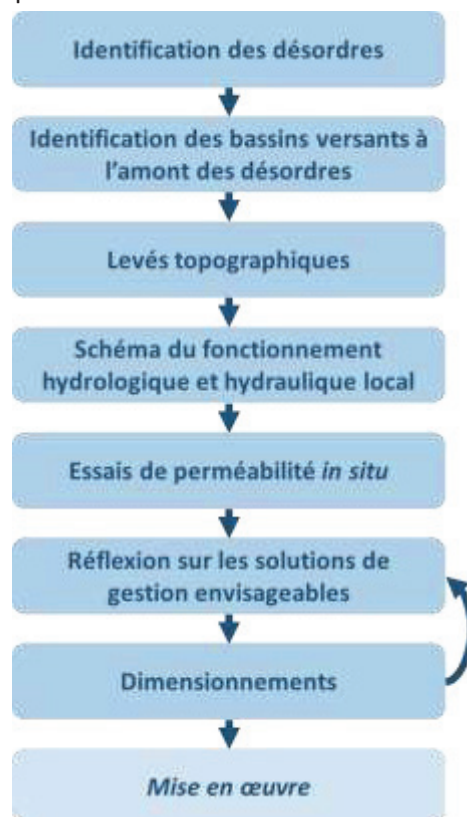
<b>OBJET DE CE GUIDE METHODOLOGIQUE .....</b>	<b>3</b>
<b>1. IDENTIFICATION DES DESORDRES – VISITES DE TERRAIN .....</b>	<b>3</b>
<b>2. IDENTIFICATION DES BASSINS VERSANTS A L'AMONT DES DESORDRES.....</b>	<b>5</b>
<b>3. IDENTIFICATION DES LEVES TOPOGRAPHIQUES COMPLEMENTAIRES .....</b>	<b>6</b>
<b>4. SCHEMA SIMPLIFIE DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE LOCAL .....</b>	<b>7</b>
<b>5. REALISATION D'ESSAIS D'INFILTRATION SUPERFICIELS .....</b>	<b>8</b>
<b>6. REFLEXION SUR LA GESTION A METTRE EN PLACE .....</b>	<b>9</b>
<b>7. PREDIMENSIONNEMENT : CALCUL DES VOLUMES D'EAU .....</b>	<b>12</b>
<b>8. CHANGEMENT CLIMATIQUE .....</b>	<b>14</b>
<b>ANNEXE : TABLEUR DE PREDIMENSIONNEMENT DES VOLUMES A STOCKER.....</b>	<b>15</b>

## Objet de ce guide méthodologique

Le présent document est un outil destiné à permettre à l'équipe GRET-URBASEN d'étudier des sites subissant des désordres liés aux ruissellements dans la région de Dakar, et à définir des solutions d'aménagement adaptées pour réduire la vulnérabilité des sites concernés.

Il propose une méthodologie similaire à celle appliquée par SEPIA Conseils lors de l'étude de plusieurs sites pilotes, dans le cadre du projet PING GIRI.

Les différentes étapes de cette démarche, de l'identification des désordres jusqu'à la définition de solutions et aux dimensionnements, sont présentées sur le schéma ci-contre et détaillées ci-après.



## 1. Identification des désordres – Visites de terrain

La première étape consiste à **identifier et à caractériser** les désordres liés aux ruissellements, c'est-à-dire à en évaluer **la fréquence, les niveaux d'eau atteints, les causes et les conséquences**.

Pour cela, on s'appuiera sur :

- **des rencontres avec les habitants et les représentants des communes**, afin de recueillir leurs témoignages concernant les désordres (fréquence, durée, zones inondées, niveaux d'eau atteints, etc.), leurs conséquences (difficultés de circulation, inondation des habitations, etc.), ainsi que des informations sur des éventuelles **actions déjà entreprises par les habitants** (mise en place de protections temporaires ou permanentes, déblais ou remblais sur l'espace public, etc.) ;
- la **collecte des reportages vidéo**, décrivant les désordres et fournissant des informations supplémentaires sur leurs fréquences et leurs conséquences ;
- la **collecte des données météorologiques**, nécessaire pour identifier les événements à l'origine des désordres, et estimer leurs caractéristiques (période de retour, durée, intensité) ;

De plus, des **visites de terrain** peuvent être réalisées afin :

- de repérer des **indices** relatifs aux **niveaux d'eau** atteints, tels que des traces ou des lignes sur les murs, des murets construits devant les habitations ou des sacs de sables mis en place, etc. ;
- de repérer les **principaux points vulnérables** : points bas, zones de stagnation d'eau, habitations dont les seuils sont trop bas par rapport au niveau de l'espace public ;
- de **repérer les éventuels éléments participant aux désordres** : espaces imperméabilisés, zones remblayées par des matériaux peu perméables, ouvrages d'assainissement dysfonctionnels (par exemple : grille colmatée) ;
- de réaliser une **première identification du type de sol** (sable, latérite...).



*Exemple de point bas imperméabilisé et sur lequel des eaux stagnent (Djaka Ndiador)*



*À gauche : Exemple de protection mise en place par les riverains (Hamo IV)*



*À droite : exemple de ruelle remblayée à l'aide de gravats (Hamo IV)*



## 2. Identification des bassins versants à l'amont des désordres

Les désordres sont généralement liés à une accumulation d'eaux de ruissellement à des points bas, à des endroits en situation de « cuvette topographique » où une évacuation gravitaire des eaux est impossible ou très limitée.

Il est donc nécessaire d'étudier la topographie, à partir du MNT et/ou des relevés de géomètre, afin :

- de repérer les points bas ;
- d'identifier les principaux axes d'écoulement de l'eau jusqu'aux endroits subissant les désordres, en étudiant les pentes longitudinales des voiries (et, le cas échéant, les pentes transversales) ;
- puis de délimiter les bassins versants dont les eaux de ruissellement atteignent les sites des désordres ; cette délimitation étant réalisée en repérant les lignes de crête, les points hauts.

Il est important de vérifier ces informations par des visites de terrain, afin de lever les doutes éventuels sur les sens d'écoulement de l'eau ou les dénivelés. Le MNT et les relevés topographiques peuvent en effet ne pas être à jour, ou présenter des incohérences ou des lacunes.



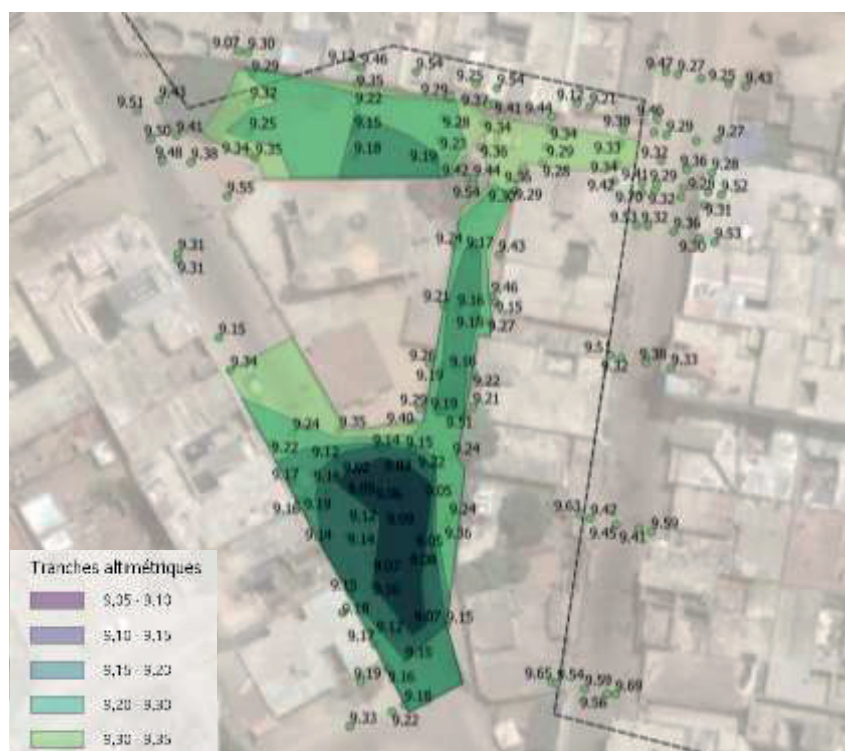
Exemple d'identification des axes d'écoulement et de délimitation du bassin versant (Djaka Djanor)

### 3. Identification des levés topographiques complémentaires

L'étude de solutions d'aménagement peut nécessiter des **levés topographiques complémentaires**. Il s'agit :

- d'une part, de **relevés de la topographie de surface**, lorsque les données disponibles ne sont pas fiables ou sont incomplètes. Il convient notamment de relever : les points bas, les points hauts, les profils des voies à intervalles réguliers, les façades, les seuils des bâtiments, les limites des revêtements lorsqu'ils existent, les éventuels murets, etc. Par ailleurs, l'étendue des relevés doit couvrir à minima l'ensemble de la zone potentiellement inondée **et** de la zone pressentie pour les aménagements, jusqu'à l'exutoire s'il existe.
- d'autre part, de **relevés des réseaux d'assainissement pluvial**, lorsqu'ils existent. Il convient de relever à minima : l'emplacement des regards et avaloirs ; pour chaque regard ou avaloir, la cote du tampon ou de la grille, la cote du radier et les cotes de fil d'eau ; les diamètres des canalisations ; le cas échéant, le type de réseau (unitaire / séparatif).

Ces relevés sont destinés d'une part à **lever des doutes** (pentes, possibilités d'écoulement gravitaire, possibilités de raccordement à un réseau), et d'autre part à **étudier le calage altimétrique des aménagements** projetés, en particulier les fils d'eau des ouvrages.



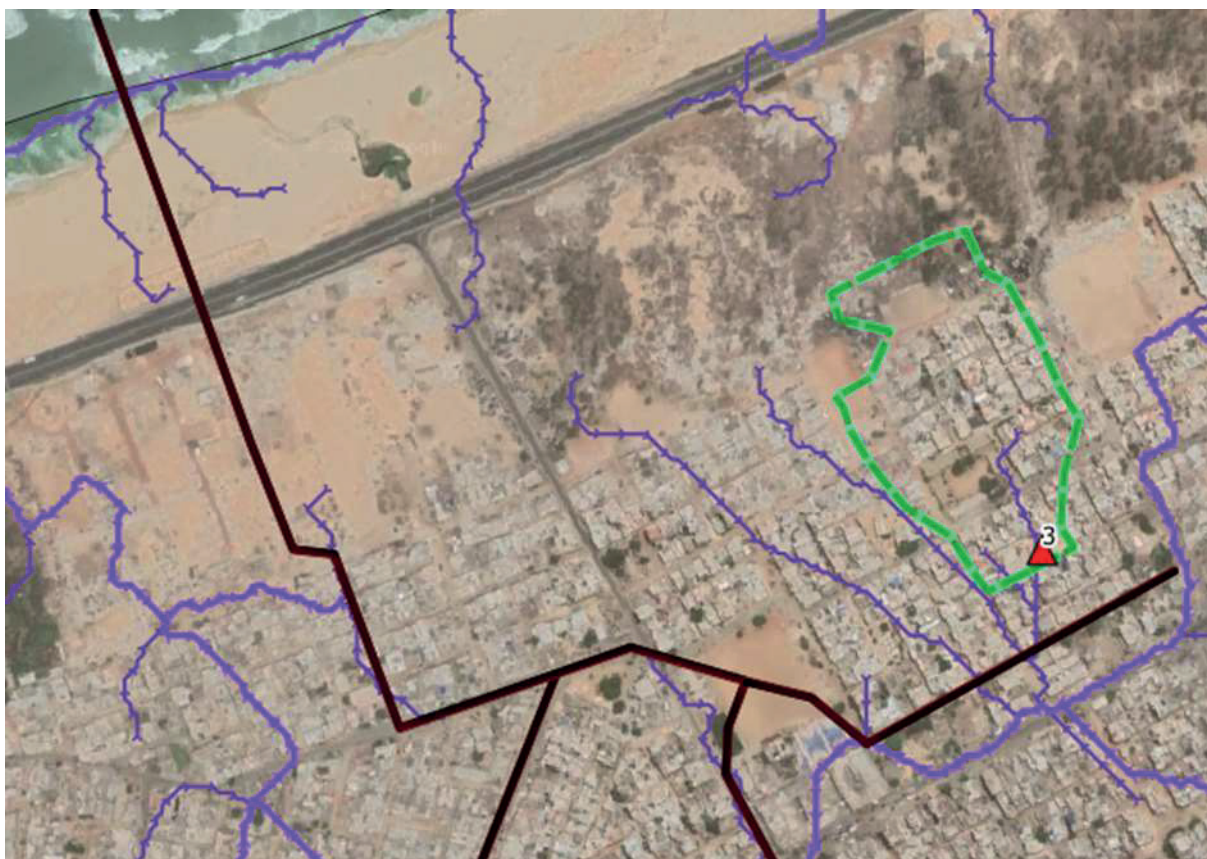
*Exemple d'exploitation d'un relevé topographique : étude de l'inondabilité d'un site pour plusieurs cotes altimétriques*

## 4. Schéma simplifié du fonctionnement hydrologique et hydraulique local

Les informations collectées jusqu'à présent pourront être synthétisées sur un schéma comportant :

- Le bassin versant en amont du désordre ;
- Les axes de ruissellement ;
- Les zones de stagnation de l'eau, les points bas ;
- Les éventuels réseaux existants ou futurs sur les avenues principales (se reporter aux cartes du PDD présentant l'ossature des réseaux projetés), points de rejets potentiels des aménagements ;
- Les obstacles aux écoulements ou à l'infiltration.

Un tel schéma permet d'appréhender le fonctionnement hydrologique et hydraulique du site, et constitue un support utile pour ébaucher les premières pistes de solutions.



*Axes d'écoulement des eaux, délimitation du bassin versant et réseaux structurants projetés par le PDD sur le secteur Hamo IV*



## 5. Réalisation d'essais d'infiltration superficiels

La perméabilité du sol est un facteur déterminant :

- pour évaluer les volumes d'eau stockés en surface lors d'une inondation, ou à stocker dans un dispositif d'infiltration projeté ;
- pour évaluer la durée de l'évacuation de l'eau par infiltration.

La réalisation d'essais d'infiltration *in situ* est donc préconisée pour disposer de données sur chaque site étudié. On pourra suivre le mode opératoire utilisé par SEPIA Conseils sur les sites pilotes :

- mise en place d'un anneau métallique d'un mètre de diamètre, légèrement enfoncé dans le sol ;
- remplissage de l'anneau sur une hauteur de l'ordre de 5 cm (50 mm) ;
- suivi de la descente d'eau au pas de temps 2 minutes puis 5 minutes, jusqu'à infiltration totale.

De préférence, on réalisera ces essais sur les zones pressenties pour infiltrer les eaux pluviales. En fonction des caractéristiques du terrain, on pourra réaliser un second essai à faible profondeur (pour atteindre une couche de sol différente), ou en décompactant la couche superficielle, ou encore en la remplaçant par un autre matériau plus perméable que le matériau existant.



*Mise en place de l'anneau légèrement enfoncé dans le sol*



*Suivi d'un essai à 20 cm de profondeur (à gauche) et mise en place d'un essai sur sable décompacté (à droite)*

## 6. Réflexion sur la gestion à mettre en place

Une fois les éléments de diagnostic rassemblés, des solutions d'aménagement et de gestion des eaux pluviales peuvent être définies. Il s'agit de mettre en place une gestion des pluies et des ruissellements urbains par « niveaux de services » qui assureront respectivement :

- l'infiltration des **pluies courantes** (pluies les moins intenses) *in situ*, à l'échelle d'une rue ou d'un quartier, sur les espaces perméables (souvent en sable);
- l'évacuation organisée des **pluies fortes**, *a priori* essentiellement en surface sur les avenues principales et en partie par des réseaux enterrés ;
- la protection contre les inondations , lors des **pluies exceptionnelles**, des quartiers vulnérables, dans leur ensemble, puis à l'échelle des immeubles d'habitation.

Pour cela, plusieurs types de solutions peuvent être mis en œuvre :

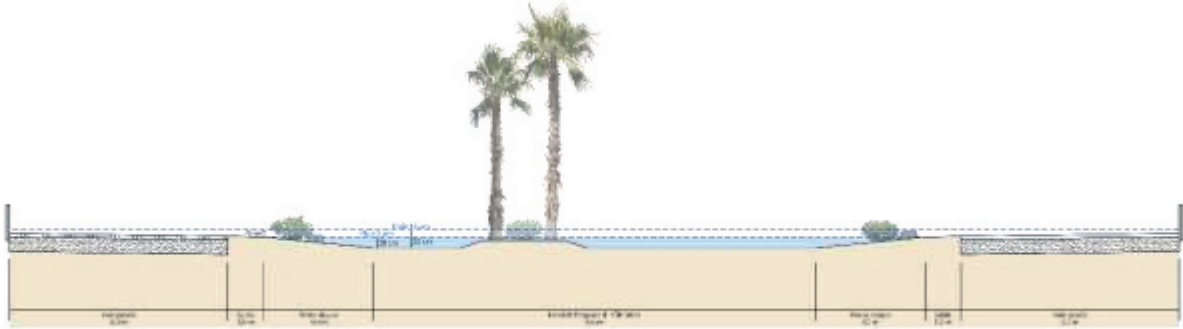
- **Protection contre les apports amont :**
  - **Aménagement d'arrêtoirs** pour maintenir les écoulements sur les avenues principales et isoler les quartiers vulnérables ;



Exemple d'aménagement d'un arrêtoir d'eau (photomontage : GRET)

- **Augmentation de la capacité d'infiltration :**
  - **Identification et suppression des obstacles à l'infiltration**, tels que des remblais en latérite, des déchets, des gravats /matériaux de construction déposés sur les ruelles, des dalles, etc. ;
  - **Suppression de revêtements imperméables** s'ils ne sont pas indispensables (dalles, parkings, voies revêtues.) ;

- **Mise en place d'espaces décaissés** (placette, bosquet...) pour le stockage et l'infiltration des eaux, dimensionnés pour un événement pluvieux d'une certaine période de retour (en fonction des opportunités d'infiltration et de l'étendue du bassin versant)



*Exemple d'aménagement d'une placette décaissée pour l'infiltration des eaux pluviales*

- **Création d'un réseau secondaire permettant l'évacuation des eaux** ; selon la topographie, les emprises disponibles et les contraintes du site, il peut s'agir :
  - d'une conduite enterrée raccordée à une conduite existante (réseau primaire) ;
  - d'un caniveau ou petit canal à ciel ouvert, raccordé au réseau primaire ou à un axe d'écoulement d'eau en surface ;

La capacité d'écoulement (débit) de ce type d'ouvrage peut être évaluée par la formule de Manning-Strickler.



*Exemple de caniveau à ciel ouvert permettant l'écoulement des eaux vers l'aval*



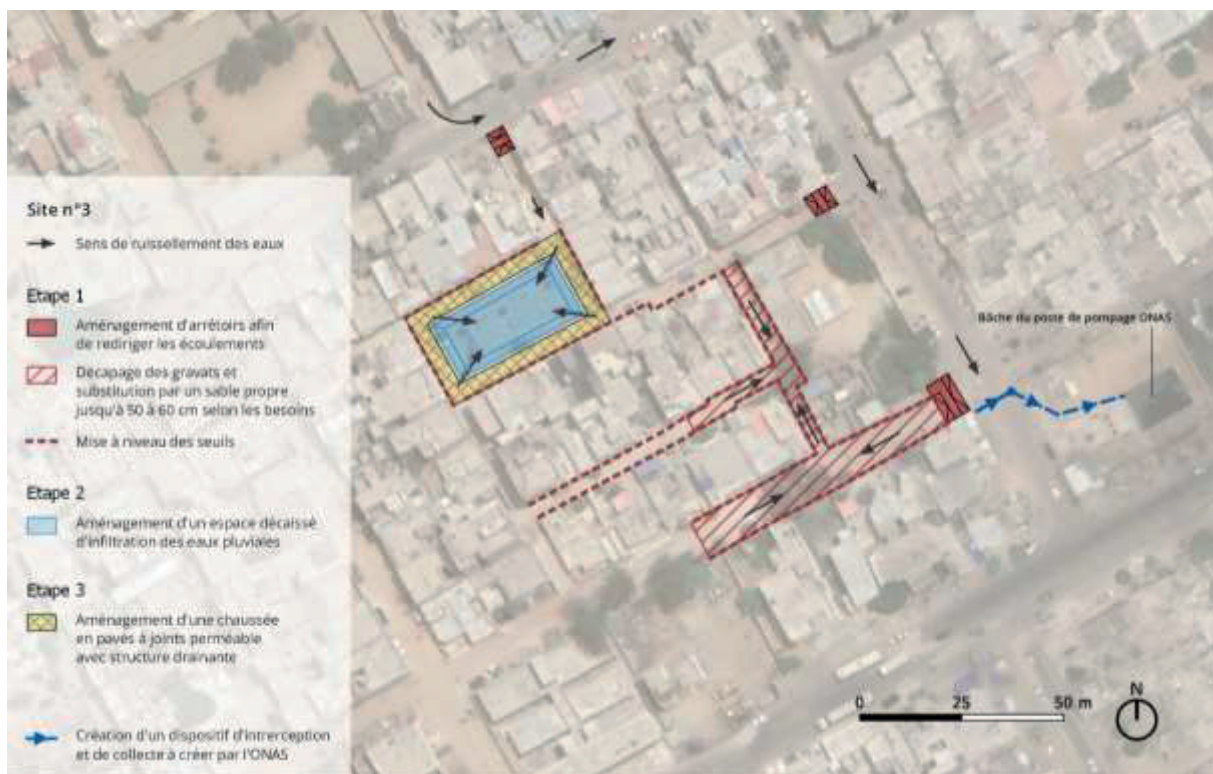
- **Réduction de la vulnérabilité :**

- **Calage des seuils** ou aménagement de courettes anglaises, en fonction des hauteurs d'eau identifiées lors des inondations anciennes ou éventuellement par le calcul.



*Exemple de courrette anglaise mise en place par des habitants (Djaka Djanor)*

La combinaison de plusieurs types de solutions est généralement utile pour réduire autant que possible la vulnérabilité d'un site vis-à-vis du risque d'inondation.



*Exemple de schéma de solutions d'aménagement (Hamo IV)*



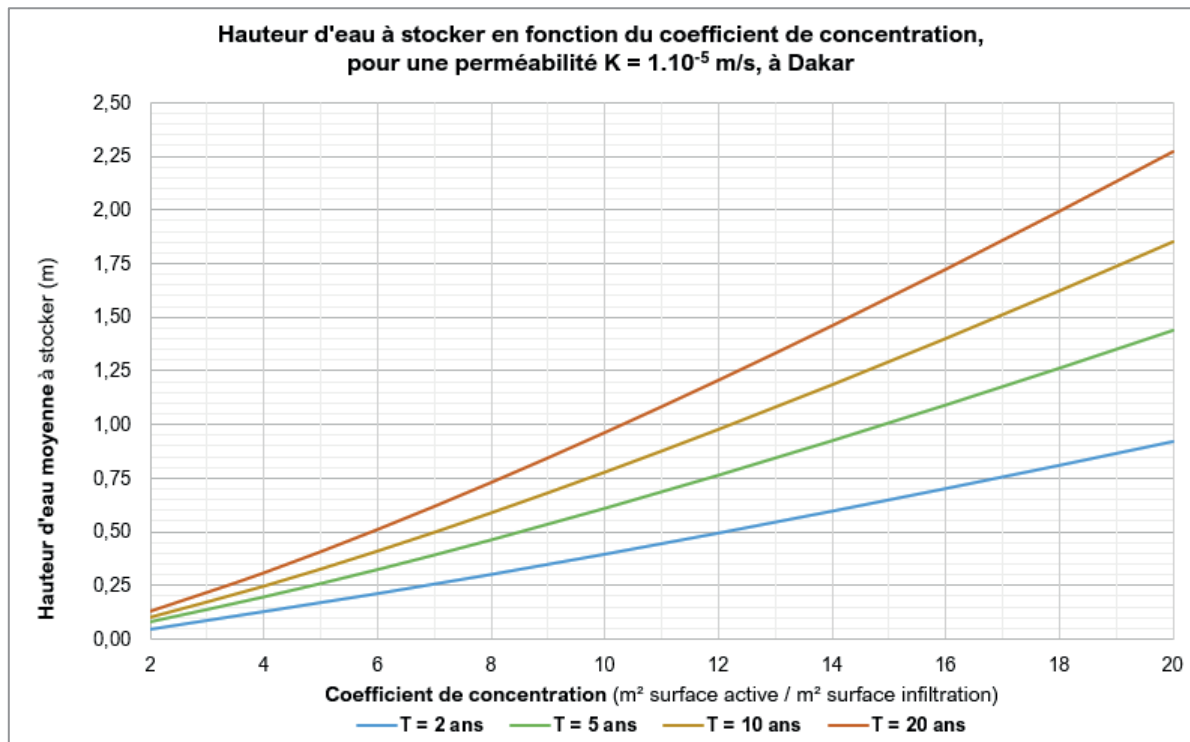
## 7. Prédimensionnement : calcul des volumes d'eau

La définition de solutions d'aménagement nécessite de calculer des volumes d'eaux pluviales :

- pour estimer les volumes d'eau en jeu lors des inondations, les hauteurs d'eau, etc. ;
- pour dimensionner les dispositifs d'infiltration.

Il est proposé dans un premier temps de réaliser des calculs simples, à partir de **ratios de volumes à stocker** définis en fonction :

- de la **période de retour** de l'événement pluvieux considéré ;
- de la **perméabilité** (vitesse d'infiltration) du sol ;
- du **coefficient de concentration**, c'est-à-dire le rapport entre la surface active collectée (surface générant du ruissellement) : toitures, dalles – courettes, voiries revêtues, ... et la surface d'infiltration. Par exemple, pour un bassin versant de 1 000 m<sup>2</sup> dont les eaux pluviales peuvent être infiltrées sur une surface de 200 m<sup>2</sup>, le coefficient de concentration est de  $1\,000 \div 200 = 5$ . On cherchera à réduire autant que possible ce coefficient de concentration, de manière à limiter les hauteurs d'eau stockées et le temps de vidange : pour cela, les surfaces d'infiltration doivent être les plus étendues possibles, et dans l'idéal du même ordre de grandeur que les surfaces collectées.



*Hauteurs d'eau à stocker en fonction du coefficient de concentration et de la période de retour, pour une perméabilité  $K = 1 \cdot 10^{-5}$  m/s*

**Un tableau de prédimensionnement** est fourni en annexe de ce document. Il indique des ratios pour différentes périodes de retour (2 ans, 5 ans, 10 ans et 20 ans) et pour trois types de perméabilités :

- **K =  $1.10^{-5}$  m/s** (soit 36 mm/h), correspondant à un **sol sableux compacté** (pour mémoire, les mesures effectuées par SEPIA Conseils en septembre 2021 sur les sols sableux ont mis en évidence des perméabilités comprises entre  $1,5.10^{-5}$  m/s et  $2,5.10^{-5}$  m/s) ;
- **K =  $2.10^{-5}$  m/s** (soit 72 mm/h), correspondant à un **sol sableux** ;
- **K =  $5.10^{-6}$  m/s** (soit 18 mm/h), correspondant à un **sol sableux sur couche de latérite** (valeurs mesurées par SEPIA Conseils sur ce type de sol comprises entre  $5.10^{-6}$  m/s et  $8.10^{-6}$  m/s).

Ces ratios ont été calculés par la méthode des pluies (dont les formules et principes sont indiquées dans le tableau de prédimensionnement).

N.B. : Les ratios fournis sont basés sur des données pluviométriques locales, et ne sont donc valables que pour Dakar et ses environs.

De plus, il est conseillé de réaliser des mesures de perméabilité *in situ* afin de disposer de données locales et d'affiner les dimensionnements (cf. paragraphe 5).

Outre le volume de stockage, il est important d'estimer les deux paramètres suivants :

- la **hauteur d'eau** atteinte sur la surface d'infiltration ;
- le **temps de ressuyage** ou temps de vidange, calculé ainsi :

$$\begin{aligned} \text{Temps de vidange} &= \text{Volume} \div \text{Débit d'infiltration} \\ &= \text{Volume} \div (\text{Vitesse d'infiltration} \times \text{Surface d'infiltration}) \end{aligned}$$

**Lorsque le temps de ressuyage estimé est important, il peut dans certains cas être utile d'ajouter une vidange gravitaire** (après identification des exutoires possibles). Le temps de vidange est alors calculé comme suit :

$$\text{Temps de vidange} = \text{Volume} \div (\text{Débit d'infiltration} + \text{Débit de fuite})$$

où le **débit de fuite** est le débit évacué vers l'exutoire (à distinguer du débit infiltré vers le sous-sol).

Par ailleurs, il est à noter que **la définition d'une solution d'aménagement et son dimensionnement est un processus itératif** : des ajustements de la solution envisagée et du dimensionnement sont souvent à réaliser jusqu'à ce qu'une solution satisfaisante soit trouvée en termes de surface d'infiltration, de hauteur d'eau, et de temps de vidange.

## 8. Changement climatique

---

Comme évoqué dans le rapport d'étude complet (page 5) remis au GRET / URBASEN, l'incertitude est aujourd'hui trop forte pour prévoir précisément l'impact du changement climatique sur les pluies de durées infra journalières et il est en particulier difficile d'affirmer à ce stade que les évènements extrêmes vont s'intensifier en Afrique de l'Ouest. Quel que soit l'évolution réelle, il est certain que des pluies fortes vont continuer à se produire ; il est donc recommandé de viser un niveau de dimensionnement ambitieux pour les dispositifs de gestion des eaux pluviales et d'anticiper les conséquences en cas de dépassement (mise en place de dispositifs d'alerte et de réactions, réhausse des seuils des habitations - cf. page 11).

## Annexe : Tableau de prédimensionnement des volumes à stocker

Le tableur est consultable ici :



Outil\_predimensionnement\_PING\_GIRI\_5

Il comprend

- les feuilles de calculs pour les volumes à stocker pour des périodes de retour de pluie de 2, 5, 10 et 20 ans, selon trois coefficients d'imperméabilisation ( $K = 0.5 \cdot 10^{-5}$  ;  $1 \cdot 10^{-5}$  ;  $2 \cdot 10^{-5}$  m/s) ;
- un rappel des formules Manning Strickler pour le dimensionnement des dispositifs d'évacuation ;
- les formules et paramètres utilisés.



Exemple d'une feuille de calculs pour les volumes à stocker pour  $K = 0.5 \cdot 10^{-5}$



DAKAR – PING GIRI – PRÉDIMENSIONNEMENT DES VOLUMES D'EAU À STOCKER pour une perméabilité  $K = 5 \cdot 10^{-6}$  m/s = 18 mm/h (sol de type sableux sur laérite)

Ratios de volume à stocker en fonction du coefficient de concentration – perméabilité $K = 5 \cdot 10^{-6}$ m/s						
coefficient de concentration = surface active collectée = surface d'infiltration						
Période de retour T	T = 2 ans	T = 5 ans	T = 10 ans	T = 20 ans		
Coefficient de concentration ou c	Volume à stocker par m <sup>2</sup> de surface d'infiltration (m <sup>3</sup> )	Temps de vidange (heures)	Volume à stocker par m <sup>2</sup> de surface d'infiltration (m <sup>3</sup> )	Temps de vidange (heures)	Temps de vidange (heures)	
1	0,02	1	0,04	1	0,07	2
2	0,06	2	0,10	3	0,15	4
4	0,15	4	0,23	6	0,36	10
6	0,25	7	0,38	11	0,43	14
8	0,35	10	0,55	15	0,70	19
10	0,46	13	0,72	20	0,93	26
12	0,58	16	0,90	25	1,16	32
14	0,69	19	1,09	30	1,41	39
16	0,82	23	1,28	36	1,66	46
18	0,94	26	1,43	41	1,93	54
20	1,07	30	1,70	47	2,20	61

Calcul pour un coefficient de concentration spécifique – perméabilité  $K = 5 \cdot 10^{-6}$  m/s

Données	
Surface active collectée (m <sup>2</sup> )	Valeur à renseigner
Surface d'infiltration (m <sup>2</sup> )	Valeur à renseigner
Débit de ruée (L/s)	Valeur à renseigner - Optionnel

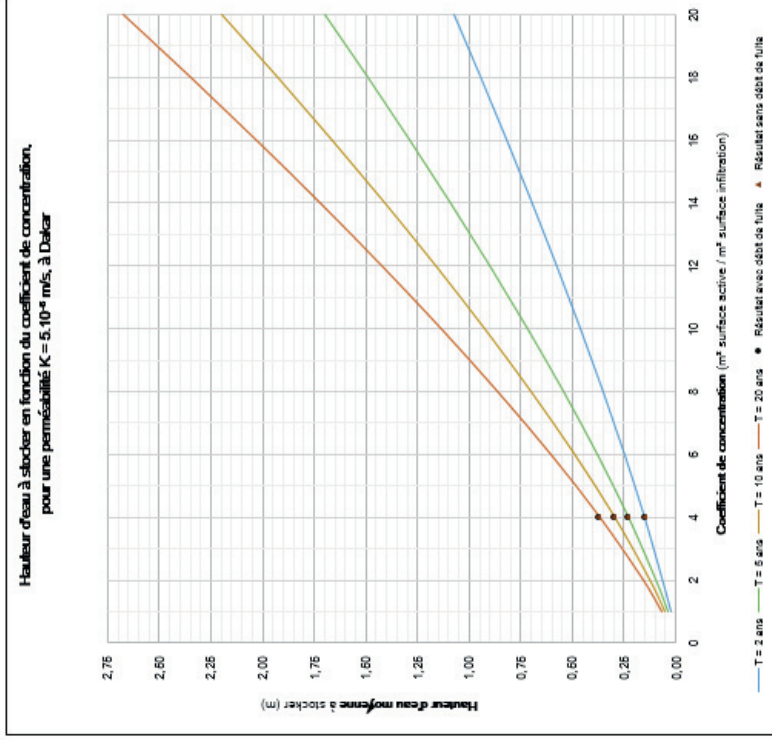
  

Résultats – Sans débit de fuite					
Débit d'infiltration (L/s)	5,0	Calculs automatiquement			
Coefficient de concentration	4,0	Calculs automatiquement - Débit être inférieur à 2,0			
Période de retour	T = 2 ans	T = 5 ans	T = 10 ans	T = 20 ans	
Volume d'eau à stocker (m <sup>3</sup> )	78	119	153	183	
Hauteur d'eau moyenne à stocker (m)	0,16	0,24	0,31	0,38	
Temps de vidange (h)	4	7	8	10	

Résultats – Avec débit de fuite					
Débit d'évaporation total (L/s)	5,0	Calculs automatiquement			
C. de concentration équivalent	4,0	Calculs automatiquement - Débit être inférieur à 2,0			
Période de retour	T = 2 ans	T = 5 ans	T = 10 ans	T = 20 ans	
Volume d'eau à stocker (m <sup>3</sup> )	78	119	153	183	
Hauteur d'eau moyenne à stocker (m)	0,16	0,24	0,31	0,38	
Temps de vidange (h)	4	7	8	10	

Légende	
Valeur à renseigner	
Erreur	
Hauteur d'eau > 50 cm	
Hauteur d'eau > 1m	
Temps de vidange > 48 h	



Hauteur d'eau à stocker en fonction du coefficient de concentration, pour une perméabilité  $K = 5 \cdot 10^{-6}$  m/s, à Dakar

— T = 2 ans — T = 5 ans — T = 10 ans — T = 20 ans • Résultat avec débit de fuite ▲ Résultat sans débit de fuite



*Rappel des formules Manning Strickler pour le dimensionnement des dispositifs d'évacuation :*



**DAKAR – PING GIRI – PRÉDIMENSIONNEMENT DE DISPOSITIFS D'ÉVACUATION**  
**Formule de Manning-Strickler**

Capacité d'une canalisation circulaire (calcul à pleine section)	
Calcul du diamètre nécessaire, en fonction du débit et de la pente	
Débit (L/s)	88,0
Pente de la canalisation $i$ (mm)	0,010
Coefficient de rugosité $K_s$ ( $m^{1/3}/s$ )	70
Section d'écoulement $S$ ( $m^2$ )	0,13
Rayon hydraulique $R_h$ (m)	0,10
Vitesse d'écoulement (m/s)	1,51
Diamètre de la canalisation $D$ (m)	0,400
Calcul automatique, arrondi au décimètre supérieur	
Calcul de la capacité d'écoulement, en fonction du diamètre et de la pente	
Diamètre de la canalisation $D$ (m)	0,300
Pente de la canalisation $i$ (mm)	0,010
Coefficient de rugosité $K_s$ ( $m^{1/3}/s$ )	70
Section d'écoulement $S$ ( $m^2$ )	0,07
Rayon hydraulique $R_h$ (m)	0,08
Vitesse d'écoulement (m/s)	1,24
Débit (L/s)	88,0
Calculé automatiquement	

Capacité d'un caniveau à section rectangulaire	
Calcul de la capacité d'écoulement, en fonction des dimensions et de la pente	
Largeur interne du caniveau (m)	0,400
Hauteur d'eau maximale (m)	0,150
Pente longitudinale $i$ (mm)	0,003
Coefficient de rugosité $K_s$ ( $m^{1/3}/s$ )	50
Section d'écoulement $S$ ( $m^2$ )	0,06
Rayon hydraulique $R_h$ (m)	0,09
Vitesse d'écoulement (m/s)	0,53
Débit (L/s)	31,9
Calcul automatique	

Aide au choix du coefficient $K_s$	
Canalisation en béton (légèrement engravée)	60
Canalisation en PVC (légèrement engravée)	65
Caniveau en béton	60
Caniveau enherbé, gravillonné, maçonné	50

Légende	
Valeur à renseigner	
Erreur	

SEPIA Conseils – Mars 2022





**Prédimensionnement des volumes de stockage – Méthode des pluies**

**Principe de la méthode des pluies :**  
Calculer le volume de rétention nécessaire pour des pluies de différentes durées (quelques minutes à plusieurs jours) en fonction de la hauteur de précipitations associée, et du débit d'évacuation de l'ouvrage ; le volume de stockage retenu est le volume le plus important.

**Calcul de la hauteur de précipitations en fonction de la durée de pluie - Formule de Montana :**

$h(t) = a \times t^{(1+b)}$  avec  $h$  hauteur de précipitations (mm)  
 $t$  durée de la pluie (min)  
 $a, b$  Coefficients de Montana pour une période de retour donnée

**Calcul du volume de stockage pour une pluie de durée donnée :**

$V_S = V_R - V_E$  avec  $V_S$  Volume à stocker (m<sup>3</sup>)  
 $V_R$  Volume ruisselé (m<sup>3</sup>)  
 $V_E$  Volume évacué pendant la pluie (m<sup>3</sup>)

$V_R = h(t) \times S_A \div 1000$  avec  $S_A$  Surface active (m<sup>2</sup>)

$V_E = (Q_{inf} + Q_f) \times t \div 1000$  avec  $Q_{inf}$  Débit d'infiltration (L/min)  
 $Q_f$  Débit de fuite (L/min)

$Q_{inf} = S_{inf} \times K$  avec  $S_{inf}$  Surface d'infiltration (m<sup>2</sup>)  
 $K$  Coefficient de perméabilité (m/s)

**Calcul du temps de vidange :**

$D_v = V_S \div ((Q_{inf} + Q_f) \times D_v)$  avec  $D_v$  Temps de vidange (heures)

**Coefficients de Montana utilisés (calculés par SEPIA Conseils) :**

Période de retour T	Durées de pluies 6 à 60 minutes		1 à 48 heures	
	a	b	a	b
2 ans	4,607	0,474	19,987	0,822
5 ans	6,331	0,479	25,840	0,805
10 ans	7,167	0,462	30,600	0,800
20 ans	7,435	0,430	38,043	0,808

Attention : les coefficients de Montana ne doivent pas être utilisés en dehors de leur plage de durées de pluies

**Capacité d'écoulement – Formule de Manning-Strickler**

**Calcul du débit capable :**

$Q = V \times S$  avec  $Q$  Débit d'écoulement (m<sup>3</sup>/s)  
 $V$  Vitesse d'écoulement (m/s)  
 $S$  Section d'écoulement (m<sup>2</sup>)

**Calcul de la vitesse d'écoulement - Formule de Manning-Strickler :**  
(valable pour les écoulements à surface libre uniquement)

$V = K_s \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$  avec  $K_s$  Coefficient de rugosité de Strickler (m<sup>1/3</sup>/s)  
 $R_h$  Rayon hydraulique (m)  
 $I^{1/2}$  Pente longitudinale (m/m)

$R_h = S \div P$  avec  $S$  Section d'écoulement (m<sup>2</sup>)  
 $P$  Périmètre mouillé (m)

Pour une canalisation circulaire :  
 $S = \pi \times R^2$  avec  $R$  Rayon de la canalisation (m)  
 $P = 2\pi \times R$

Pour un ouvrage rectangulaire :  
 $S = L \times h$  avec  $L$  Largeur en eau de l'ouvrage  
 $P = L + 2h$  avec  $h$  Hauteur d'eau dans l'ouvrage



