

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Témouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département d'Agroalimentaire



Projet de Fin d'Etudes
Dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275
« Un diplôme, une startup / micro entreprise ou brevet d'invention »
Pour l'obtention du diplôme de Master
Filière : Ecologie et environnement
Spécialité : Ecologie végétale et environnement
THEME :

RainFlow

Soutenu le : 28 juin 2025

Présenté Par :

1/ DARDOUR Bouchra
2/ MEDAR Nesrine

M2 Département d'Agroalimentaire
M2 Département d'Agroalimentaire

Devant le jury composé de :

AMARA Mohamed	MCA	U. Ain Témouchent	Président
BELHACINI Fatima	MCA	U. Ain Témouchent	Examineur
BOUGHALEM Mostafia	Pr.	U. Ain Témouchent	Encadrant 1
KHALFA Ali	MCA	U. Ain Témouchent	Encadrant 2
HANDAOUI Mahfoud	Pr.	U. Ain Témouchent	Encadrant 3
BANIANI Mourad	Dr.	U. Ain Témouchent	Représentant de l'incubateur
BENOUAR Houcine	INSP	APC Ain Témouchent	Partenaire socioéconomique

2025 - 2026

Remerciements

Avant toute chose, nous rendons grâce à Dieu Tout-Puissant, qui nous a donné la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail. C'est par Sa volonté et Sa bienveillance que ce projet a pu voir le jour.

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Madame **BOUGHALEM KASMI Mostafia**, pour son encadrement bienveillant, sa disponibilité et ses conseils avisés tout au long de cette étude. Son accompagnement a été d'un grand apport pour la réalisation de ce mémoire.*

*Nos remerciements vont également à Madame **BENKHAMALLAH Zohra**, pour son suivi et ses orientations précieuses.*

*Nous adressons aussi nos sincères remerciements aux membres du jury, «**AMARA Mohamed**» qui nous ont fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire, et «**BELHACINI Fatima** » pour avoir bien voulu examiner ce travail.*

Nous remercions chaleureusement les institutions qui nous ont soutenues dans la collecte d'informations et la concrétisation du projet, notamment l'Algérienne des Eaux, la Direction de l'Hydraulique, ainsi que l'Assemblée Populaire Communale (APC).

Enfin, nous exprimons toute notre reconnaissance à chaque enseignant qui a fait preuve de bienveillance et de soutien à notre égard, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont, par leur encouragement ou leur attitude inspirante, été un véritable moteur pour nous pousser à aller jusqu'au bout de ce travail

Merci.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents, Nasr El-din et BELKHOUEN Hakima.

Mes sœur Sara et SIDHOUM Marwa.

Mes frères Amine, SEIF Ahmed, Ziad.

Mes neveux, Djoud et Yazen.

Mes chères amies GUENAOUI Ines, YAAKOUB Chaima, Soued, Aya.

Toute femme qui a essayé...mais n'a pas atteint son but.

Tous ceux qui me sont chers.

DARDOUR Bouchra

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers.

À mes parents bien-aimés :

À ma mère Naïma, aucun mot ne saurait exprimer l'amour, le respect et la reconnaissance que je te porte pour tes sacrifices et ton soutien inconditionnel.

À mon père Mohamed, tu es et resteras toujours mon modèle, ma force, et mon trésor, même dans tes gestes les plus simples.

À mes âmes sœurs : Imane et Douaa.

À mon frère Saifeddine.

Et enfin, à ma chère binôme DARDOUR Bouchra : Merci pour ta détermination, ton intelligence et ta collaboration tout au long de ce projet. Grâce à toi, cette expérience a pris tout son sens.

Nesrine

الملخص

تواجه الجزائر عامة و عين تموشنت خاصة في السنوات الأخيرة تحديات كبيرة مرتبطة بندرة المياه، نتيجة التغيرات المناخية وتراجع معدلات التساقط. وفي ظل هذا الوضع، يُلاحظ استمرار استعمال المياه الصالحة للشرب في سقي المساحات الخضراء، مما يشكل ضغطاً إضافياً على الموارد المحدودة، خصوصاً في المناطق الحضرية.

في هذا السياق، جاءت هذه الدراسة لتقديم حل عملي ومستدام يتمثل في تصميم نظام لتجميع واستعمال مياه الأمطار لري حديقة "لالة خديجة" الواقعة بولاية عين تموشنت، والتي تمتد على مساحة تقدر بـ 1.769 هكتار. يعتمد النظام المقترح على تجميع مياه الأمطار من الأسطح غير المنفذة والمساحات الطبيعية داخل الحديقة، وتخزينها في خزان بسعة 1890 م³ مدعوم بحوض مفتوح سعة 400 م³، مع شبكة تصريف تستوعب تدفقاً أقصاه 46.56L/s/لتر/الثانية.

من جهة أخرى، تم تصميم شبكة ري تعتمد على رشاشات دوارة وثابتة لتغطية المساحات المختلفة، مع برمجة مركزية وصمامات كهربائية لتنظيم عملية السقي حسب الحاجة والمناخ. يقدر الاحتياج السنوي للمياه بـ 2905.984 م³، تتم تغطيته بشكل أساسي من مياه الأمطار، مع دعم ثانوي من بئر موجود في الموقع.

توصلت الدراسة إلى أن النظام المقترح قادر على تقليص الاعتماد على المياه الصالحة للشرب، وتوفير مورد مائي مستدام لسقي الفضاءات الخضراء، مع إمكانية تعميمه على مشاريع مماثلة في إطار التنمية الحضرية المستدامة.

الكلمات المفتاحية:

عين تموشنت، حديقة لالة خديجة، مياه الأمطار، ندرة المياه، ري المساحات الخضراء، التنمية المستدامة.

Résumé

L'Algérie en général, et la wilaya de Aïn Témouchent en particulier, font face ces dernières années à d'importants défis liés à la raréfaction des ressources en eau, en raison des changements climatiques et de la baisse des précipitations. Dans ce contexte, l'utilisation continue de l'eau potable pour l'irrigation des espaces verts exerce une pression supplémentaire sur ces ressources limitées, notamment en milieu urbain.

Cette étude propose une solution durable et concrète, à travers la conception d'un système de collecte et d'utilisation des eaux pluviales pour l'irrigation du jardin « Lalla Khadidja » situé à Aïn Témouchent, couvrant une superficie de 1,769 hectares. Le système proposé prévoit la collecte des eaux pluviales à partir des surfaces imperméables et des espaces verts du site, leur stockage dans une citerne de 1890 m³ complétée par un bassin ouvert de 400 m³, ainsi qu'un réseau d'évacuation capable de gérer un débit maximal de 46.56 L/s.

Par ailleurs, un réseau d'irrigation a été conçu, utilisant des arroseurs rotatifs et fixes, piloté par une programmation centrale et des électrovannes, assurant une irrigation adaptée aux besoins et aux conditions climatiques. Les besoins annuels en eau sont estimés à 2905,984 m³, majoritairement couverts par les eaux pluviales, avec un complément assuré par un forage existant sur le site.

L'étude conclut que ce système permet de réduire significativement la dépendance à l'eau potable, tout en assurant une gestion durable des ressources en eau pour les espaces verts, et pourrait être reproduit dans d'autres projets d'aménagement urbain durable.

Mots-clés :

Aïn Témouchent, Jardin Lalla Khadidja, Eaux pluviales, Rareté de l'eau, Irrigation des espaces verts, Développement durable.

Abstract:

In recent years, Algeria in general—and the wilaya of Aïn Témouchent in particular—has been facing serious challenges related to water scarcity due to climate change and decreasing rainfall levels. In this context, the continued use of potable water for irrigating green spaces adds further pressure on already limited resources, especially in urban areas.

This study proposes a practical and sustainable solution by designing a rainwater harvesting and reuse system for the irrigation of “Lalla Khadidja” Park, located in Aïn Témouchent and covering an area of 1.769 hectares. The proposed system collects rainwater from impermeable surfaces and green areas, storing it in a 1890 m³ closed tank, supplemented by an open basin of 400 m³. A drainage network is also included, capable of handling a peak flow of 46.56 L/s.

Furthermore, an irrigation network has been designed using both rotating and fixed sprinklers, controlled by a centralized system and electric valves to adapt watering schedules to actual needs and climatic conditions. The total annual water requirement is estimated at 2905.984 m³, largely covered by harvested rainwater, with a secondary contribution from an existing groundwater well.

The study concludes that the proposed system effectively reduces reliance on potable water and provides a sustainable water resource for green space irrigation, with potential for replication in other urban development projects.

Keywords:

Aïn Témouchent, Lalla Khadidja Park, Rainwater, Water scarcity, Green space irrigation, Sustainable development.

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux.

AEP : Alimentation en Eau Potable.

ANAT : Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire.

B.V : Bassin Versant.

CDF : Conservation Des Forêts.

DRE: Direction ressource hydrique

DHW : Direction de L'hydraulique.

DSA : Direction des Services Agricoles.

NGA : Nord Géographique Algérien.

Obs. : Observation.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONA : Office National. de l'Assainissement.

ONM : Office Nationale de Météorologie.

Table des matières :

Remerciements

Dédicace

Résumé

Liste des matières:

Liste des figures :

Liste des tableaux :

Introduction..... 0

Chapitre I : Cadre théorique

1 Les eaux pluviales :..... 4

1.1 Définition des eaux pluviales :..... 4

1.2 Caractéristiques générales des eaux pluviales et de ruissellement (EPR) : .. 4

1.3 Les avantages de la collecte d'eau de pluie pour l'arrosage :..... 5

1.4 Les principes de la gestions des eaux pluviales :..... 7

2 Les systèmes de collecte des eaux pluviales :..... 7

2.1 Les Toitures Stockantes :..... 7

2.2 Les Noues et Fossés 9

2.3 Les Tranchées 10

2.4 Ls Bassins à Ciel Ouvert :..... 11

2.5 Les Puits d'Infiltration :..... 12

2.6 Les Structures Réservoirs : 13

2.7 Les Marais Filtrants : 14

2.8 Les jardins de pluits 15

3 Les Réseaux de distribution des eaux pluviales :..... 18

3.1 Réseaux séparatifs :..... 18

3.2 Réseaux unitaires : 19

3.3 Techniques alternatives (gestion à la source) 19

3.4 Système de rétention temporaire :..... 20

3.5 . Réseaux Intelligents (Smart Water) 20

4 Technique d'irrigation utilisées dans les jardins publics : 21

4.1 Irrigation par aspersion 21

4.2 Irrigation goutte à goutte..... 21

4.3 Irrigation par capillarité (Oyas)..... 22

4.4 Irrigation intelligente (smart irrigation) 23

4.5	Irrigation enterrés (arrosage automatique).....	23
5	Pratiques mondiales de collecte et distribution des eaux pluviales pour l'irrigation	24
5.1	Chine : Villes éponges pour l'Irrigation Urbaine	24
5.2	Australie (Melbourne) : gestion intégrée en zones arides :.....	25
5.3	États-Unis : Stratégies Territoriales Diversifiées :.....	25
5.4	Brésil	26
5.5	Canada : jardin de pluie de l'université de Sherbrooke :	27
Chapitre II : Etude de cas et conception du système		
1	Présentation générale sur la wilaya d'Ain Témouchent :.....	30
1.1	Localisation et situation géographique	30
1.2	Hydrologie et hydrographie	30
1.3	Situation pédologique	32
1.4	Climat de la région de Ain Témouchent :	32
1.5	Infrastructure hydro agricole disponible dans la Wilaya d'Ain Témouchent : 36	
1.6	Infrastructures disponibles dans la région d'Ain Témouchent ;	36
2	Présentation du milieu d'étude : Jardin Public "Lala Khadidja" – Ain Témouchent	36
2.1	Fiche d'identité :	36
2.2	Situation et Localisation :	38
2.3	Topographie de jardin public	39
2.4	Equipements existants :.....	39
2.5	Espèces végétales :.....	39
2.6	Analyse de la situation actuelle en matière d'irrigation de jardin de Lala Khadidja	41
3	Analyse des besoins en eaux pour l'arrosage :.....	42
3.1	Classification des plantes selon leurs besoins en eau	42
3.2	Gazon et sol nu :	43
3.3	Totale besoin pour l'arrosage :.....	44
4	Détermination de la quantité d'eau de pluie nécessaire.....	44
5	Système proposé : Système de collecte des eaux de pluie par les toitures et bassin à ciel ouvert :	47
5.1	Description technique de système :.....	47
6	Système d'irrigation proposé : Système par aspersion :.....	52
6.1	Composants du système	52

6.2	Programmation de l'irrigation.....	54
7	Description de l'interaction entre le système de collecte et le système d'irrigation par aspersion :	56
8	Les couts du projet :	58
8.1	Système de collecte des eaux pluviales.....	58
8.2	Système d'irrigation par aspersion.....	59
CHAPITRE III : Résultats		
1	Collecte des eaux pluviales.....	62
1.1	Surfaces collectrices :	62
1.2	Système de stockage :	62
2	Système d'irrigation	63
3	Coûts estimés du projet.....	65
CHAPITRE VI : DISCUSSION		
1	Autonomie hydrique : limites de stockage et solutions complémentaires	67
2	Efficacité du dispositif de stockage	68
3	Répartition d'irrigation selon les zones :.....	69
4	Automatisation et contrôle :	69
5	Evaluation économique :.....	69
CONCLUSION		71
Perspectives		73
Référence		74

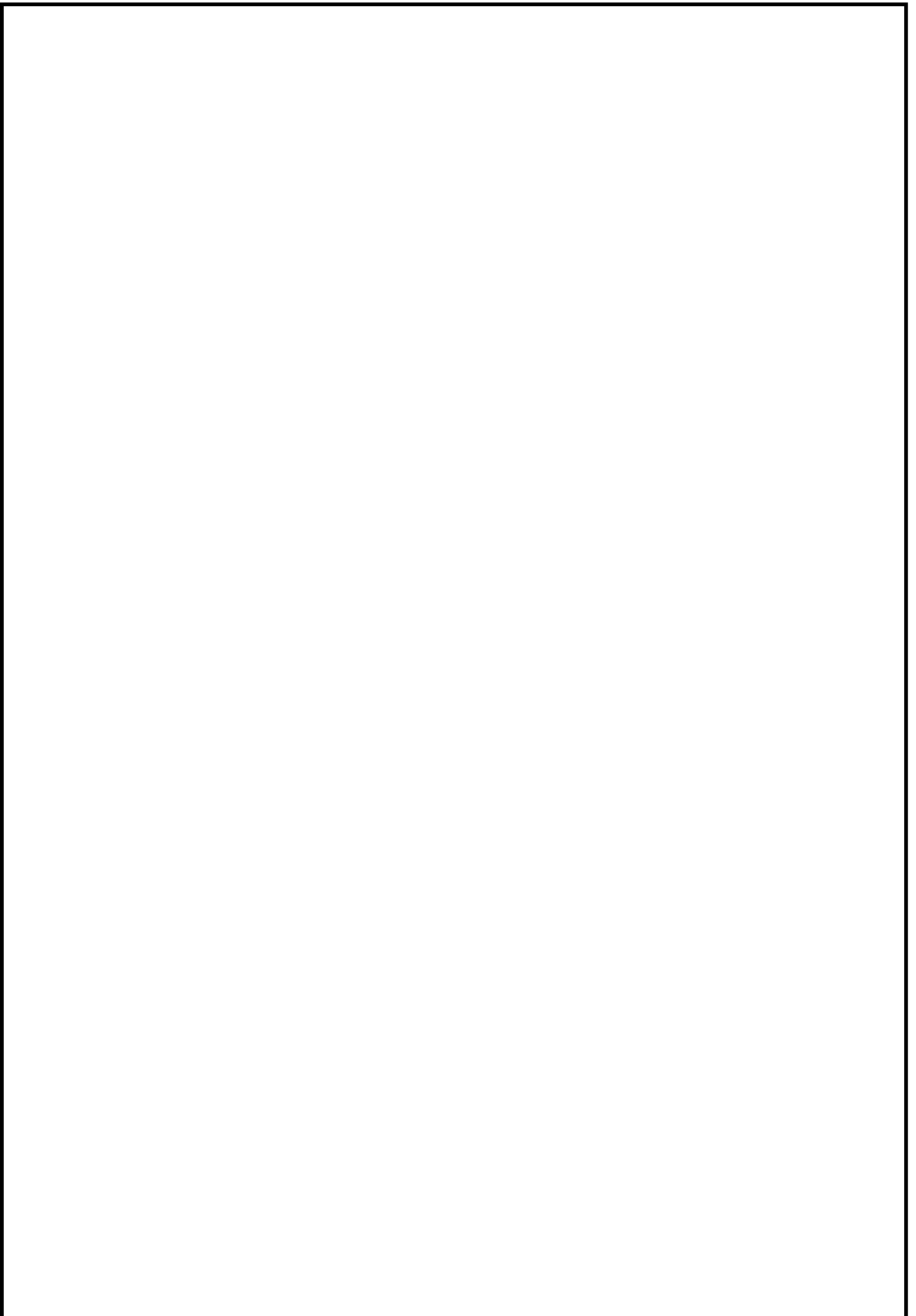
Liste des figures :

Figure 1 : schéma des toitures végétalisées : types et composition (https://www.cerema.fr)	8
Figure 2: comparaison entre noue d'infiltration et noue de rétention (https://www.cerema.fr)	10
Figure 3: schéma de drainage des eaux pluviales : coupe longitudinale d'une tranchée drainante (https://www.cerema.fr)	11
Figure 4:schéma comparatif :bassin sec d'infiltration vs bassin de retenue d'eau (https://www.cerema.fr)	12
Figure 5: schéma d'un puits d'infiltration et d'un puits de décantation pour la gestion des eaux pluviales (https://www.....)	13
Figure 6:schéma des structures réservoir : comparaison répartie et localisée (https://www.cerema.fr)	14
Figure 7schéma d'un marais filtrant pour le traitement des eaux (https://m.espacepouurlavie.ca).....	15
Figure 8schéma d'un jardin de pluie infiltrant (https://guidebatimentdurable.fr).....	16
Figure 9 : projet ville éponge de la chine (http://shanghaiwaterauthority.fr)	24
Figure 10: gestion intégrée des eaux pluviales en zone aride (http://utiltylmagazine.com)	25
Figure 11: Etas -Unis : stratégies territoriales diversifiées (http://www.verifythis.com).....	26
Figure 12 : barrage de	27
Figure 13 Canada : jardin de pluie l'université de Sherbrooke	27
Figure 14: situation administrative de la wilaya d'Ain Témouchent (ANDI,2014).....	30
Figure 15 carte de localisation géographique et illustration des aménagements hydrauliques existants	31
Figure 16: pluviométrie moyenne à Ain Témouchent (http://fr.weatherspark.com)	33
Figure 17: température moyenne maximale et minimale à Ain Témouchent (http://fr.weatherspark.com).....	34
Figure 18: jardin de l'APC Lalla Khadidja (DADOUR. Medair,2025)	37
Figure 19 Extrait du plan cadastral du jardin public de l'APC (APC. Ain Témouchent).....	37
Figure 20: localisation de jardin de l'APC (www.googleMaps.com)	38
Figure 21: carte topographique de jardin de l'APC (topographic-mao.com).....	39
Figure 22: Quelques plantes du jardin public (DARDOUR.Medair,2025).....	41
Figure 23: Méthode actuels d'irrigation dans le jardin. (DARDOUR.Medair,2025)	42
Figure 24schéma du système de collecte des eaux pluviales- Parc Lalla Khadidja	51

Figure 25 : plan d'aménagement et d'irrigation du parc Lalla Khadidja.....	55
Figure 26 schéma du système de collecte et système d'irrigation.....	57
Figure 27 comparaison de la consommation d'eau du système proposé et besoin d'eau	63
Figure 28 calendrier du système d'irrigation (13mai- 1septembre)	64
Figure 29 conception d'un système de collecte et de distribution des eaux pluviales pour l'irrigation du parc Lalla Khadidja – commune de Ain Témouchent	65
Figure 30 Evolution du besoin en eau vs quantité disponible (sur 16 semaine).....	68

Liste des tableau

Tableau 1: les avantages et les inconvénients des systèmes de collecte des eaux pluviales	17
Tableau 2: Différent dispositif de gestion des eaux pluviales et leur fonction.....	19
Tableau 3: Comparaison entres les réseaux d'évacuation des eaux pluviales	21
Tableau 4: les avantages et les inconvénients d'irrigation par aspersion.....	21
Tableau 5: tableau des avantages et inconvénient d'irrigation goutte à goutte.....	22
Tableau 6: les avantages et les inconvénients d'irrigation par capillarité	22
Tableau 7: les avantages et les inconvénients d'irrigation intelligente	23
Tableau 8: les avantages et les inconvénients d'irrigation enterrés	23
Tableau 9: Comparaison de stratégie de gestion de l'eau dans les pays	28
Tableau 10: Données climatique _précipitation mensuelle et annuelle à Ain Témouchent (1974_2013)(DRE,ALKIHEL, 2014)	35
Tableau 11: Diversité floristique au sein du jardin (maison de l'environnement, AT,2025)	40
Tableau 12: Besoin en eau végétaux selon leur catégorie et leur espèce (FAO,2012) ..	43
Tableau 13: Tableau de ruissellement	45
Tableau 14: Récapitulatif du système d'arrosage	54
Tableau 15: Les couts de système de collecte des eaux pluviales.....	58
Tableau 16: Les couts de système d'irrigation.....	59
Tableau 17: Résumé des volumes de stockage des eaux pluviales (réservoir et bassin)	68
Tableau 18 répartition d'irrigation selon les zones	69
Tableau 19: les couts de système de collecte et d'irrigation	69



Introduction général

Introduction :

L'une des principales préoccupations des nations et des sociétés au XXI^e siècle est la gestion durable des ressources naturelles, notamment des ressources en eau. Ceci est dû en partie à l'accélération du changement climatique, à la croissance démographique, à l'urbanisation croissante et à la pression croissante sur les ressources en eau douce. Ce problème est particulièrement grave dans les zones soumises à un stress hydrique, ce qui incite à rechercher des alternatives moins coûteuses et plus durables, comme la récupération des eaux de pluie (IPPC ,2007).

L'eau de pluie est une ressource naturelle non conventionnelle qui peut être utilisée efficacement, notamment pour l'irrigation des espaces verts urbains, composante environnementale et sociale essentielle des villes. Cependant, de nombreuses municipalités continuent de dépendre de l'eau potable pour irriguer ces zones, ce qui accentue la pression sur les réseaux d'approvisionnement en eau potable. Il est donc nécessaire de réviser les systèmes d'irrigation actuels et d'introduire des solutions de remplacement fondées sur le développement durable (Waqas *et al.*, 2022).

Dans ce contexte, ce mémoire propose un projet concret visant à développer un système de collecte, de stockage et de distribution des eaux pluviales pour l'irrigation du jardin « Lalla Khadidja », situé dans la commune de d'Ain Témouchent dans la wilaya d'Aïn Témouchent. Pour la population locale, ce jardin constitue un espace écologique vital. Cependant, le système d'irrigation actuel repose sur l'utilisation d'eau potable et utilise des méthodes de consommation d'eau obsolètes, coûteuses et inefficaces. Le choix de ce sujet découle d'une conviction personnelle quant à l'importance de la préservation de l'environnement et de la rationalisation de l'utilisation des ressources en eau, ainsi que d'observations du terrain soulignant la nécessité d'alternatives plus durables. Ainsi, cette étude met en lumière la problématique de l'exploitation des eaux de pluie en tant que solution alternative et durable pour l'irrigation du jardin Lalla Khadidja. Plusieurs objectifs découlent de cette interrogation, notamment le diagnostic du système d'irrigation actuellement en place dans le jardin, l'étude des caractéristiques climatiques et hydrologiques de la région, la conception d'un système alternatif de collecte, de stockage et de distribution des eaux de pluie via un réseau d'irrigation par aspersion, ainsi que l'évaluation de l'efficacité et de la viabilité environnementale et économique de ce système.

Pour répondre à ces objectifs, deux hypothèses ont été formulées : premièrement, les quantités d'eau de pluie pourraient être suffisantes pour couvrir les besoins en irrigation durant certaines périodes de l'année ; deuxièmement, un système d'irrigation par aspersion bien conçu et correctement réparti pourrait permettre une gestion efficace de l'eau.

La méthodologie adoptée dans cette étude combine l'observation sur le terrain, l'analyse des données climatiques et hydrologiques, ainsi qu'une étude technique du système proposé.

Introduction générale

Elle s'appuie sur des sources scientifiques et des rapports officiels dans le but de proposer un modèle réalisable, ancré dans une logique de durabilité urbaine.

Ce mémoire se structure autour de trois chapitres principaux : le premier traite du cadre théorique relatif à la gestion de l'eau, aux techniques de collecte des eaux de pluie et aux principes du développement durable ; le second s'attarde sur le diagnostic de la situation actuelle du jardin Lalla Khadidja, en abordant notamment le système d'irrigation, les données climatiques et les infrastructures existantes et présente aussi la conception pratique du système de collecte et de distribution des eaux de pluie, en examinant ses aspects techniques et environnementaux. Enfin, une dernière partie est consacrée à l'analyse et à la discussion des résultats obtenus, permettant d'évaluer la pertinence du système proposé et de formuler des recommandations concrètes pour sa mise en œuvre.

Chapitre I : Cadre théorique

1 Les eaux pluviales :

1.1 Définition des eaux pluviales :

Les eaux pluviales sont les eaux issues des précipitations atmosphériques (pluie, neige, grêle) qui ruissellent sur les surfaces imperméabilisées (toitures, terrasses, chaussées, parkings) ou qui s'infiltrent dans le sol. Plus précisément, on peut définir les eaux pluviales comme :

L'ensemble des eaux qui proviennent des précipitations atmosphériques et qui ne s'infiltrent pas naturellement dans le sol. (**Ministère de l'écologie,2008**)

Les eaux qui s'écoulent sur les surfaces urbanisées avant de rejoindre le milieu naturel ou un réseau de collecte - Les eaux qui résultent du ruissellement ou du drainage des surfaces imperméabilisées Ces eaux se distinguent des eaux usées domestiques ou industrielles car elles n'ont pas été utilisées par l'homme avant de rejoindre le milieu naturel ou les réseaux d'assainissement. (**Cerema,2018**).

1.2 Caractéristiques générales des eaux pluviales et de ruissellement (EPR) :

Dans le domaine de l'hydrologie urbaine, les eaux pluviales se définissent comme les précipitations atmosphériques collectées après avoir ruisselé sur diverses surfaces. Le volume de ces eaux récupérées dépend directement de plusieurs facteurs : principalement le degré d'imperméabilisation des surfaces (qui atteint son maximum en zones urbaines), les conditions thermiques ambiantes, ainsi que la composition pédologique des terrains concernés. Pendant son parcours vers l'exutoire (**CSTB ,2010**), l'eau de pluie subit une contamination progressive par :

- Des polluants solides (constituant plus de 90% de la pollution totale) : comprenant des particules organiques, des matières végétales riches en carbone, et divers déchets d'origine domestique (**Gromaire et al.,2001**)

- Des contaminants en solution : incluant des hydrocarbures, métaux lourds et résidus de pesticides Il convient de noter l'absence actuelle de données spécifiques concernant la composition chimique des eaux pluviales à La Réunion. Une analyse comparative s'avère pertinente entre les charges polluantes véhiculées par les eaux pluviales (selon une composition standard) et les effluents rejetés par les installations d'épuration, en prenant comme référence une agglomération théorique de 10 000 résidents. (**Chebbo et al.,2001**)

1.3 Les avantages de la collecte d'eau de pluie pour l'arrosage :

La collecte d'eau de pluie pour l'arrosage présente de nombreux avantages écologiques et économiques, tant pour l'environnement que pour les propriétaires.

Avantage écologique :

- Conservation des ressources en eau :

La conservation des ressources en eau par la collecte d'eau de pluie pour l'arrosage représente une stratégie holistique visant à maintenir l'équilibre des écosystèmes, à préserver les réserves d'eau limitées et à favoriser des pratiques durables dans l'utilisation de cette ressource vitale. Cette approche s'inscrit dans une vision à long terme de la gestion de l'eau, mettant l'accent sur la responsabilité environnementale et la préservation des équilibres hydriques (**Global Water partnership,2012**)

- Réduction du ruissellement et de l'érosion :

La réduction du ruissellement et de l'érosion par la collecte d'eau de pluie est une stratégie environnementale intégrée qui favorise la stabilité des sols, la préservation des nutriments, et la protection des ressources en eau. Cette pratique s'aligne sur les principes de gestion durable des terres et contribue à minimiser les impacts négatifs des cycles hydrologiques sur les écosystèmes terrestres et aquatiques. (**Berndtsson, J.C,2010**)

- Protection des écosystèmes aquatique :

La protection des écosystèmes aquatiques par la collecte d'eau de pluie représente une stratégie proactive pour atténuer les impacts néfastes du ruissellement sur les cours d'eau. En minimisant les risques de pollution, en préservant les habitats et en maintenant la qualité de l'eau, cette pratique s'inscrit dans une vision holistique de la gestion de l'eau, favorisant la santé et la durabilité des écosystèmes aquatiques. (**Chocat et al.,2001**)

- Diminution des besoins en énergie :

Elle offre une solution durable pour l'arrosage qui va au-delà des bénéfices environnementaux directs en contribuant également à la diminution des besoins en énergie associés à l'approvisionnement en eau. Cette approche s'inscrit dans une perspective de gestion des ressources qui favorise l'efficacité énergétique et la réduction de l'impact environnemental des systèmes d'approvisionnement en eau. (**Stoke&Horvath,2006**)

- Promotion de la biodiversité :

La promotion de la biodiversité grâce à la collecte d'eau de pluie pour l'arrosage crée des environnements plus riches et équilibrés, favorisant une variété d'espèces végétales et animales. Cette approche reflète un engagement envers la coexistence harmonieuse avec la nature, en soutenant la diversité biologique au niveau local. (**Gaston,2010**)

Avantages économiques :

- Réduction des couts d'eau :

Elle permet une réduction significative des coûts d'eau pour les propriétaires, offrant une alternative économique et durable à l'approvisionnement en eau conventionnel. Ces économies financières s'accompagnent d'un engagement envers la durabilité et la gestion efficace des ressources en eau. (**Doménech& Sauri,2011**)

- Investissement initial rentable :

Bien que l'installation d'un collecteur d'eau de pluie puisse nécessiter un investissement initial, il peut se révéler rentable à long terme grâce aux économies réalisées sur les factures d'eau. (**Ward et al.,2008**)

- Moins de pression sur les infrastructures :

Elle soulage les infrastructures d'approvisionnement en eau existantes en réduisant la pression exercée sur les systèmes de traitement, de stockage et de distribution. Cette approche contribue à une gestion plus efficiente et durable des ressources hydriques, offrant des avantages à la fois financiers et environnementaux. (**Mitchell et al.,2008**)

- Amortissement des couts d'irrigation :

La collecte d'eau de pluie permet d'amortir les coûts liés à l'irrigation des jardins et des espaces verts, réduisant significativement les dépenses associées à l'entretien des espaces extérieurs. (**Ghisi,2006**)

- Valorisation immobilière :

La collecte d'eau de pluie, intégrée aux propriétés, peut avoir un impact positif sur la valorisation immobilière, apportant des avantages tangibles qui augmentent l'attrait et la valeur des biens immobiliers. (**Ward et al.,2010**)

1.4 Les principes de la gestions des eaux pluviales :

- La gestion à la source :

La gestion des eaux pluviales devrait commencer par la réduction de la quantité d'eau de pluie qui atteint les égouts pluviaux. Cela peut être accompli par des pratiques telles que la collecte de l'eau de pluie pour l'irrigation ou la création de surfaces perméables pour que l'eau puisse s'infiltrer dans le sol. (**Fletcher *et al.*,2003**)

- La prévention de la pollution :

Les eaux pluviales peuvent entraîner la pollution de nos cours d'eau, de nos rivières et de nos lacs en emportant des débris, des huiles de voitures et d'autres contaminants. Il est important de mettre en place des techniques de filtration et de traitement des eaux pluviales pour prévenir cette pollution. (**EPA,2003**)

- La gestion des débits :

La gestion des eaux pluviales devrait inclure des méthodes pour gérer les débits d'eau en temps de pluie. Des bassins de rétention ou des canaux d'irrigation peuvent être utilisés pour stocker l'eau de pluie et la libérer lentement dans le sol. (**Novotny,2003**)

- La collaboration :

La gestion des eaux pluviales nécessite une collaboration entre les différentes parties prenantes, y compris les gouvernements locaux, les communautés, les professionnels de l'eau et les propriétaires fonciers. En travaillant ensemble, ces groupes peuvent développer des solutions intégrées pour une meilleure gestion des eaux pluviales. (**Brown&Farrelly,2009**)

- La durabilité :

La gestion des eaux pluviales devrait viser à atteindre des résultats à long terme en utilisant des pratiques durables et respectueuses de l'environnement. Cela peut inclure l'utilisation de techniques telles que la réutilisation de l'eau de pluie pour l'irrigation ou la création de jardins pluviaux pour maximiser l'absorption de l'eau dans le sol. (**Ahiablame *et al.*,2012**)

2 Les systèmes de collecte des eaux pluviales :

2.1 Les Toitures Stockantes :

Les toitures stockantes sont des structures de toit plates ou à faible inclinaison (pente comprise entre 0,1% et 5%) équipées d'un parapet périphérique permettant la rétention temporaire des eaux pluviales. Cette eau est ensuite évacuée de manière contrôlée grâce à un

système de régulation du débit, tout en bénéficiant également d'une élimination naturelle par évaporation et, dans le cas des toitures végétalisées, par absorption végétale. Pour les toitures légèrement inclinées, il est possible d'installer des dispositifs de compartimentage sous forme de caissons qui créent des zones de retenue (barrages) pour optimiser le stockage de l'eau. (Berndtson,2010)

▪ **Options de Végétalisation :**

Les toitures stockantes peuvent être enrichies par différents types de végétation :

▪ **Végétalisation extensive :**

Composée de mousses, plantes vivaces et sédums, cette option nécessite peu d'entretien tout en offrant une bonne capacité d'absorption.

▪ **Végétalisation semi-intensive :**

Intégrant des plantes vivaces et graminées, elle offre un équilibre entre esthétique et fonctionnalité.

▪ **Végétalisation intensive :**

Permettant l'installation de gazon, plantes basses, arbustes et même certains arbres, cette solution crée un véritable espace vert en hauteur tout en maximisant la rétention d'eau.

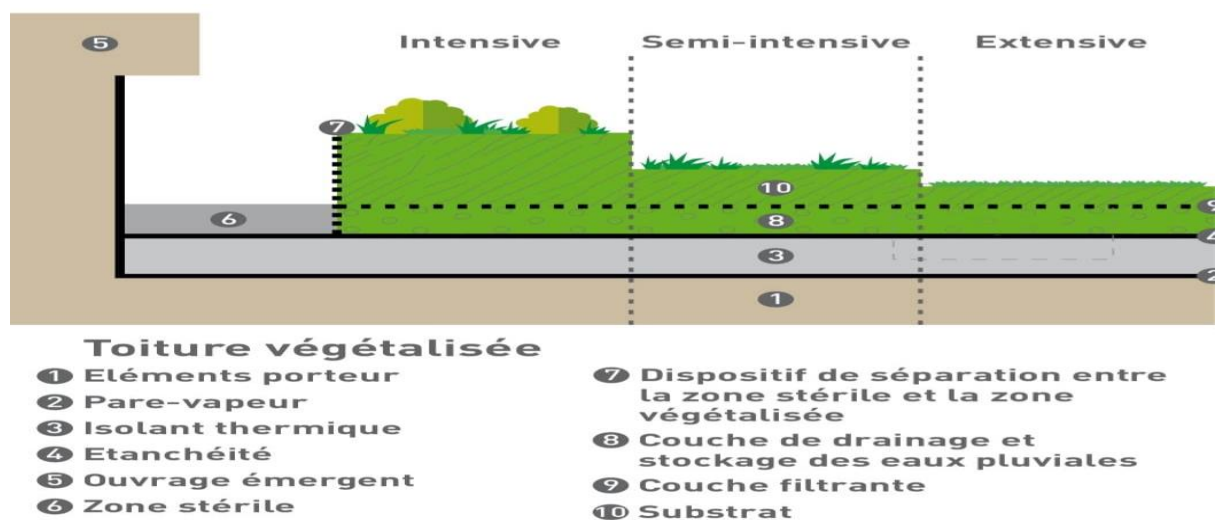


Figure 1 : Schéma des toitures végétalisées : types et composition (<https://www.cerema.fr>)

2.2 Les Noues et Fossés

Les fossés et les noues sont des ouvrages qui permettent de collecter les eaux pluviales, soit par des canalisations, soit directement par ruissellement, en ralentissant leur écoulement. L'eau collectée est temporairement stockée, puis évacuée soit par infiltration dans le sol, soit vers un exutoire avec un débit régulé (réseau de collecte, cours d'eau...). La principale différence entre ces deux structures réside dans leur conception et leur morphologie. (**Fletcher *et al.*,2013**)

- **Les fossés :**

Structures linéaires relativement profondes - Rives abruptes - Évacuation de l'eau par écoulement vers un exutoire ou par infiltration si le sol est perméable.

- Les noues :

Fossés larges et peu profonds - Rives en pente douce - Plusieurs modes de fonctionnement possibles

- Fonctionnement des noues :

Les noues peuvent être utilisées de différentes manières :

Comme bassins assurant :

La rétention simple.

La rétention combinée à l'infiltration.

L'infiltration seule.

Comme exutoires à part entière.

Comme volumes de stockage supplémentaires activés par débordement lors de la mise en charge :

Du réseau conventionnel.

D'un autre ouvrage de gestion alternative des eaux pluviales.

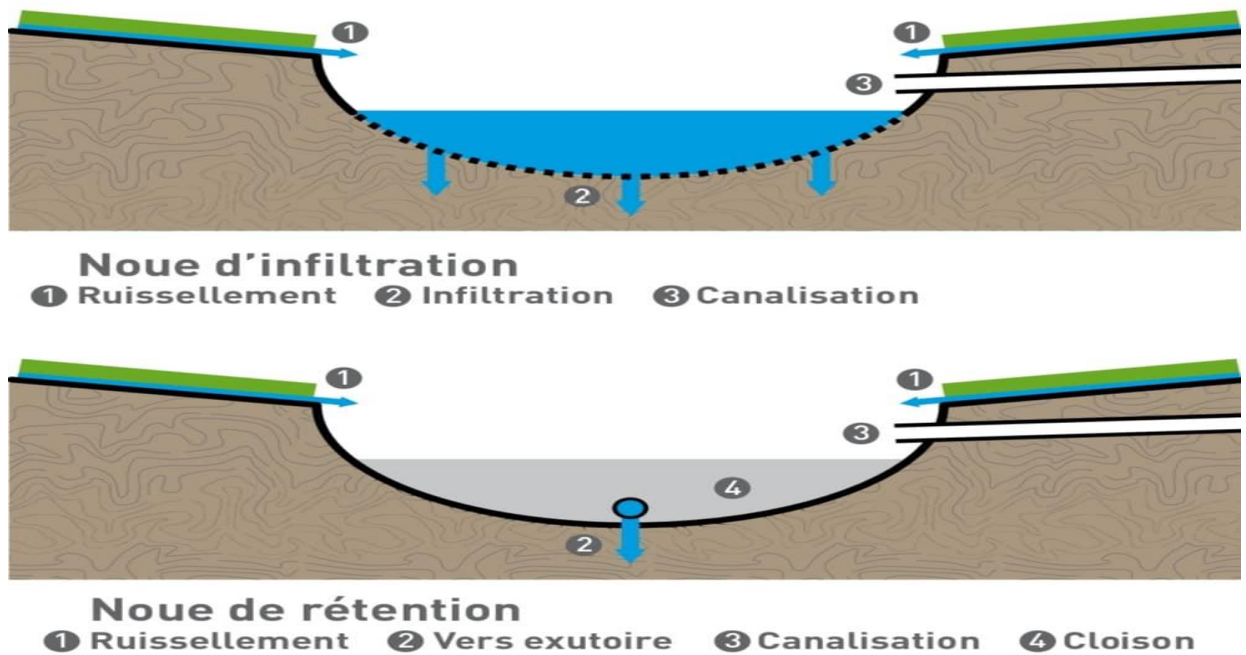


Figure 2: comparaison entre noe d'infiltration et noe de rétention (<https://www.cerema.fr>)

2.3 Les Tranchées

Les tranchées sont des ouvrages linéaires et superficiels remplis de matériaux poreux comme du gravier ou des galets. Elles permettent de collecter l'eau de pluie soit par ruissellement direct, soit par l'intermédiaire de canalisations. Selon leur conception, les tranchées peuvent retenir l'eau temporairement avant de l'évacuer vers un exutoire, ou favoriser son infiltration dans le sol. Ces deux fonctions peuvent également être combinées dans un même ouvrage. (Wong, 2006)

▪ Types de tranchées

▪ La tranchée drainante:

- Système principalement conçu pour la rétention temporaire des eaux
- L'eau est évacuée de manière contrôlée par un drain
- Le débit est régulé vers un exutoire qui peut être:

Un réseau de collecte

Un cours d'eau .

Un bassin de rétention ou d'infiltration

▪ La tranchée infiltrante:

- Système principalement conçu pour l'infiltration des eaux

- L'évacuation de l'eau de pluie s'effectue par infiltration directe dans le sol
- Ne nécessite pas d'exutoire externe si la capacité d'infiltration du sol est suffisante .

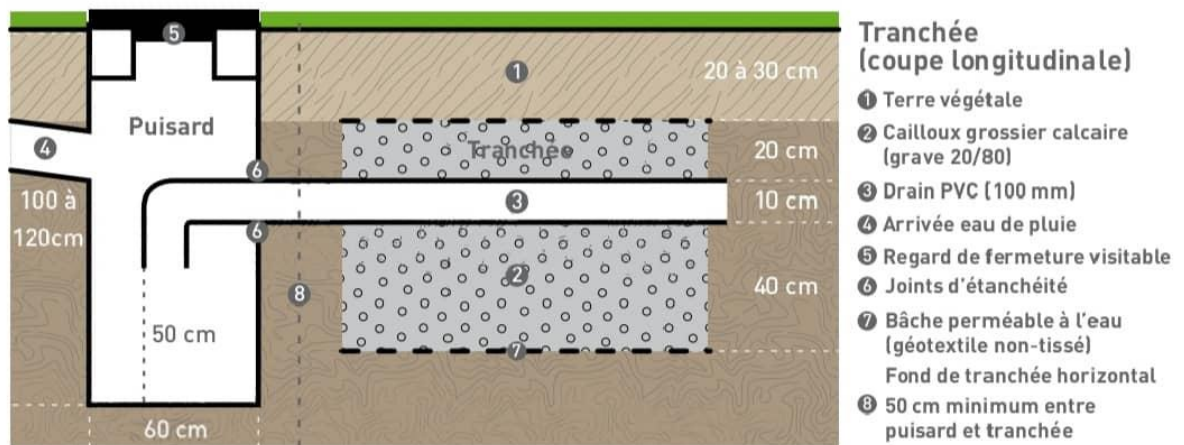


Figure 3: schéma de drainage des eaux pluviales : coupe longitudinale d'une tranchée drainante (<https://www.cerema.fr>)

2.4 Les Bassins à Ciel Ouvert :

Les bassins à ciel ouvert sont des ouvrages conçus pour assurer le stockage, la décantation et/ou l'infiltration des eaux pluviales. Ils constituent une solution efficace pour la gestion des eaux de pluie en milieu urbain et périurbain. (Deletic & Fletcher, 2006)

▪ Types de bassins :

Il existe plusieurs catégories de bassins selon leur fonctionnement hydraulique:

- Bassins en eau permanente: maintiennent constamment un volume d'eau, même en période sèche .
- Bassins secs: se vidangent complètement après chaque épisode pluvieux .
- Bassins d'infiltration: conçus spécifiquement pour favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol .

▪ Modes d'alimentation :

L'alimentation en eau de ces bassins peut s'effectuer de différentes manières:

- Par ruissellement direct des eaux de surface
- Par déversement du réseau pluvial**, le bassin étant positionné au point bas du réseau.
- Par mise en charge et débordement du réseau, ce qui permet d'éviter l'apport d'eau lors des pluies de faible intensité.

- Évacuation des eaux :

Une fois stockée, l'eau est évacuée soit:

- Par infiltration naturelle dans le sol
- À débit régulé* vers un exutoire qui peut être:
 - * Un réseau de collecte
 - * Un cours d'eau naturel

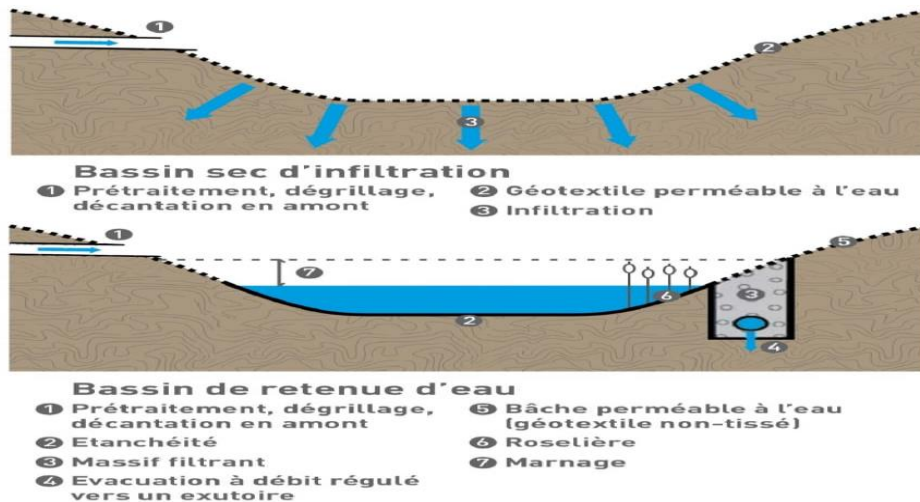


Figure 4: Schéma comparatif : bassin sec d'infiltration vs bassin de retenue d'eau (<https://www.cerema.fr>)

2.5 Les Puits d'Infiltration :

Les puits d'infiltration sont des dispositifs qui permettent à la fois le stockage temporaire des eaux pluviales et leur évacuation par infiltration dans les couches perméables du sol. Ils constituent une solution particulièrement adaptée aux zones urbaines où l'espace en surface est limité.

L'eau de pluie est d'abord collectée dans une chambre de décantation située en amont du puits. Cette collecte peut se faire soit par des canalisations, soit directement par ruissellement. (Ségalen *et al.*, 2015)

- Caractéristiques techniques

Dans la majorité des cas, les puits sont remplis de matériaux poreux qui jouent un rôle essentiel dans la filtration des polluants. Les parois intérieures sont généralement recouvertes d'un géotextile dont la fonction principale est d'empêcher la migration des particules fines qui pourraient colmater le système.

- Usages complémentaires :

Les puits d'infiltration sont souvent employés en complément d'autres techniques de stockage des eaux pluviales, telles que:

- Les tranchées drainantes
- Les noues et fossés
- Les bassins de rétention

Dans ces configurations, les puits assurent principalement le débit de fuite de ces ouvrages.

- Types de puits :

On distingue deux catégories principales de puits d'infiltration:

- Le puits comblé: rempli de matériaux filtrants
- Le puits creux: constitué d'une chambre vide permettant un plus grand volume de stockage

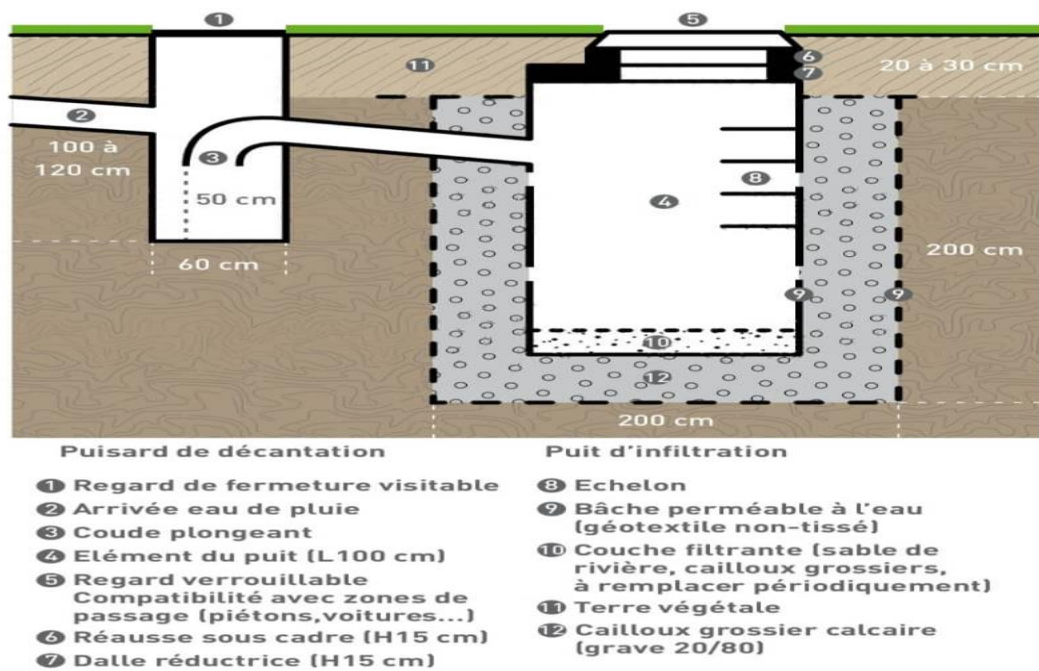


Figure 5: schéma d'un puits d'infiltration et d'un puits de décantation pour la gestion des eaux pluviales (<https://www.>

2.6 Les Structures Réservoirs :

Les structures réservoirs sont des dispositifs qui permettent le stockage temporaire de l'eau de pluie dans un ouvrage souterrain (le corps de la structure). Une fois collectée, l'eau est

évacuée soit par infiltration directe dans le sol, soit par restitution contrôlée vers un exutoire qui peut être un réseau de collecte ou directement le milieu naturel.(Chocat et al.,2007)

- Types de revêtements de surface :

Le revêtement de surface de ces structures peut être de deux types:

- Revêtement poreux :

permet aux eaux pluviales de s'infiltrer directement dans la structure sous-jacente

- Revêtement étanche:

nécessite que les eaux soient dirigées vers la structure par l'intermédiaire de drains reliés à des avaloirs

- Implantation :

Ces ouvrages sont généralement installés sous les espaces de circulation urbaine tels que:

- Les rues / les parkings / Les trottoirs / les voies piétonnes .

Cela permet d'optimiser l'utilisation de l'espace urbain en combinant fonctions de circulation et gestion des eaux pluviales.

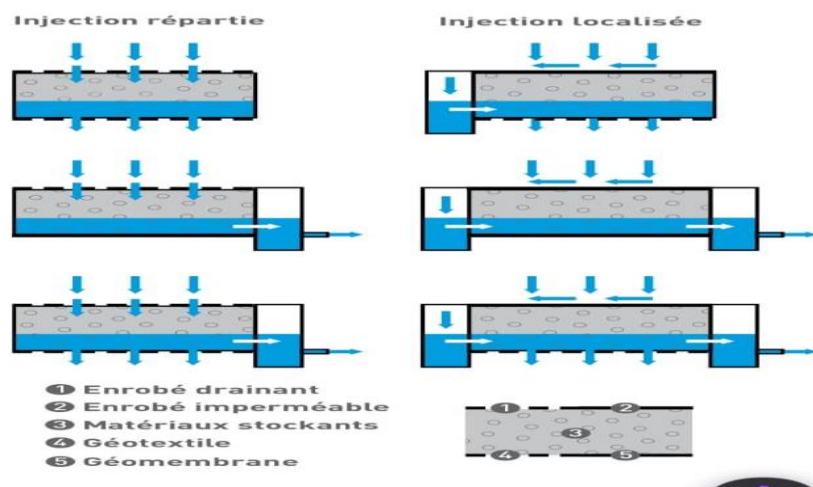


Figure 6:schéma des structures réservoir : comparaison répartie et localisée (<https://www.cerema.fr>)

2.7 Les Marais Filtrants :

Dans les milieux naturels, les marais jouent un rôle fondamental : celui de purifier l'eau et de réguler son cycle. Les installations de marais filtrants reproduisent artificiellement ces avantages des écosystèmes naturels. Ces ouvrages représentent une alternative particulièrement intéressante aux systèmes conventionnels de traitement des eaux.(Wallace,2009)

Les marais filtrants sont des solutions peu énergivores et très économiques qui s'appuient sur la capacité de biodégradation des plantes et des microorganismes. La sélection des végétaux est réalisée en fonction des types spécifiques de polluants présents dans les eaux à traiter. Certaines plantes palustres se spécialisent notamment dans la séquestration des polluants organiques, de l'azote, du phosphore et même des métaux lourds. (Molle *et al.*, 2005)

▪ Applications :

Les marais filtrants sont particulièrement adaptés pour:

- Effectuer le traitement des eaux usées à très faible coût
- Servir d'alternative aux fosses septiques et aux champs d'épuration
- Équiper les propriétés disposant d'une grande superficie
- Valoriser un terrain tout en assurant une fonction écologique.

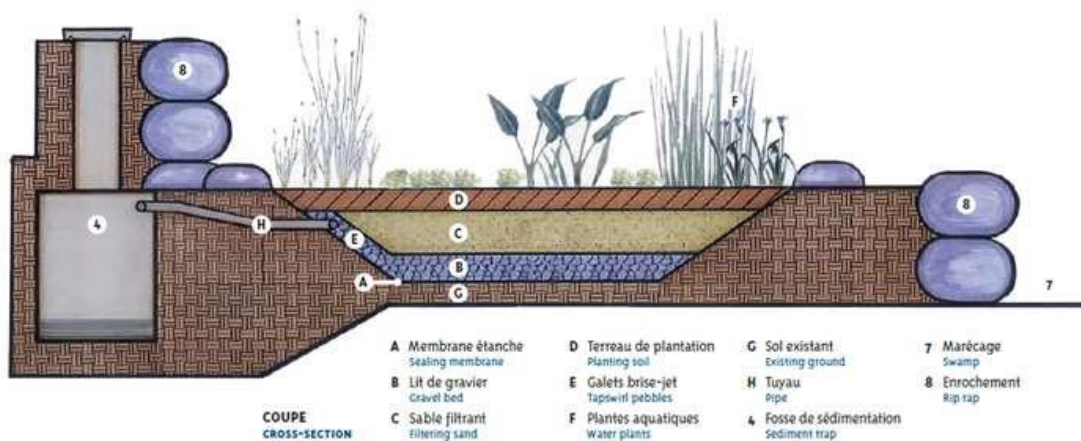


Figure 7 :schéma d'un marais filtrant pour le traitement des eaux (<https://m.espacepourlavie.ca>)

2.8 Les jardins de pluies

Les jardins de pluie sont de petites dépressions conçues pour accumuler l'eau de pluie.

Ces aménagements fonctionnent comme des bassins de biorétention. Ils constituent un système particulièrement efficace pour améliorer la qualité de l'eau rejetée dans l'environnement, tout en réduisant significativement son volume et son débit. (Dagenais *et al.*, 2006)

Ces ouvrages s'inspirent du principe de biomimétisme, partant de la conviction que les systèmes naturels jouent un rôle essentiel dans la résolution des problèmes d'origine anthropique. Leur conception allie des connaissances en biologie et en ingénierie pour

créer des solutions adaptées aux conditions hydrologiques spécifiques de chaque site. (Roy et al., 2008)

▪ Applications :

Les jardins de pluie sont particulièrement adaptés pour:

- Assurer une gestion durable des eaux pluviales à petite échelle
- Équiper les espaces restreints
- Répondre aux besoins résidentiels
- Créer un aménagement esthétique tout en offrant une protection contre l'érosion et les inondations.

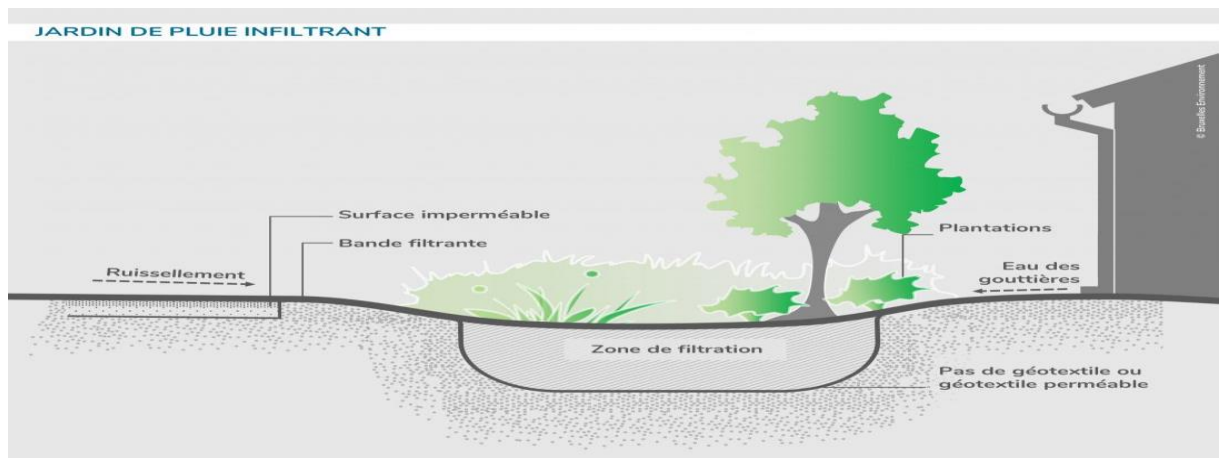


Figure 8 : schéma d'un jardin de pluie infiltrant (<https://guidebatimentdurable.fr>)

Tableau 1: les avantages et les inconvénients des systèmes de collecte des eaux pluviales

Système	Avantages	Inconvénients
Les toitures	<ul style="list-style-type: none"> • Economies d'énergie. • Entretien minimal. • Lutte contre les ilots de chaleur urbain. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cout d'installation et d'entretien. • Poids et structures. • Vulnérabilité aux dommages.
Les noues et les fossés	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion des eaux pluviales & prévention des inondations. • Filtration naturelle des polluants. • Biodiversité en milieu urbain. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cout et effort initial élevés. • Entretien régulier nécessaire. • Limitation de l'espace ou du drainage excessif.
Les tranchées	<ul style="list-style-type: none"> • Bon drainage (évite l'eau stagnante) • Protection contre le vent • Facilite l'accès 	<ul style="list-style-type: none"> • Cout et effort de creusage • Erosion possible (si mal stabilisé) • Entretien régulier
Les bassins à ciel ouvert	<ul style="list-style-type: none"> • Stockage d'eau efficace • Economie à construire • Ecologique (favorise la biodiversité) 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaporation importante • Risque de pollution • Entretien nécessaire
Les puits d'infiltration	<ul style="list-style-type: none"> • Recharges des nappes phréatiques (alimentation des eaux souterraines) • Réduction des ruissellements. • Filtrage naturel des eaux pluviales 	<ul style="list-style-type: none"> • Colmatage possible (accumulation de sédiments) • Cout d'installation • Maintenance nécessaire
Les structures réservoirs	<ul style="list-style-type: none"> • Stockage sécurisé de l'eau • Contrôle de la qualité • Polyvalence (usage domestique, agricole ou industriel) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cout élevé • Espace requis • Risque de stagnation (entretien nécessaire contre algue /contaminants)
Les jardins des pluie	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion écologique des eaux pluviales • Améliore la biodiversité • Esthétique et valorisation des espaces 	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien régulier nécessaire • Cout initial variable • Efficacité limitée en cas de fortes pluies

<p>Les marais filtrant</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Epurature naturelle et écologique • Faible consommation énergétique • Création d'un écosystème utile 	<ul style="list-style-type: none"> • Surface importante nécessaire • Temps d'installation et de maturation • Sensibilité aux variations climatiques
-----------------------------------	--	--

3 Les Réseaux de distribution des eaux pluviales :

3.1 Réseaux séparatifs :

Un réseau séparatif constitue un dispositif d'assainissement qui opère une distinction entre les eaux de pluie et les eaux usées d'origine domestique ou industrielle. Ce système permet de collecter et d'évacuer les eaux pluviales indépendamment des eaux usées, améliorant ainsi la gestion des flux et diminuant les risques de surcharge des installations de traitement. (Tchobanoglous *et al.*, 2014)

○ Particularités du réseau séparatif :

➤ Double réseau de canalisations :

L'un dédié aux eaux pluviales (issues du ruissellement, des toitures et des voiries). L'autre réservé aux eaux usées (d'origine domestique ou industrielle)

▪ Les avantages :

- Limitation des débordements lors d'épisodes pluvieux intenses
- Protection accrue des milieux aquatiques (absence de contamination par les eaux usées)
- Performance optimisée des stations d'épuration (concentration stable des effluents à traiter)

▪ Les inconvénients :

- Investissement financier plus important (installation et maintenance de deux réseaux distincts)

- Traitement parfois nécessaire des eaux de pluie contaminées (présence d'hydrocarbures, métaux lourds)

▪ Cas d'usage :

- Zones urbaines denses (ex : écoquartier)

3.2 Réseaux unitaires :

Système composé d'une canalisation unique collectant à la fois les eaux usées et les eaux pluviales.

Présence de déversoirs d'orage qui, lors de précipitations importantes, évacuent le surplus d'eau directement dans le milieu naturel, générant un risque significatif de pollution. (Hvitved-Jacobsen et al.,2013)

➤ Cadre réglementaire

La Directive européenne 91/271/CEE impose des restrictions sur les déversements non traités dans l'environnement.

➤ Défis environnementaux

Impact polluant : Une précipitation même minime de 1 mm peut provoquer le déversement de 10 à 20% des effluents non traités dans la nature.

➤ Dispositifs d'optimisation

Mise en place d'équipements de stockage temporaire (notamment les bassins de rétention).

3.3 Techniques alternatives (gestion à la source)

Tableau 2: Différent dispositif de gestion des eaux pluviales et leur fonction

Ouvrage	Fonction	Exemple
Toiture végétalisée	Retarde l'écoulement	Bâtiments urbains
Tranchée drainante	Infiltration locale	Parking perméable
Bassin d'infiltration	Recharge les nappes	Zones rurale

➤ Efficacité

Permet une diminution pouvant atteindre 90% des écoulements d'eau de surface (ADOPTA, 2021)

➤ Limitations

Contraintes géologiques (notamment les terrains argileux imperméables).

Charges d'entretien : entre 5 et 10 €/m²/an (**Plante & Cité, 2022**)

3.4 Système de rétention temporaire :

➤ Technologies disponibles

Bassins à sec : Structures demeurant vides en période normale et se remplissant uniquement lors d'épisodes pluvieux.

Réservoirs souples souterrains : Dispositifs installables en environnement enterré
exemple : Water Tank

➤ Cadre réglementaire

L'Arrêté du 21/08/2008 (France) exige une *capacité de stockage minimale pour tout nouveau projet d'aménagement.

➤ Données techniques significatives

1 mètre cube de capacité de rétention permet une diminution de 10% du débit maximal (**SIA, 2018**)

3.5 . Réseaux Intelligents (Smart Water)

➤ Équipements technologiques

Capteurs connectés (IoT) : Effectuent des mesures de débit, turbidité et pH (Suez Smart Solutions)

➤ Bénéfices :

Réduction de 15% des cout d'exploitation (**veolia,2023**)

○ **Synthèse comparative :**

Tableau 3: Comparaison entre les réseaux d'évacuation des eaux pluviales

Critère	Réseau séparatif	Réseau unitaire	Technique alternatives
Cout installation	Elevé	Modéré	Variable
Impact écologique	Faible	Fort	Très faible
Maintenance	Simple	Complexe	Régulière

4 Technique d'irrigation utilisées dans les jardins publics :

4.1 Irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est un système qui utilise des arroseurs pour pulvériser de l'eau dans l'air, permettant une distribution homogène sur la zone cible, similaire aux précipitations naturelles. (Smith, S.W, 2016)

- Cette technique s'utilise dans :
 - Les pelouses et espaces verts étendus
 - Les massifs floraux nécessitant un arrosage régulier
 - Les terrains sportifs (stades, golfs)

Tableau 4: les avantages et les inconvénients d'irrigation par aspersion

Avantages	Inconvénients
Couverture uniforme	Evaporation élevée par temps chaud
Adapté aux grandes surfaces	Sensible au vent
Moins de ruissellement qu'en irrigation gravitaire	Cout énergétique
Flexible	Risque de maladie foliaires

4.2 Irrigation goutte à goutte

L'irrigation goutte à goutte consiste en l'apport d'eau au compte-gouttes à proximité immédiate des racines, permettant une optimisation maximale de l'eau et des nutriments. (Boulard. T,2015)

Tableau 5: tableau des avantages et inconvénient d'irrigation goutte à goutte

Avantages	Inconvénient
Economie d'eau	Risque de colmatage
Adaptabilité	Cout initiale élevé
Précision	Maintenance régulière

- Cette technique s'utilise dans :
 - Agriculture intensive (Vergers, culture maraichère)
 - Zones arides ou semi-aride
 - Serres et culture sous abri
 - Jardins urbains et espaces verts

4.3 Irrigation par capillarité (Oyas)

L'irrigation par capillarité constitue une technique d'arrosage autonome transportant l'eau jusqu'aux système racinaire des végétaux par le principe des forces capillaires, ce mécanisme physique naturel permet la remontée de l'eau à travers des structures poreuses de faible diamètre (telles que fibre, mèches ou conduit capillaires) grâce à l'action combinée de la tension superficielle et des forces d'adhésion. (**Jean-Paul. Legros, 2007**)

Tableau 6: les avantages et les inconvénients d'irrigation par capillarité

Avantages	Inconvénient
Adapté aux plante sensible	Lent en sols sableux
Peu couteux à mettre en place	Risque de salinisation du sol
Fonctionne sans électricité	Dépendance de la hauteur di réservoir

- Cette technique s'utilise dans :
 - Projets expérimentaux (agriculture en sols très sec)
 - Serres et pépinière
 - Zones urbaines
 - Petits jardins

4.4 Irrigation intelligente (smart irrigation)

L'irrigation intelligente intègre des outils connectés pour une gestion économe et durable de l'eau, réduisant le gaspillage tout en maintenant les rendements agricole (**Pierre ruelle ,2021**).

Tableau 7: les avantages et les inconvénients d'irrigation intelligente

Avantages	Inconvénients
Economie d'eau optimisée	Cout initial élevé
Augmentation des rendements agricoles	Dépendance aux technologies et données
Réduction des couts à long terme	Maintenance technique complexe

- Cette technique s'utilise dans :
 - Parcs et espaces vert urbains
 - Serre high-tech
 - Zones et régions arides et semi-aride

4.5 Irrigation enterrés (arrosage automatique)

L'irrigation enterrée fournit l'eau directement dans la zone racinaire via des émetteurs souterrains, optimisant ainsi l'effcience hydrique et réduisant les mauvaises herbes. (**A.M. Michael ,2020**)

Tableau 8: les avantages et les inconvénients d'irrigation enterrés

Avantages	Inconvénients
Moins d'évaporation	Risque de colmatage des tuyaux
Réduction des mauvais herbes	Difficulté de détection des fuites
Economie d'eau importance	Cout d'installation élevé

- Cette technique s'utilise dans :
 - Zones arides (sols sableux à fort infiltration)
 - Espace vert
 - Cultures pérennes.

5 Pratiques mondiales de collecte et distribution des eaux pluviales pour l'irrigation

5.1 Chine : Villes éponges pour l'Irrigation Urbaine

Développées en Chine, les villes éponges représentent une approche révolutionnaire de gestion des eaux pluviales en milieu urbain. Ce concept repose sur un système intégré de captation et réutilisation de l'eau de pluie grâce à diverses infrastructures écologiques. Les toits végétalisés et revêtements perméables permettent de recueillir l'eau qui est ensuite stockée dans des réservoirs souterrains avant d'être filtrée et redistribuée pour l'irrigation des espaces verts urbains. Cette méthode ingénieuse crée des "oasis urbaines" auto-suffisantes tout en réduisant considérablement la dépendance aux réseaux d'eau potable traditionnels, générant jusqu'à 30% d'économies d'eau dans certaines métropoles comme Shanghai. Au-delà de l'efficacité économique et de la diminution des coûts d'infrastructure, ces systèmes renforcent la résilience constituant ainsi un modèle prometteur pour l'urbanisme durable du 21ème siècle. (**Shanghai water Authority,2022**)



Figure 9 : projet ville éponge de la chine (<http://shanghaiwaterauthority.fr>)

5.2 Australie (Melbourne) : gestion intégrée en zones arides :

Face à ses défis climatiques, l'Australie a développé des approches avant-gardistes de gestion de l'eau. La réglementation de plusieurs zones urbaines, particulièrement autour d'Adélaïde, impose désormais l'installation de systèmes domestiques de récupération d'eau pluviale, connectant toitures et citernes pour l'entretien des jardins privés. En parallèle, le programme national "Stormwater Harvesting" met en œuvre une stratégie de captation et valorisation des eaux de ruissellement urbaines. Melbourne illustre parfaitement cette démarche avec son système exemplaire d'utilisation des eaux pluviales pour irriguer les espaces verts publics. Ces initiatives complémentaires renforcent considérablement la résilience hydrique des villes australiennes confrontées à l'aridité croissante, tout en offrant un modèle adaptable pour les régions du monde aux contraintes similaires. (Melbourne water,2022)



Figure 10: gestion intégrée des eaux pluviales en zone aride (<http://utiltylmagazine.com>)

5.3 États-Unis : Stratégies Territoriales Diversifiées :

Face aux défis croissants de gestion de l'eau, les États-Unis ont développé des approches régionales distinctives. Au Texas, particulièrement autour d'Austin, un programme novateur de collecte des eaux pluviales propose des incitations financières substantielles aux particuliers pour l'acquisition et l'installation de systèmes de stockage domestiques. Cette initiative répond aux conditions semi-arides caractéristiques de cette région. Parallèlement, la Californie a élaboré des solutions spécialisées pour son industrie viticole dans la prestigieuse vallée de Napa, où des techniques sophistiquées de captage et réutilisation des eaux de ruissellement ont été spécifiquement conçues pour l'irrigation des vignobles. Ces deux approches illustrent la capacité d'adaptation des politiques hydriques américaines aux contextes environnementaux et économiques locaux, créant des modèles potentiellement transférables à d'autres régions confrontées à des problématiques similaires de ressources en eau. (Texas water development board,2020)



Figure 11: Etas -Unis : stratégies territoriales diversifiées (<http://www.verifythis.com>)

5.4 Brésil

- **Programme "Cisternas nas Escolas" (Citernes dans les Écoles) :**

Ce programme brésilien vise à combattre la sécheresse dans la région semi-aride du Sertão en installant des citernes de 52 000 litres dans les écoles rurales. Ces installations récupèrent les eaux de pluie via les toits et les rendent disponibles pour l'irrigation des jardins pédagogiques, l'hygiène et la consommation grâce à des filtres intégrés. Avec plus de 15 000 citernes déjà installées selon ASA Brasil, l'initiative permet non seulement d'assurer l'approvisionnement en eau des établissements scolaires, mais aussi de sensibiliser les enfants à la gestion durable de l'eau tout en réduisant l'abandon scolaire lié au manque d'eau dans ces régions vulnérables. (ASA Brazil,2022)

- **Barrages-Réservoirs pour l'Agriculture :**

Le Brésil a développé un réseau de barrages-réservoirs pour lutter contre la sécheresse et soutenir l'agriculture, dont le barrage de Pedra do Cavalo dans l'État de Bahia est un exemple remarquable. Avec une capacité impressionnante de 6,7 milliards de mètres cubes d'eau (ANA,2021), cette infrastructure massive permet l'irrigation des cultures telles que les fruits et la canne à sucre, bénéficiant à environ 50 000 agriculteurs (CODEVASF,2019) et stabilisant l'approvisionnement en eau pendant les périodes de sécheresse. D'autres projets majeurs comme le barrage de Sobradinho sur le Rio São Francisco alimentent un vaste système de canaux d'irrigation couvrant jusqu'à 300 000 hectares de terres agricoles, renforçant ainsi la résilience du pays face aux défis climatiques croissants. (Ministério do desenvolvimento regional-Brésil, 2022)

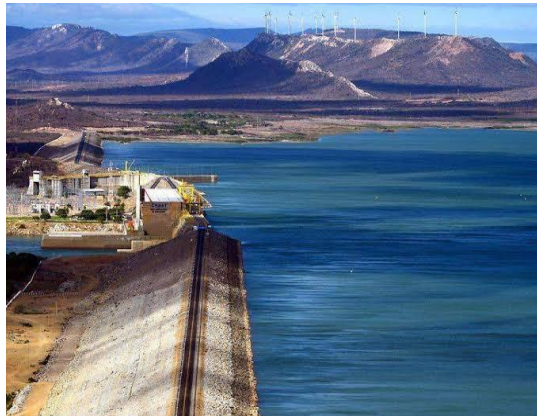


Figure 12 : barrage de *Pédra do cavalo* et les *Citernes* dans les *Écoles* dans *Brésil* (agenciagov.ebc.com.br)

5.5 Canada : jardin de pluie de l'université de Sherbrooke :

L'Université de Sherbrooke a créé un jardin d'eau de pluie de 17 000 m² au Cœur campus pour verdir l'espace et détourner un tiers des eaux pluviales. Le système comprend trois bassins reliés par un ruisseau de 235 m qui filtrent les eaux collectées sur trois hectares de surfaces imperméables. Ce projet, inspiré par la certification LEED, a éliminé 150 places de stationnement compensées par la gratuité des transports en commun pour les employés. Réalisé entre 2008-2009, l'aménagement intègre plus de 7 000 végétaux et améliore significativement la qualité de vie sur le campus. (**Université de Sherbrooke, 2009**)



Figure 13 : Canada : jardin de pluie l'université de *Sherbrooke* (<http://www.voivert.ca>)

Tableau 9: Comparaison de stratégie de gestion de l'eau dans les pays

critère	Etas unis	Australie	Brésil	Chine
Technologie	Désalinisation (Californie)	Récupération eaux pluviales	Citerne scolaire	Ville éponges
	Aqueducs (Colorado river)	Recyclage aux usées (Perth)	Barrages réservoirs	Grands transferts d'eau (sud nord)
Source d'eau	Fleuve / Désalinisation	Eaux pluviaux / eaux recyclées	Eaux de pluie /fleuve	Eaux pluviales/nappes /fleuves
Usage principal	Agriculture urbain/ville	Irrigation urbaine	Agriculture scolaire /subsistance	Irrigation urbaine/agriculture
Défi majeur	Surexploitation du Colorado	Salinisation des sols	Sécheresses prolongées	Pollution /pénurie/régionale
Innovation	Technologie d'irrigation de précision (Texas)	Toilette à double flux (adélaide)	Programme « 1million de citernes)	Toits végétalisés massifs (Shanghai)
Efficacité	Elevée mais couteuse	Très efficace en milieu urbains	Localement efficace	Solution intégrée à grande échelle

***Chapitre II : Etude de cas et
conception du système***

1 Présentation générale sur la wilaya d'Ain Témouchent :

1.1 Localisation et situation géographique

Ain Témouchent, est une Wilaya du nord-ouest de l'Algérie, Située à 520 km de la capitale Alger avec une superficie de 2376,89 Km² et ayant une façade maritime s'étendant sur 80 Km. (ONS Algérie, 2023)

La Wilaya d'Ain Témouchent est délimitée.

- Au Nord par la mer Méditerranée.
- A l'Ouest par la Wilaya de Tlemcen.
- A L'Est par la Wilaya d'Oran.
- Au Sud par la Wilaya de Sidi Bel Abbas.



Figure 14: situation administrative de la wilaya d'Ain Témouchent (NGA,2014)

1.2 Hydrologie et hydrographie

• Hydrographie :

La région climatique a une influence sur les cours d'eaux, on note la présence d'un réseau hydrographique moins dense, mais à cours intermittents, constitué de oueds provenant des bassins versants de la région partie Sud et Est.

Située (la commune) sur un plateau dominant sur le confluent de l'Oued SENNANE et l'Oued de TEMOUCHENT, et culminant au Sud, sont séparés du lit des deux Oueds par une pente rapide et s'abaisse doucement vers le Nord de la commune. (ADE,2025)

Ces Oueds sont les plus courants et importants dans cette commune :

L'oued SENNANE.

L'oued Ain TEMOUCHENT

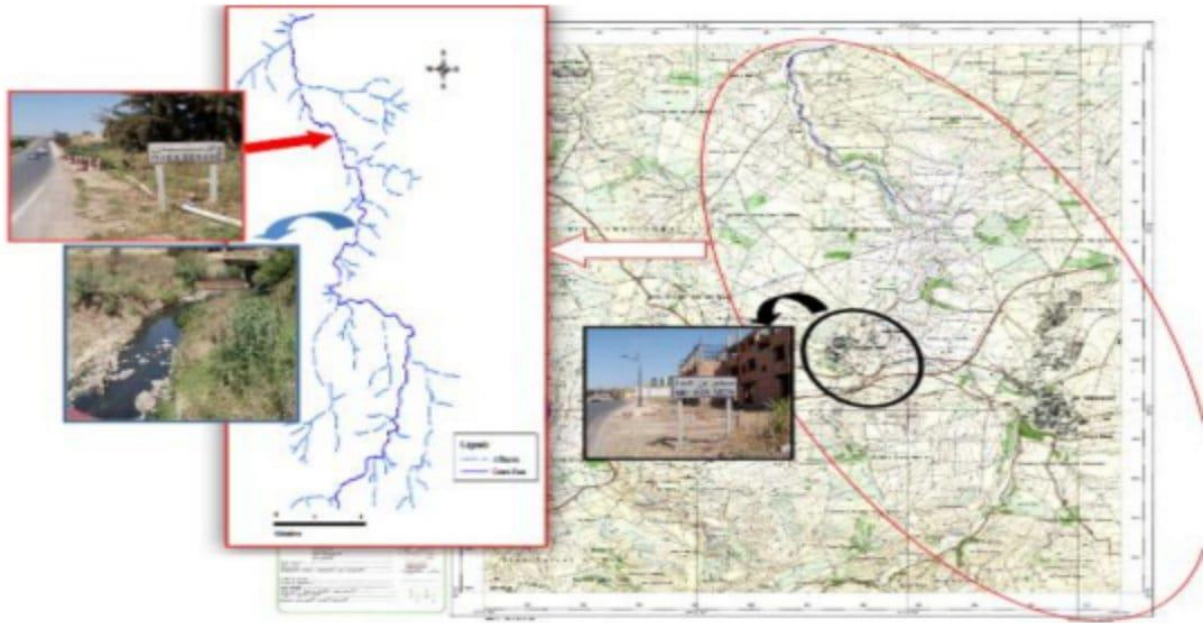


Figure 15 carte de localisation géographique et illustration des aménagements hydrauliques existants(DRE ,2025)

- **HYDROLOGIE : RESSOURCES HYDRIQUES :**

En ce qui concerne les ressources hydriques, il y lieu de note les données suivants :

- **LES PUITES :**

La commune d'Aïn TEMOUCHENT dispose, selon les Services de l'Agriculture de : 74 puits cumulant un débit de 67. (DSA)

;

- **Les barrages**

La région d'Aïn Témouchent dispose de 8 petits barrages avec une capacité totale de rétention de 2,1 millions de m³, dont le barrage de Mkhassia (DSA,2023). La région ne possède pas de barrages de plus grande envergure sur son territoire.

- **LES FORAGES :**

D'après les Services de l'Agriculture, on enregistre actuellement 44 forages répartis à travers la commune, dont le débit est de l'ordre de 36 l/s. (ADE, 2022)

- **Les autres ressources hydriques sont comme suit :**

La superficie irriguée est de l'ordre 250 hectares à présent dans la commune, et on compte une capacité frigorifique de 3000 m².

Un potentiel des Serres de 2 hectares dont les Serres Tunnels et les Serres multi-chapelles.

Par ailleurs le matériel agricole utilisé dans l'ensemble (principalement) est regroupé : les tracteurs, les Moissonneuses Batteuses, les Charrues à Soc et à Disque. (DSA ,2018)

1.3 Situation pédologique

Les sols de la zone d'étude présentent une séquence caractéristique composée principalement d'horizons argileux. La couche superficielle est constituée de terre végétale suivie d'argile brune contenant des fragments calcaires. Les investigations pédologiques révèlent une première couche d'argile marron tendre d'épaisseur variable (0-1 m), surmontant une strate d'argile carbonatée beige tendre de 5,2 à 7,5 m d'épaisseur. Cette dernière repose sur une formation d'argile sableuse comportant des intercalations gréseuses distinctes localisées entre 8-8,2 m et 9,8-10,2 m de profondeur. (CDF, 2024)

1.4 Climat de la région de Ain Témouchent :

Le territoire de la commune est situé dans la Zone Méditerranéenne (côte Nord-Ouest de l'Algérie). Ce dernier se caractérise par un Hiver froid et rigoureux (15°C au maximum) et un Eté Chaud et Sec, soit : 38°C au maximum.

Les vents dominants sont généralement de Directions Nord et Nord-Ouest. La commune d'Ain TEMOUCHENT se caractérise par un climat méditerranéen (côte Ouest de l'Algérie). La pluviométrie a chuté ces dernière années (environ 20 ans) par contre on enregistre une pluviométrie annuelle varie de 350 mm à 250 mm, alors que la gelée est très faible, soit : 05 jours/an, ainsi, que le Sirocco enregistre environ 15 jours/an à travers la saison d'été. (ADE,2025)

- **Les précipitations :**

Le climat d'Ain Témouchent présente une distribution inégale des pluies au cours de l'année. Les relevés météorologiques historiques indiquent que février, mars, novembre et décembre constituent les périodes les plus arrosées, avec des maximums de précipitations atteignant 46 mm en février et 53 mm en novembre. À l'opposé, juillet et août représentent les mois les plus arides, n'enregistrant que 2 à 4 mm de précipitations. Cette saisonnalité marquée, avec un été particulièrement sec, souligne l'importance de développer des systèmes efficaces de captage des eaux pluviales durant les saisons humides pour constituer des réserves destinées aux périodes de sécheresse. Les données révèlent également des fluctuations significatives d'une année à l'autre, renforçant la nécessité d'adopter une approche pérenne et flexible dans la gestion des ressources hydriques pour satisfaire les besoins d'irrigation des espaces verts urbains.

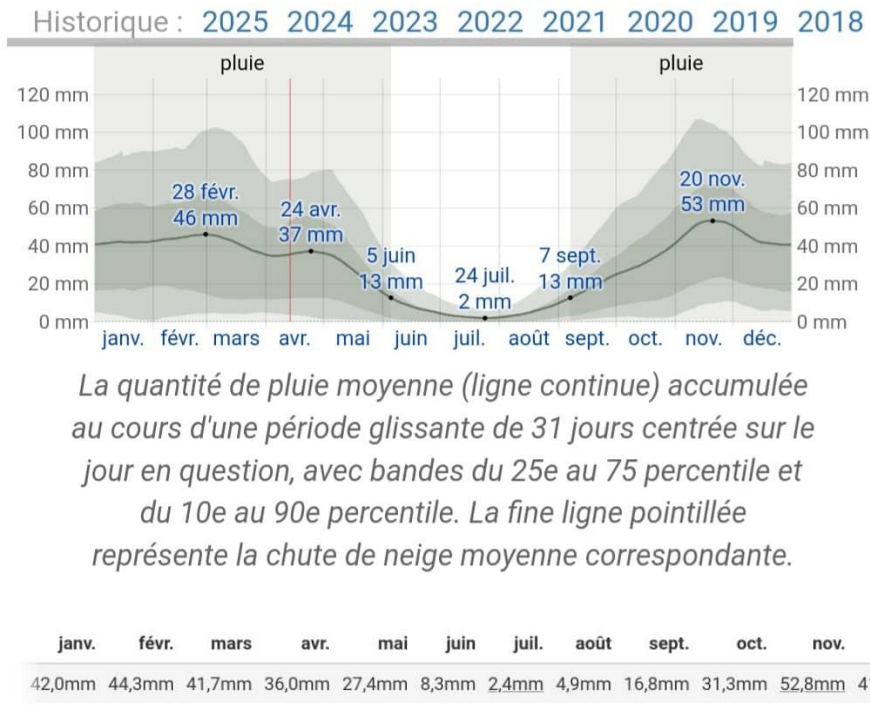


Figure 16: pluviométrie moyenne à Ain Témouchent (<http://fr.weatherspark.com>)

- **Température :**

Les températures d'Ain Témouchent présentent une évolution saisonnière prononcée, typique du climat méditerranéen. Les relevés climatologiques révèlent une élévation graduelle du mercure dès le printemps, avec des valeurs atteignant 28°C en juin. La période la plus torride se situe en août, où le thermomètre affiche des pointes de 31°C, faisant de ce mois l'épicentre thermique annuel. Dès septembre, on observe une décroissance thermique progressive pour atteindre environ 28°C. Ces fluctuations de température influencent directement les besoins hydriques des espaces verts, particulièrement pendant les sommets estivaux où la consommation d'eau s'intensifie notablement. Cette réalité climatique nécessite l'élaboration de méthodes appropriées de régulation thermique et d'irrigation pour maintenir la qualité esthétique des aménagements paysagers et assurer le bien-être des visiteurs des espaces publics.

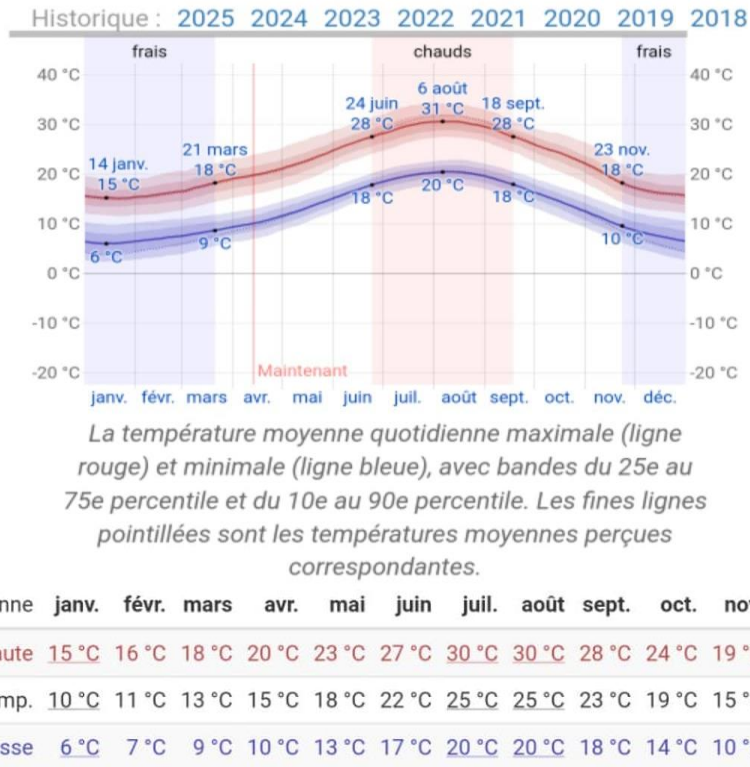


Figure 17: température moyenne maximale et minimale à Ain Témouchent (<http://fr.weatherspark.com>)

- **Données des précipitation mensuelles et annuelles**

Tableau 10: Données climatique _précipitation mensuelle et annuelle à Ain Témouchent (1974_2013)(DRE,ALKIHEL, 2014)

année/mois	sept	octob	novem	decem	janvier	fevrier	mars	avril	mai	juin	juille	aout	total
1974-1975	12,4	79,1	21,8	0,4	12,3	75,7	115,3	95,3	0,3	2,4	0	0	415
1975-1976	1	7,9	56,8	16,4	10,9	91	25,4	84,8	63,2	5,5	12	19,5	394,4
1976-1977	0	108,1	9,7	91	101,7	22,4	33,7	9,4	52,3	0	7,7	0	436
1977-1978	0	22,3	72,3	19	70,1	13,8	43,2	53	20			0	313,7
1978-1979	2,9	94,6	15	76,5	19,7	98,4	46,9	27,5	9,4	1,9	5,1	0,2	398,1
1979-1980	27,8	59,1	39,4	138	46,1	31,5	92,6	16,1	20,1	0	0	0,3	471
1980-1981	24,3	44,5	24,7	122	34,4	44,7	34,4	90,3	15,5	63	0	1,7	499,5
1981-1982	9,7	2,6	0	23,7	23,3	76,8	3,9	54,7	80,6	2,1	2	1,6	281
1982-1983	4,9	50,7	91	65	0	58,2	25,7	5,2	6,6	0		1,9	309,2
1983-1984	0	0	17,4	71,4	41,3	51,6	45,7	2,6	78,7	0,5	0	0	309,2
1984-1985	7,1	6,7	270,8	38	37,8	22,3	61,4	59,4	44,4	0,7	0	0	548,6
1985-1986	0,3	0,7	81,3	43,5	75,2	109,9	57,1	48,1	5,4	1,9	0	1,7	425,1
1986-1987	38,5	51,9	57,4	33,6	43,4	97,8	1,1	0,4	9,5	1	17	0,8	352,4
1987-1988	37	17,4	60,1	5,6	129,5	12,7	8,5	31,5	44,5	15,9	0	0	362,7
1988-1989	16,4	1,7	37,7	8,8	33	19,1	156,1	57,7	9,2	0,3	0	3,5	343,5
1989-1990	12,8	1,7	11,4	30	150,3	2,5	31,7	96,8	32,4	0,4	0	0	370
1990-1991	10,5	7,8	77	52,5	70,3	58,4	164,1	5	5,1	0	0	1	451,7
1991-1992	8	56,8	58,9	16,6	35,7	22,7	82,8	14,9	77,9	47,3	0	5,5	427,1
1992-1993	1,3	12,7	30,7	17,5	5,3	73,6	53	53,6	48,5	3,8	1,5	0,3	301,8
1993-1994	6,3	20,5	77,3	5,3	67	46,7	5,6	26,9	6,7	0,5	0,3	2,8	265,9
1994-1995	22,7	29,1	24,3	8,5	33,8	21,1	32,3						171,8
1995-1996	9,2	10,6	26	49,6	57,3	86,9	38,7						278,3
1996-1997		11,6	25,2	62,4	117,2			52,5	10,1	1,5	1	7,3	288,8
1997-1998	36,6	8,1	89,6	42,7	20,2	37,4	30,3	40,9	29,9	1,1	0,5		337,3
1998-1999	2,5	9,1	33,7	5,7	130,9	58,6	58,2		0,6				299,3
1999-2000	17,2	30,2	102,7	62,9			4,4	35,2	47,8				300,4
2000-2001	60,3	117,4	61,7	32,6	110,7	72,6	3,6	3,3	15,5				477,7
2001-2002	21,3	17,6	81,1	40,7	1,1	6,7	24,1	70,7	41,7	1,5		19,1	325,6
2002-2003	0,2	30,1	146,5	8	87,6	110	31,5	26	19,5	2,2			461,6
2003-2004		25,7	60,1	95,4	46,7	15,6	30,1	27,2	55,2	14,7		9,1	379,8
2004-2005		50,6	53,5	76,9	20	46,9	43,8	22,3	0,3				314,3
2005-2006	8,5	27,1	75,9	39,4	52,7	96,6	11,8	22,8	42,7	0,5		0,5	378,5
2006-2007	12,5	4,6	8,8	92,6	22,9	43,1	122,4	64,9	1,6				373,4
2007-2008	21,8	147,4	53,9	12,7	22,8	31,5	22,5	13,1	28,4				354,1
2008-2009	25,3	94,9	88,3	161,6	140	23,4	32,5	41,4	8				615,4
2009-2010	62,5	0,7	26,1	71,3	108,4	59	75,1	222,4	7,8	15,6		8	656,9
2010-2011	6,6	84	60,6	25,3	50,5	60,3	29,9	99,3	33,2	7			456,7
2011-2012	15,4	48	169,6	31,9	36,9	24,6	27,8	43	2,4				399,6
2012-2013	17,2	46,9	212,9	37,4	134	68,8	69,6	93	34,2				714
p moy	15,58	36,94	64,39	46,98	57,921	51,16	46,758	47,53	27,28	7,085	2,36	3,39	391,3

1.5 Infrastructure hydro agricole disponible dans la Wilaya d'Ain Témouchent :

La ville d'Ain Témouchent a des infrastructures d'eau de base, mais manque de systèmes pour récupérer et utiliser l'eau de pluie. Le réseau d'assainissement sert surtout à évacuer les eaux usées, avec quelques tuyaux pour l'eau de pluie dans le centre-ville. Mais il n'existe pas de système organisé pour collecter et stocker cette eau pour l'utiliser plus tard. (DRE,2025)

- Puits : 74 pour un débit de 67 l/s.
- Retenues collinaires : 3
- Forage : 44 pour un débit de 36 l/s.
- Sources : 24
- Bassin d'accumulation : 623 (73 128 m³).
- Petit barrage : 8

1.6 Infrastructures disponibles dans la région d'Ain Témouchent ;

La ville d'Ain Témouchent dispose d'infrastructures hydrauliques de base, notamment un réseau d'assainissement fonctionnel principalement destiné à l'évacuation des eaux usées domestiques. Cependant, la gestion des eaux pluviales reste limitée. Dans certaines zones du centre-ville, quelques canalisations permettent l'écoulement des eaux de pluie, mais il n'existe pas de dispositif structuré et intégré pour leur collecte, leur stockage et leur réutilisation ultérieure. De plus, le réseau d'assainissement adopte en grande partie un système unitaire, dans lequel les eaux usées et les eaux pluviales sont acheminées par les mêmes conduites, ce qui peut engendrer des surcharges lors des épisodes pluvieux importants. En somme, l'absence d'un système de récupération des eaux pluviales représente un manque notable dans le contexte d'une gestion durable des ressources hydriques. (ONA, 2025)

2 Présentation du milieu d'étude : Jardin Public "Lala Khadidja" – Ain Témouchent

2.1 Fiche d'identité :

- Nom : Jardin Public Lala Khadidja. (Domenic Kirikou) (APC, Ain Témouchent, 2025)
- Vocation : Espace de loisir et de détente, dédié aux activités culturelles et sociales.
- Superficie : surface totale : 1,796 hectares (17 960 m²).
- Le jardin a été classé par la décision 250/2010 en tant que Pot Immobilier N°35 de2014(APC,2014)



Figure 18: jardin de l'APC Lalla Khadidja (DARDOUR,2025)

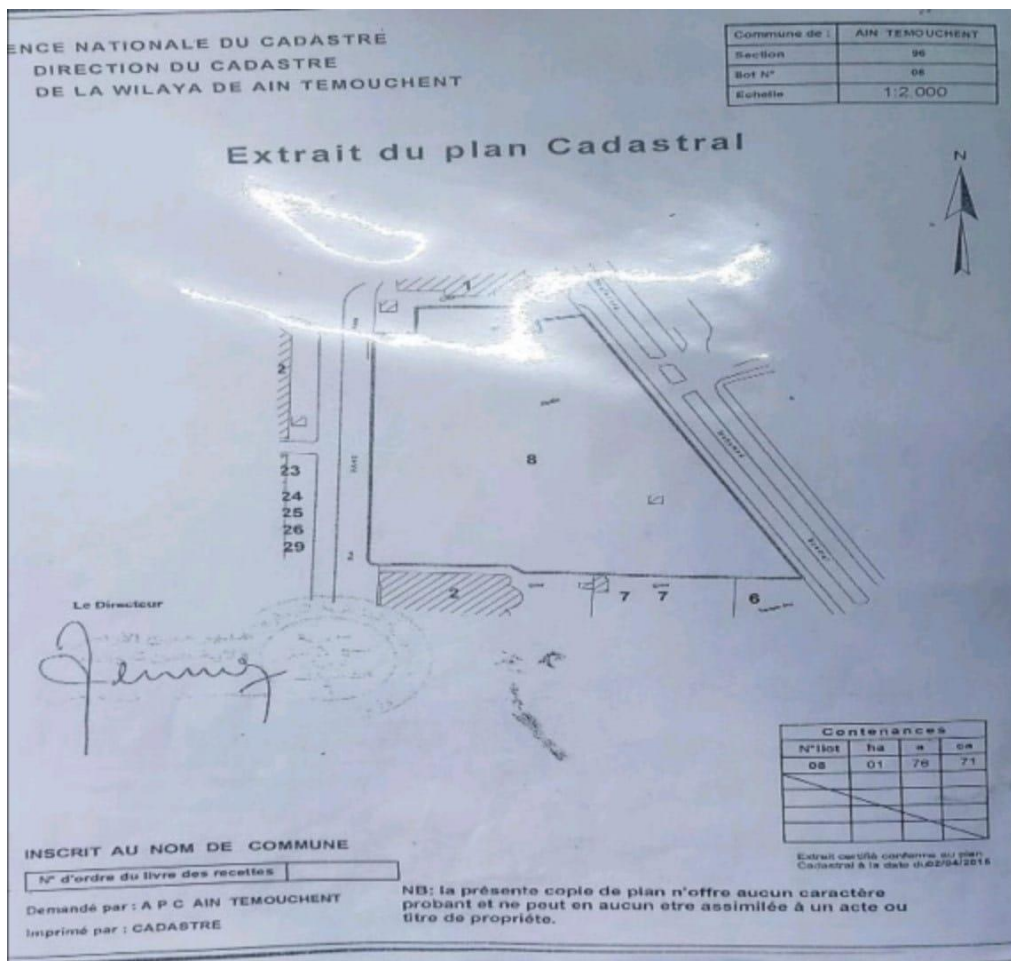


Figure 19 : Extrait du plan cadastral du jardin public de l'APC (APC. Ain Témouchent)

2.2 Situation et Localisation :

Le Jardin Public Lala Khadidja est stratégiquement implanté au cœur de la ville d'Ain Témouchent. Sa position centrale le rend facilement accessible à l'ensemble des habitants et visiteurs, elle est située entre la rue Raiho Kada, la rue Aissat Idir et l'avenue du 1^{er} mai, faisant de lui un point de convergence essentiel pour les activités sociales et les événements communautaires locaux. Ce positionnement privilégié renforce son importance dans le tissu urbain de la ville.

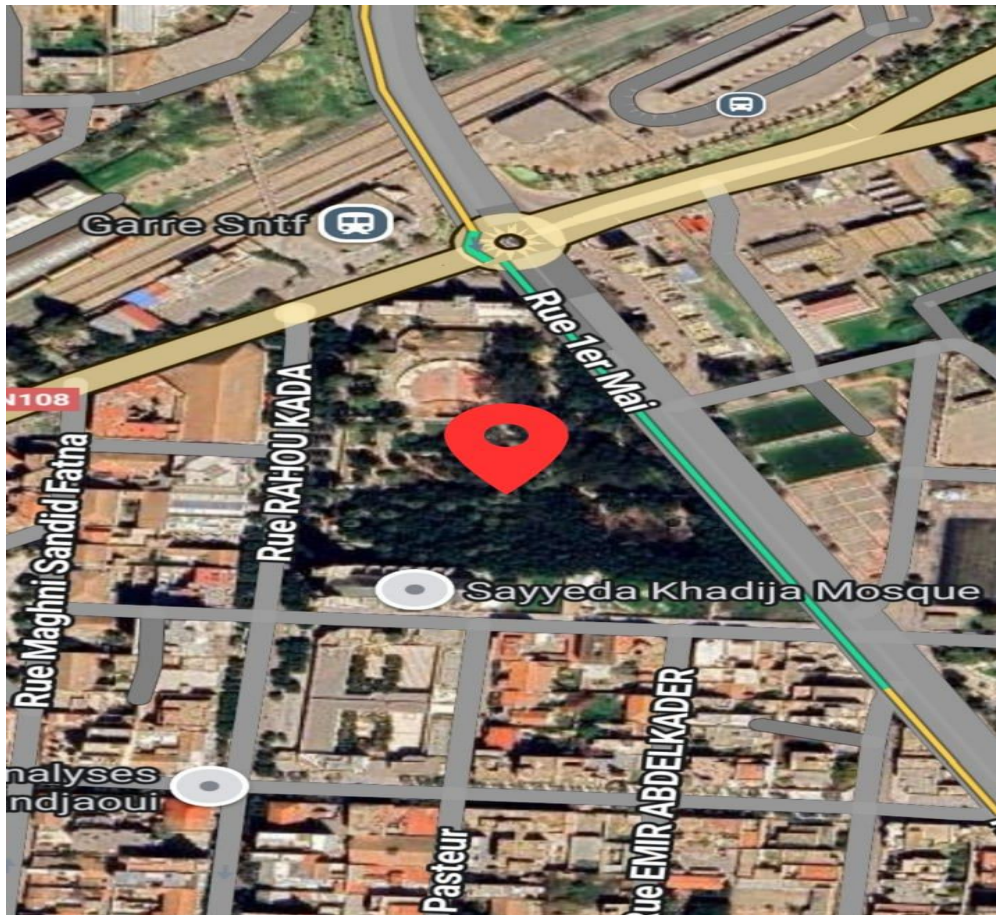


Figure 20: localisation de jardin de l'APC (www.googleMaps.com)

2.3 Topographie de jardin public

Le jardin public Lalla Khadidja au centre-ville d'Aïn Témouchent est situé à une altitude moyenne de 246 mètres au-dessus du niveau de la mer, avec des variations douces entre 241 et 246 mètres. (Camara & Fall, 2014)

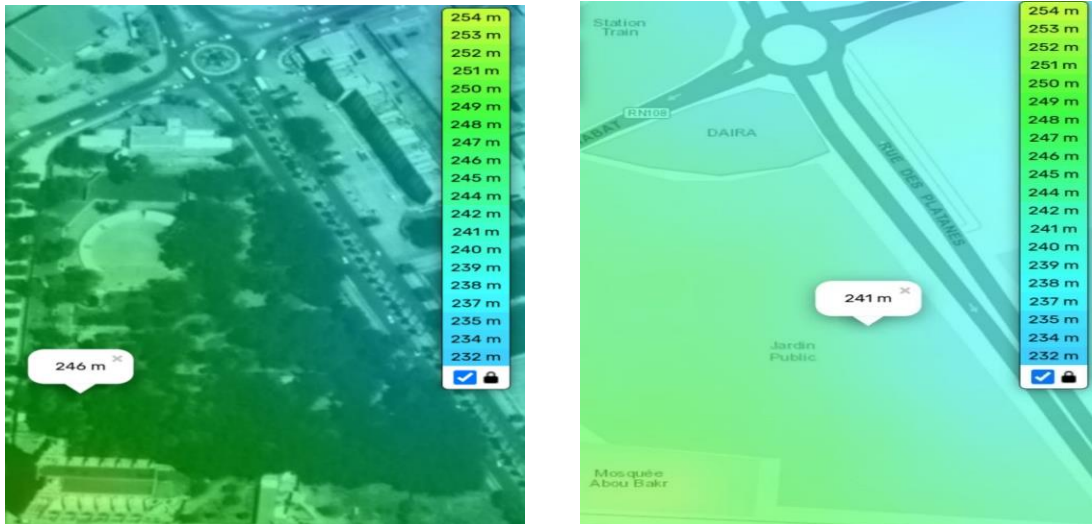


Figure 21: carte topographique de jardin de l'APC (topographic-mao.com)

2.4 Equipements existants :

- Mobilier urbain : kiosque, bancs, poubelles, corbeille
- Infrastructures :
 - Eclairage : système d'éclairage public pour une utilisation nocturne sécurisé
 - Assainissement : réseaux d'évacuation des eaux pluviales et sanitaires
 - Voirie : chemins piétonniers et allées aménagées

2.5 Espèces végétales :

- Arbres et arbustes :
 - Ficus retusa (Figuier retusa), Ficus macrophylla (Figuier à grandes feuilles).
 - Cupressus sempervirens (Cyprès), Pinus halepensis (Pin d'Alep).
 - Washingtonia (Palmier), Hibiscus rosa-sinensis (Hibiscus). Etc...
- Plantes ornementales :
 - Lantana camara (Lantanier), Justicia brandegeana (Plante crevette).
 - Biota orientalis (Thuya d'Orient), Ligustrum (Troène)Etc...

Tableau 11: Diversité floristique au sein du jardin (maison de l'environnement, AT,2025)

Nom de l'espace vert de jardin botanique	Espèces	Nombre	Espèces	Nombre
Jardin public ville Ain Témouchent	<i>Ficus retusa</i>	54	<i>Sophora japonica</i>	03
	<i>Ficus macrophylla</i>	29	<i>Bougainvillea glabra</i>	03
	<i>Cupressus sempervirens</i>	38	<i>Pittosporum tobira</i>	42
	<i>Juglans regia</i>	05	<i>Casuarina equisetifolia</i>	08
	<i>Hedera helix</i>	02	<i>Buxus sempervirens</i>	27
	<i>Nerium oleander</i>	04	<i>Olea europea var sylvestris</i>	04
	<i>Punica granatum</i>	03	<i>Myoporum laetum</i>	04
	<i>Phoenix canariensis</i>	23	<i>Pistacia dealbata</i>	03
	<i>Morus alba</i>	04	<i>Acacia dealbata</i>	01
	<i>Ligustrum vulgare</i>	05	<i>Platycladus orientalis</i>	04
	<i>Justicia adhatoda</i>	07	<i>Pinus halepensis</i>	10
	<i>Fraxinus excelsior</i>	01	<i>Washingtonia filifera</i>	02
	<i>Melia azedarach</i>	06	<i>Ulmus minor</i>	04
	<i>Agave americana</i>	01	<i>Sterculia foetida</i>	
	<i>Platycladus orientalis</i>	04	PONGAMIA PINNATA	02
	<i>Acacia dealbata</i>	01	<i>Acca sellowiana</i>	01
	<i>Platanus</i>	02	<i>Washingtonia filifera</i>	01

	<i>Phoenix dactylifera</i>	01	<i>Palmier washingtonia</i>	01
	<i>Populus alba</i>	01	<i>Millettia pinnata</i>	01

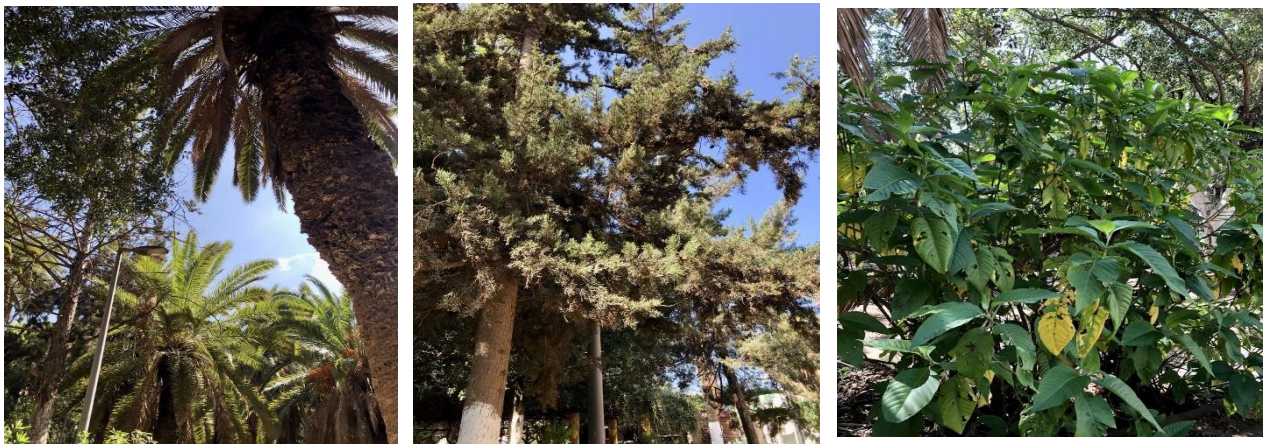


Figure 22: Quelques plantes du jardin public (DARDOUR. 2025)

2.6 Analyse de la situation actuelle en matière d'irrigation de jardin de Lalla Khadidja

Pour le Jardin Lalla Khadija, l'arrosage est principalement effectué manuellement ou à l'aide de systèmes semi-automatiques, utilisant l'eau potable provenant du réseau urbain. Cette pratique exerce une pression considérable sur les ressources hydriques disponibles, particulièrement dans un contexte marqué par des épisodes de sécheresse récurrents. Par ailleurs, un petit forage est parfois utilisé en complément pour subvenir aux besoins en irrigation, bien que son débit reste limité et son usage ponctuel. Cette situation souligne l'absence de solutions durables pour une gestion efficace de l'eau dans cet espace vert. (ADE, AT. 2025).

- **Méthodes actuelles d'irrigation :**

Le jardin utilise deux techniques complémentaires pour optimiser l'apport en eau tout en préservant les ressources :

- **Irrigation Goutte-à-Goutte**

- Principe et fonctionnement :

- Description : Un réseau de tuyaux équipés de goutteurs ou de micro-perfusions délivre l'eau directement à la base des plantes, au niveau des racines.

- Ciblage : Principalement utilisé pour les espèces ornementales (hibiscus, lantana, justicia) et les arbustes nécessitant une hydratation précise. (APC, Ain Témouchent, 2025)

- **Lit de Sable Sous-Gazon**

- Principe et fonctionnement :

- Description : Une couche de sable (3 à 5 cm d'épaisseur) est placée sous le gazon naturel pour former un système de drainage et de rétention d'eau.

- Mécanisme :

Répartition hydrique : Le sable agit comme un réservoir tampon, redistribuant l'eau de manière homogène vers les racines.

- Drainage amélioré : Empêche l'eau stagnante et réduit les risques de pourrissement des racines.
- Humidité constante : Maintient un niveau d'hydratation stable, idéal pour gazon en climat sec



Figure 23: Méthode actuels d'irrigation dans le jardin. (DARDOUR, 2025)

3 Analyse des besoins en eaux pour l'arrosage :

Evaluation des besoins en eau du jardin public

3.1 Classification des plantes selon leurs besoins en eau

Nous supposons les quantités d'eau suivantes (selon les normes moyennes adoptées dans les espaces verts)

En se basant sur les besoins hydriques moyens des différentes catégories de végétaux, l'estimation suivante a été établie :

- **Arbres de grande taille** (195 unités) : 50 litres/semaine/unité → 9 750 L/semaine
- **Arbustes moyens** (98 unités) : 20 litres/semaine/unité → 1 950 L/semaine
- **Petites plantes ornementales** (10 unités) : 20 litres/semaine/unité → 100 L/semaine (FAO)

Tableau 12: Besoin en eau végétaux selon leur catégorie et leur espèce (FAO,2012)

Catégorie	Espèces	Nombre	Besoins	Totale
Grand	Ficus, palmier, platane...	195	50L	9 750L
Moyen	Laurier, lentisque ...	98	20L	1 950L
Petit	Agave, Biota...	10	10L	100L

Totale hebdomadaire =9750+1950+100

=11 800 Litres/semaine =11,8 m³/semaine

3.2 Gazon et sol nu :

- Besoins en eau pour l'irrigation du gazon

La superficie totale du terrain est de 1,796 hectares, dont 40 % est couverte de gazon sur sol nu de type argileux, soit une surface de 7 076 m².

Les besoins en eau pour le gazon varient généralement entre 25 et 35 mm/semaine, selon le climat et la nature du sol. Étant donné que le sol est argileux, retenant bien l'eau, une valeur moyenne de 30 mm/semaine a été retenue.

Cela équivaut à :

$7\,076\text{ m}^2 \times 30\text{ litres/m}^2 = 212\,280\text{ litres/semaine}$

Soit environ 212,3 m³ d'eau par semaine nécessaires pour l'irrigation de cette surface.

❖ Plan de réduction progressive de la consommation en eau d'irrigation :

Cette stratégie repose sur les points suivants :

-Ajustement automatique de l'irrigation en fonction des données des capteurs d'humidité, avec suppression des arrosages inutiles lors de conditions climatiques favorables.

-Réduction graduelle du temps d'arrosage sur 5 semaines, tout en surveillant l'état sanitaire du gazon.

-Fractionnement des cycles d'arrosage pour améliorer l'infiltration de l'eau et limiter l'évaporation.

-Contrôles réguliers du matériel (buses, électrovannes, programmateur) pour assurer un fonctionnement optimal et homogène.

▪ **Objectifs de réduction de 20% :**

Volume économiser = $213\,280 \times 0,20 = 42\,456$ litres/semaine

- Nouvelle consommation visée :

$212\,280 - 42\,456 = 169\,824$ litre/semaine

- Nouvelle dotation par mètre carré :

$169\,842 / 7076 = 24$ litre/ m²/semaine

3.3 Totale besoin pour l'arrosage :

Environ 70 % des 17 650 m² de superficie totale du jardin public Lalla Khadidja sont constitués d'espaces végétalisés, soit une superficie estimée à 12 355 m². Le jardin présente une grande diversité végétale, avec notamment de grands arbres ainsi que de nombreuses espèces d'arbustes et de plantes ornementales.

$169\,824L + 11\,800L = 181\,624L = 181,624\text{ m}^3$

Ce qui donne un total hebdomadaire d'environ 181624 litres, soit 181,624m³/semaine. Durant la période sèche (moitié de mai, juin, juillet, aout, moitié de septembre) (weatherspark, 2025) estimée à 16 semaines, le volume total nécessaire pour l'arrosage serait de :

$181,624\text{m}^3/\text{semaine} \times 16\text{semaines} = 2905,984\text{ m}^3(4\text{mois})$

4 Détermination de la quantité d'eau de pluie nécessaire

- **Calcule du débit de pointe (Q) :**

Le débit de pointe a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$Q = C \times I \times A$$

- **C** : coefficient de ruissellement
- **I** : l'intensité des précipitations (186 L/S/Ha)
 - t = 15min
 - T= 10ans (période de retour)
- **A** : la superficie de bassin versant (dans ce cas, il s'agit de tout le jardin :1,769ha) B.V
- **0.278** : coefficient de conversion d'unité

➤ Calcule C :

Tableau 13: Tableau de ruissellement

Surface	Pourcentage (S)	C	C×S
Gazon et sol	40%	0.30	0.40×0.30= 0.12
Surface Imperméable	30%	0.90	0.30×0.9= 0.27
Plantes	30%	0.40	0.30×0.40= 0.12

$$C=0.12+0.27+0.12 = 0.51$$

C=0.51

➤ Calcul du débit (Q)

$$Q=0.278 \times 0.51 \times 186 \times 1.769 = 46.56 \text{L/s}$$

Q=46.56L/s

Q=0.0465m ³ /s

➤ Calcul de volume des eaux de pluie pendant une averse de 15min (900s)

$$V=Q \times t$$

$$V=46.56 \text{L} \times 900 = 41\,904 \text{L} = 41.904 \text{ m}^3$$

V=41.904 m ³

- **Calcul du volume annuel des eaux collectées :**

Le volume été calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{Volume} = P \times S \times C$$

- **P** : la quantité d'eau de pluie annuelle (391.22mm)
- **S** : superficie (17 690m²)
- **C** : coefficient de ruissellement (0.495)

$$V = 0.31922 \times 17690 \times 0.495 = 2879.97 \text{ m}^3$$

Cela représente 2879.97 m³ d'eau collectée chaque année.

- **Calcul du volume annuel des eaux pluviales collecté depuis les toitures :**

- **Volume des eaux pluviales collectées depuis les toitures :**

$$\text{Volume} = P \times S \times C$$

- **Données :**

- ✓ P = Hauteur de précipitation : 391.226mm = 0.391226m
- ✓ S = Surface de collecte (tous les toiture disponible) : 5388 m²
- ✓ C = Type de surface : Toiture ⇒ Coefficient de ruissellement (C) ≈ 0.9

$$\text{Volume} = 0.39122 \text{mm} \times 5388 \text{m}^2 \times 0.9 = 1894.9 \text{ m}^3$$

Le volume annuel d'eau de pluie récupérable depuis les toitures est d'environ 1895 m³

- **Dimension de réservoir :**

La profondeur choisie est : 5m

- **Calcul de la surface de sol :**

$$\text{Surface au sol} = 1895 / 5 = 379 \text{ m}^2$$

- **Proposition de dimension (longueur × largeur)**

$$18 \times 21$$

- **Les dimensions suivantes conviennent pour le réservoir :**

- ✓ Longueur : 18m
- ✓ Largeur : 21m
- ✓ Profondeur : 5m

- **Dimension de bassin à ciel ouvert :**

Nous proposons que le volume de bassin : 400 m³

▪ **Résumé :**

- Capacité du réservoir : $\approx 1890 \text{ m}^3$
- Capacité du bassin ouvert : 400 m^3
- Capacité totale disponible : $\approx 2190 \text{ m}^3$

• **Dimensionnement des canalisations**

▪ Données techniques :

- Débit maximal à évacuer : $Q = 46.63 \text{ L/s} = 0.04663 \text{ m}^3/\text{s}$
- Pente des canalisations : $S = 2\% = 0,02$
- Matériau : PVC
- Coefficient de Manning : $n = 0,011$

▪ Formule de Manning (pour canal circulaire plein) :

$$Q = 1/n \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Simplification approximative :

$$Q = 0,312 \times D^{3/8}$$

Avec D en mètres.

▪ Calculs approximatifs des débits selon diamètre :

$$D = (Q/0.312)^{3/8} = (0.04663/0.312)^{3/8} = (0.1495)^{0.375} = 0.502\text{m}$$

▪ **Résultat :**

- Diamètre intérieur requis : environ 0.502m (502mm)
- Diamètre normalisé le plus proche en PVC : DN 500mm

5 Système proposé : Système de collecte des eaux de pluie par les toitures et bassin à ciel ouvert :

5.1 Description technique de système :

• **Collecte des eaux de pluie (Collecte des eaux de ruissellement) :**

- Sources de collecte :

Les eaux pluviales sont récupérées à partir de deux types de surfaces :

- ✓ Les toitures des bâtiments (mosquée, daïra, sanitaires publics, kiosques, etc.)
- ✓ Les surfaces imperméables (squares, allées piétonnes, dalles en béton...)

- **Système de collecte :**

- Installation de gouttières robustes (PVC ou zinc) pour la collecte des eaux de toiture

- Acheminement des eaux vers un réservoir enterré principal

- Mise en place de tranchées drainantes en sortie du réservoir pour l'infiltration contrôlée dans le sol

- Système de trop-plein intégré permettant de rediriger le surplus vers un bassin à ciel ouvert

- Simultanément, les eaux de ruissellement issues des surfaces dures sont également dirigées vers ce bassin. (**Jenkis&Sugden,2006**)

- **Bénéfice du système**

- Récupération efficace des eaux pluviales
- Élimination des problèmes de stagnation d'eau
- Réduction des pertes d'eau

- **Réservoir de stockage souterrain**

- **Caractéristiques du réservoir**

- Matériaux de construction : béton armé ou PEHD (polyéthylène haute densité)

- Capacité totale : environ 1890 m³

- Profondeur moyenne : 5 mètres

- Couvercle hermétique pour :

- ✓ Prévenir l'évaporation de l'eau stockée
- ✓ Éviter toute contamination extérieure

- Équipements techniques :

- ✓ Un regard de visite facilitant l'entretien régulier
- ✓ Un système de mesure du niveau d'eau pour contrôler le volume disponible
- ✓ Un système de trop-plein connecté au bassin

- **Rôle principal**

Le réservoir centralise la collecte des eaux de toiture, assurant leur stockage protégé et leur distribution lente via des tranchées drainantes, tout en contrôlant les débordements vers le bassin.

- **Tranchées drainantes :**

- Conception du système :

- Mise en place d'un second circuit hydraulique dédié
- Acheminement de l'eau vers un réseau de tranchées spécialisées
- Installation de tuyaux perforés de Ø500 mm dans ces tranchées
- Pente d'installation calibrée à 2% pour assurer un écoulement optimal
- Répartition homogène de l'humidité dans le sol, favorable au système racinaire

- Composition des tranchées

- Garnissage des tranchées avec une combinaison de :

- Gravier pour faciliter le drainage
- Sable pour filtrer l'eau et favoriser l'infiltration

- Fonctionnement et bénéfices

- Infiltration progressive de l'eau dans le sol environnant
- Humidification naturelle du substrat sans saturation
- Alimentation directe et efficace du système racinaire des plantations
- Distribution de l'eau sur une zone étendue du jardin

Ce système de tranchées drainantes complète efficacement le réservoir souterrain en permettant une utilisation passive des eaux pluviales, contribuant ainsi à une gestion durable des ressources hydriques du Jardin Lalla Khadidja.

- **Bassin de collecte à ciel ouvert (Bassin de débordement)**

- Rôle technique :

- Réception des eaux de ruissellement et des eaux excédentaires du réservoir
- Redirection automatique de l'excès d'eau depuis le réservoir souterrain
- Prévention efficace des risques d'inondation grâce à son système de trop pleine

- Gestion des surcharges hydrauliques du système principal
 - Rôle écologique :
 - Création d'un habitat favorable à la biodiversité locale
 - Point d'attraction pour diverses espèces d'oiseaux
 - Refuge pour petits animaux et insectes bénéfiques
 - Contribution à l'équilibre écosystémique du jardin
 - participe à la création d'un microclimat favorable et à l'embellissement
 - Apport esthétique
 - Intégration harmonieuse dans le paysage du Jardin Lalla Khadidja.
 - Élément d'eau décoratif enrichissant l'expérience visuelle.
 - Amélioration de l'ambiance générale par la présence apaisante de l'eau.
 - Valorisation environnementale de l'espace public.

Ce bassin à ciel ouvert remplit donc une triple fonction : technique (gestion des surplus d'eau), écologique (support de biodiversité) et esthétique (embellissement du jardin).

- **Avantages écologiques et économiques**

- Bénéfices économiques
 - Réduction significative de la consommation d'eau potable pour l'irrigation
 - Diminution substantielle des coûts d'exploitation du jardin
 - Optimisation des ressources disponibles localement
 - Moindre dépendance aux infrastructures d'approvisionnement en eau
- Avantages environnementaux
 - Amélioration de la durabilité du système de gestion des eaux
 - Maintien naturel de l'humidité du sol sans irrigation artificielle intensive
 - Réduction de l'empreinte écologique du jardin
 - Utilisation rationnelle d'une ressource précieuse dans un contexte de raréfaction

- Impact sur l'écosystème
 - Création d'un environnement équilibré et résilient au sein du jardin
 - Développement d'un microclimat favorable à la diversité végétale
 - Support à la biodiversité locale (insectes pollinisateurs, oiseaux, etc.)
 - Modèle démonstratif de gestion durable des espaces verts urbains

Ce système intégré de gestion des eaux pluviales représente donc un investissement pertinent, générant des bénéfices tant économiques qu'environnementaux à long terme pour le Jardin Lalla Khadidja.

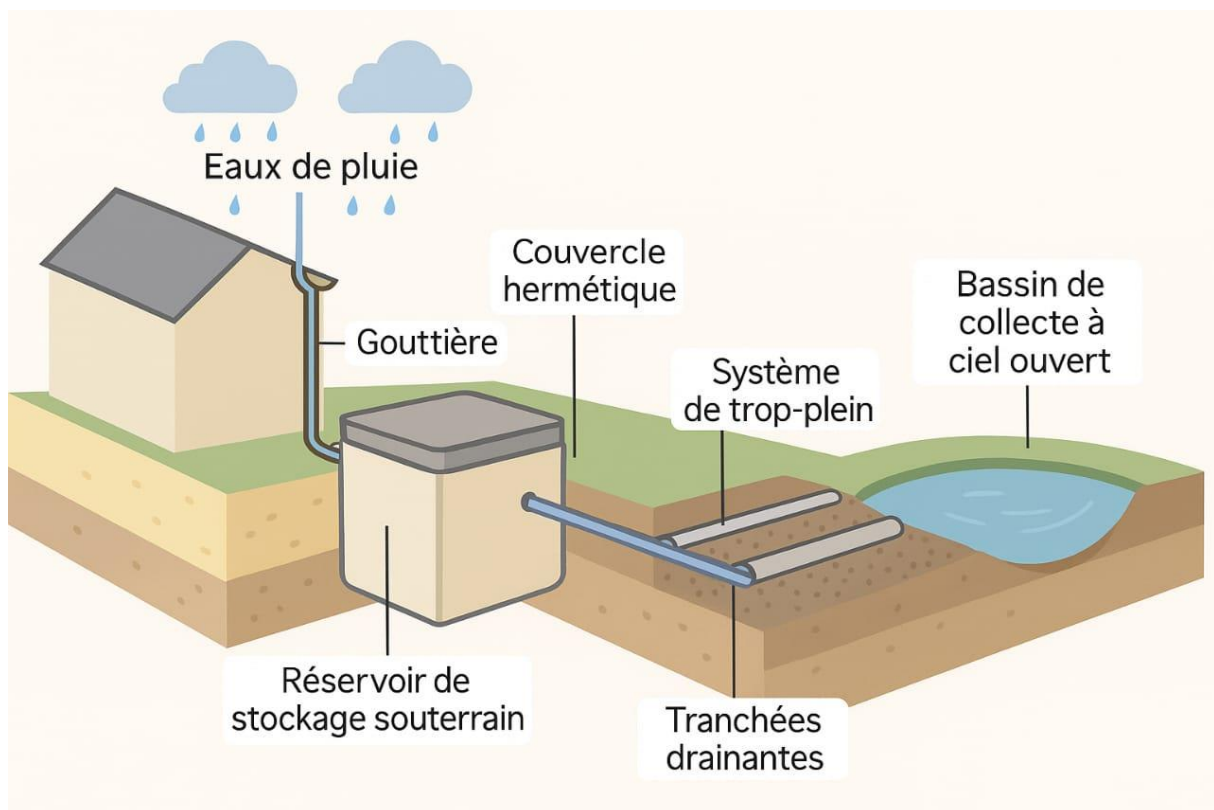


Figure 24 :schéma du système de collecte des eaux pluviales- Parc Lalla Khadidja(DARDOUR Bouchra, 2025)

6 Système d'irrigation proposé : Système par aspersion :

Étant donné que la surface totale du jardin est de 1,769 hectare (17 690 m²) répartie comme suit :

- ✓ 40% de gazon et sol nu (7 076 m²)
- ✓ 30% de plantations (grandes, moyennes, petites) (5 307 m²)
- ✓ 30% de surfaces imperméables (5 307 m²) – non concernées par l'irrigation

Nous proposons un système d'irrigation par aspersion, conçu pour assurer une répartition homogène de l'eau et répondre aux besoins hydriques des différentes zones végétalisées, tout en optimisant l'utilisation des ressources en eau de pluie déjà collectées.

6.1 Composants du système

a. Réseau de canalisations

Conduites principales : Tuyaux enterrés de diamètre 90–110 mm (en PVC ou PEHD), transportant l'eau depuis le réservoir.

Conduites secondaires : Tuyaux de diamètre 50–63 mm, distribuant l'eau vers les arroseurs. (Hegazi et al,2012)

b. Arroseurs

- Pour le gazon :
 - ✓ Arroseurs rotatifs à longue portée (10 à 12 m).(Younis&Yasin,2025)
 - ✓ Disposition en quadrillage ou en triangle pour assurer un chevauchement optimal
- Pour les plantations :
 - ✓ Arroseurs fixes (sprays) avec portée de 7m
 - ✓ Disposition adaptée à la densité et aux besoins spécifiques des plantes

c. Système de commande

Électrovannes : Permettent de contrôler les différentes zones d'irrigation.

Programmeur centralisé : Permet de définir les horaires et durées d'arrosage en fonction des besoins.

d. Répartition des arroseurs

Chevauchement : Chaque arroseur doit couvrir une partie de la zone des arroseurs voisins pour garantir une distribution uniforme.

- Distances :

Entre arroseurs pour gazon : 10 à 12 mètres

Entre ligne pour gazon : 15mètre

Entre arroseurs pour plantations : 7 mètres

Entre ligne pour plantation : 7 mètres

- **Calcul de la couverture et du nombre d'arroseurs**

a. Zone du gazon :

- Superficie : 7 076 m²
- Type d'arroseurs : Rotatif à longue portée
- Portée : 10 à 12 m
- Disposition : En quadrillage (grille)
- Espacement entre arroseurs : 12m
- Espacement entre ligne : 15m

❖ Calcul du nombre d'arroseurs

Chaque arroseur couvre environ :

$$12 \times 15 = 180 \text{ m}^2$$

Donc :

$$7076 / 180 = 39,3 = 40 \text{ arroseurs rotatifs}$$

b. Zone des plantations :

- Superficie : 5 307 m²
- Types d'arroseurs : fixes (sprays)
- Portée : 7m
- Disposition : En grille 7 × 7m

Chaque arroseur couvre

$$7 \times 7 = 49 \text{ m}^2$$

Donc

$$5307 / 49 = 108,3 = 109 \text{ arroseurs fixes}$$

c. Récapitulatif du système d'arrosage :

Tableau 14: Récapitulatif du système d'arrosage

Zone	Type d'arroseurs	Surface (m²)	Surface/arroseurs (m²)	Nombre d'arroseurs
Gazon	Rotatif	7076	180	40
Plantation	Fixe	5307	49	109
Total	–	–	–	149 arroseurs

- **Taux de précipitation (Précipitation Rate)**

- Pour calculer le taux de précipitation, on utilise la formule :

$$PR = (96.3 \times Q) / (S \times L)$$

Où :

PR : Taux de précipitation (pouce /heure)

Q : Débit (l/s)

S : Espacement entre les arroseurs (m)

L : Espacement entre les lignes (m)

- Pour le gazon

$$PR = (96.3 \times Q / S \times L) = 96.3 \times 1/12 \times 15 = 96.3/180 = 0.535 \text{ pouce/heure}$$

- Conversion en mm/h :

$$PR = 0.535 \times 25.4 = 13.6 \text{ mm/heure}$$

- Pour les plantes :

$$PR = (96.3 \times Q / S \times L) = 96.3 \times 1/7 \times 7 = 96.3/49 = 1.96 \text{ pouce/heure}$$

- Conversion en mm/h

$$PR = 1.96 \times 25.4 = 49.9 \text{ mm/h}$$

Le PR doit être compatible avec la capacité d'infiltration du sol pour éviter les ruissellements.

6.2 Programmation de l'irrigation

Gazon : Arrosage 2 à 3 fois par semaine selon les conditions climatiques.

Plantations : Arrosage modulé selon les espèces végétales et leur stade de développement.



Figure 25 : plan d'aménagement et d'irrigation du parc Lalla Khadidja(DARDOUR Bouchra, 2025)

7 Description de l'interaction entre le système de collecte et le système d'irrigation par aspersion :

a. Collecte et stockage

- Les eaux de pluie sont collectées à partir :
 - ✓ Des toitures des bâtiments via des gouttières,
 - ✓ Des surfaces imperméables (salles, allées) sous forme de ruissellement.

- Ces eaux sont ensuite acheminées :
 - ✓ Vers un réservoir principal enterré cylindrique, d'une capacité d'environ 36 m³, situé à un point stratégique du parc, à proximité des tranchées drainantes,
 - ✓ Puis, en cas de débordement, vers un bassin à ciel ouvert, jouant le rôle de tampon hydraulique et de régulation.

Ce système assure une alimentation fiable du réseau d'irrigation, même en période de sécheresse (**Campisano et al.,2017**)

b. Pompage de l'eau depuis le bassin

Une pompe submersible ou une station de pompage est installée dans ou à proximité du bassin pour aspirer l'eau (**Fewkes&butler,2000**).

- Elle est dimensionnée en fonction :
 - ✓ Du débit nécessaire pour alimenter tous les arroseurs,
 - ✓ De la pression requise (généralement entre 2 et 4 bars) pour assurer un arrosage efficace.

c. Réseau de distribution sous pression

L'eau pompée est acheminée dans un réseau de canalisations enterrées en PVC ou PEHD. (**Jones&Hunt, 2010**)

- Ce réseau comprend :
 - ✓ Des soupapes anti retour pour empêcher le reflux vers le bassin,
 - ✓ Des filtres pour retenir les impuretés et protéger les arroseurs.

d. Têtes de sprinklers

Les canalisations se terminent par des arroseurs escamotables (sprinklers) répartis stratégiquement dans toute la zone végétalisée (**Keller & Bliesner, 1990**).

- Les sprinklers sont choisis selon :
 - ✓ Le rayon de couverture souhaité.
 - ✓ Le débit d'eau compatible.
 - ✓ Le type de végétation (gazon, arbustes, etc.).

e. Système de commande

- Un programmeur automatique est installé pour :
- ✓ Définir les horaires d'arrosage optimaux (tôt le matin ou tard le soir).
- ✓ Ajuster la durée d'arrosage selon les saisons et les besoins hydriques des plantes.

f. Irrigation ciblée par aspersion

- Le système d'arrosage couvre :
- ✓ 40 % de gazon et sol nu,
- ✓ 30 % de plantations diverses (arbustes, fleurs, plantes de tailles variées).
- Les sprinklers assurent :
- ✓ Une couverture homogène,
- ✓ Un contrôle précis du volume d'eau utilisé,
- ✓ Une économie de la ressource, en valorisant l'eau pluviale collectée localement.

g. Complémentarité et durabilité

- Cette interaction entre collecte et irrigation permet :
- ✓ De réduire la dépendance à l'eau potable,
- ✓ De valoriser les précipitations locales,
- ✓ De préserver l'environnement en réduisant les pertes en eau
- ✓ De maintenir un équilibre hydrique durable pour la santé du sol et des plantations.

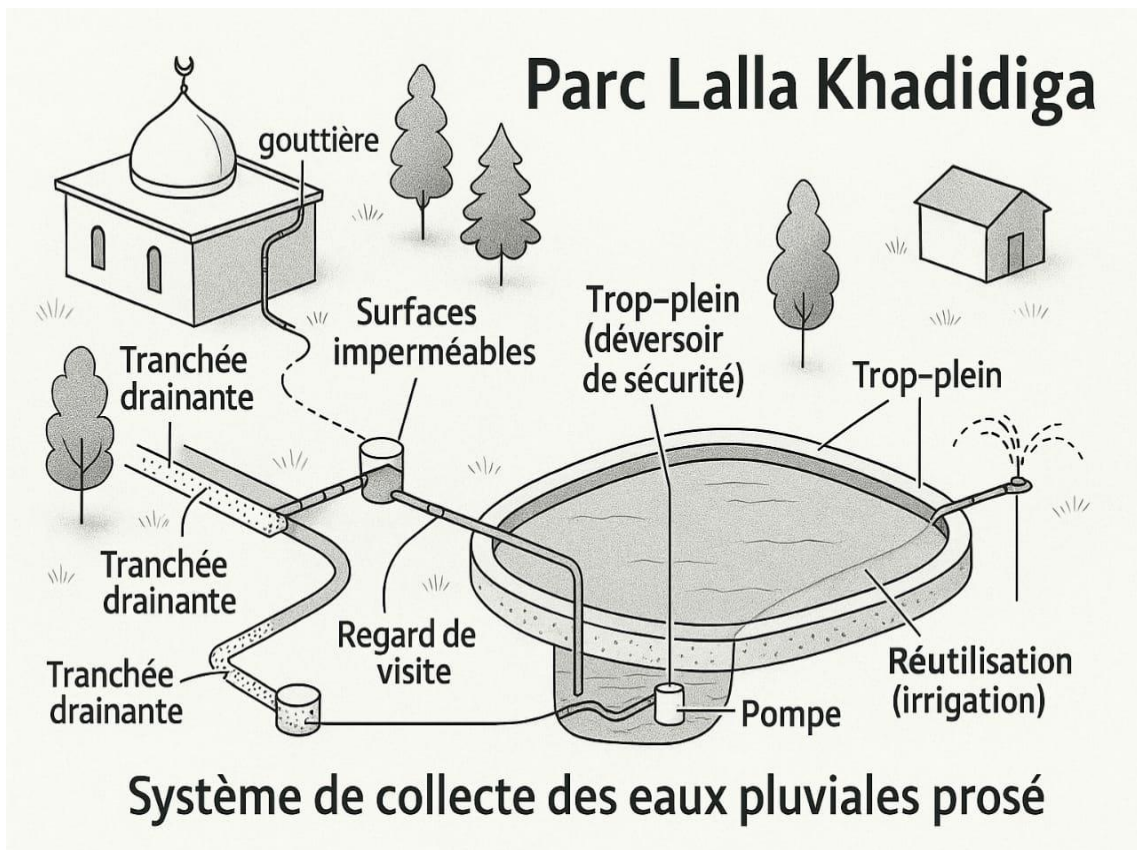


Figure 26 : schéma du système de collecte et système d'irrigation (DARDOUR Bouchra, 2025)

8 Les couts du projet :

8.1 Système de collecte des eaux pluviales

Tableau 15: Les couts de système de collecte des eaux pluviales

Elément	Description	Quantité	Prix unitaire	Prix totale (DZD)
Réservoir enterré	Réservoir en béton (1890 m ³)	1890	7000/ m ³	=15 330 000
Bassin à ciel ouvert	Bassin d'une capacité de 300 m ³	300	7000/ m ³	=2 100 000
Canalisation (PCV DN500)	Tuyaux en PVC de diamètre DN 500 mm	100	12000/m	=1 200 000
Gouttières et raccordements	Gouttières et tuyauterie de collecte (PVC ou zinc)	400	1500/m	=600 000
Equipements technique	Regard, pompe ; système de mesure de niveau, crépine, trop-plein	–	–	470 000
Terrassement et mise œuvre	Travaux de terrassement (542DZD/ m ³ ×2190)	2190	542	894 300
Sous totale collecte				=208865800DZD

8.2 Système d'irrigation par aspersion

Tableau 16: Les couts de système d'irrigation

Elément	Quantité estimée	Prix unitaire (DZD)	Prix totale DZD)
Turbines (arroseurs rotatifs)	40 unités	2000-2500	=80 000
Arroseurs fixes (sprays)	110 unités	1200-1800	=1320000
Conduites principales (Ø90/110mm)	300 m	1500-2000	=450000-600000
Tuyauterie secondaire (Ø50/63mm)	800 m	800-1200	=640000-960000
Pompe électrique	1 unité	180000-250000	=180000-250000
Filtres et dispositifs de sécurité	Kit complet	40000-70000	=40000-70000
Réservoir de distribution (optionnel)	1 unité	60000-100000	=60000_100000
Programmateurs automatiques	1(6 zones)	90000-130000	=90000-130000
Electrovannes	6 à 8 unités	80000-12000	=60000-96000
Main d'œuvre installation			=200000- 300000
Sous totale irrigation			=1782000DZD

Totale général :

Poste	Montant (DZD)
Systeme de collecte	=20 886 580 DZD
Systeme d'irrigation	=1 965 000 DZD
Totale générale du projet	=22 668 580 DZD

❖ Obs : Note supplémentaire :

Les prix sont approximatifs et peuvent varier selon les fournisseurs.

Nous n'avons pas calculé les couts annuels de maintenances, mais ils sont estimés à environ 5 à 10 % de la valeur du projet par an.

CHAPITRE III : Résultats

Résultats:

1 Collecte des eaux pluviales

L'analyse des données pluviométriques sur une période de 30 ans a permis de déterminer une précipitation annuelle moyenne de 391,22 mm, un chiffre favorable à la mise en place d'un système efficace de récupération des eaux de pluie, notamment dans un contexte urbain paysager.

1.1 Surfaces collectrices :

La superficie totale du jardin est de 1,769 ha (soit 17 690 m²). Avec un coefficient de ruissellement de 0,51, le volume d'eau potentiellement récupérable est estimé à 2879,9 m³/an.

Par ailleurs, des toitures d'une surface totale de 5399 m², avec un coefficient de ruissellement de 0,9, permettent de récupérer jusqu'à 1894,9 m³/an.

1.2 Système de stockage :

Afin d'assurer une disponibilité en eau suffisante pendant les périodes de sécheresse, un dispositif de stockage a été conçu, comprenant :

Un réservoir souterrain d'une capacité de 1890 m³, alimenté par un réseau de conduites de diamètre 500 mm.

Un bassin ouvert de capacité supplémentaire de 400 m³, servant de zone tampon ou de réserve en cas de fortes demandes.

La capacité totale de stockage atteint ainsi 2290 m³, ce qui permet de couvrir une part importante des besoins en irrigation pendant la saison sèche. (figure27)

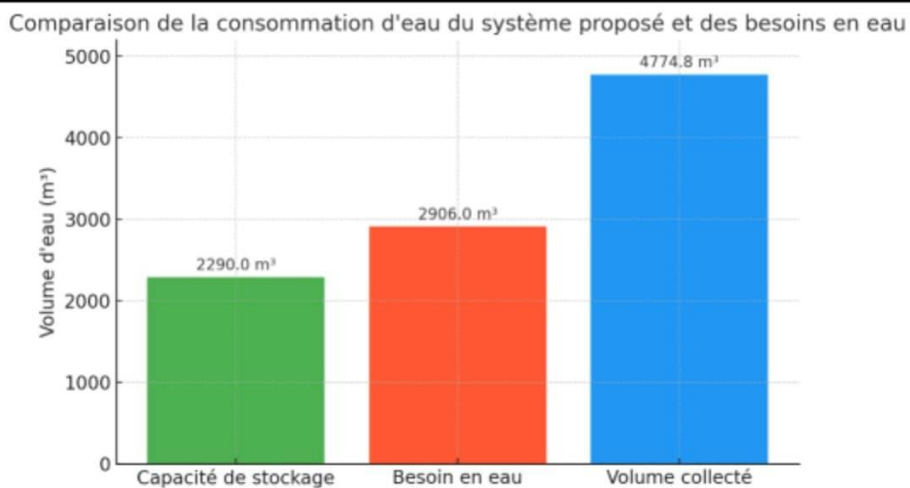


Figure 27 : comparaison de la consommation d'eau du système proposé et besoin d'eau

2 Système d'irrigation

Le système d'irrigation proposé est divisé en deux zones distinctes selon le type de couverture végétale, afin de répondre aux exigences spécifiques de chaque espace.

a. Zone de gazon :

- Surface totale : 7076 m²
- Type d'arroseurs : rotatifs, adaptés aux grandes surfaces
- Nombre d'arroseurs : 40 (avec une couverture de 180 m² par arroseur)
- Débit d'application : 13,6 mm/h

b. Zone de plantations :

- Surface totale : 5307 m²
- Type d'arroseurs : fixes, pour une irrigation ciblée
- Nombre d'arroseurs : 109 (avec une couverture de 49 m² par arroseur)
- Débit d'application : 49,9 mm/h

▪ Stratégie d'exploitation :

L'irrigation est programmée uniquement durant la période de sécheresse, estimée à 16 semaines par an (environ 112 jours).

Les cycles d'irrigation sont planifiés tôt le matin ou en fin de journée, afin de limiter l'évaporation et d'optimiser l'efficacité.

Le besoin annuel en eau pour l'ensemble des zones est estimé à 2905,984 m³, réparti selon les besoins de chaque type de végétation.

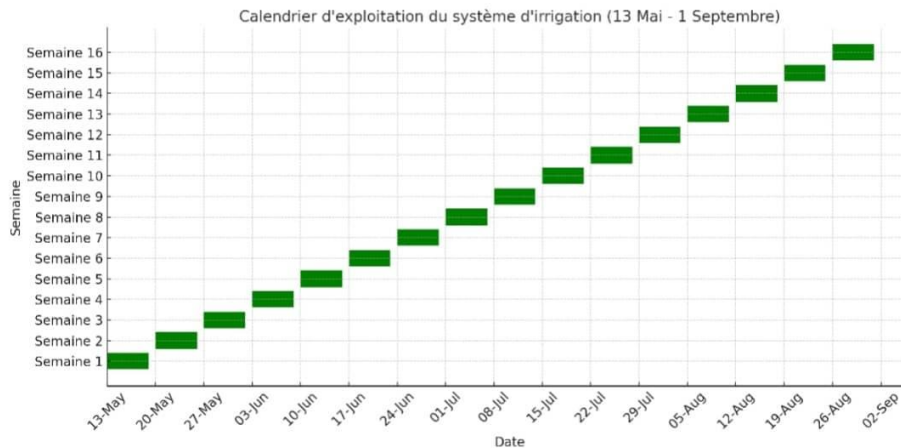


Figure 28 calendrier du système d'irrigation (13mai- 1septembre)

Ce diagramme illustre le calendrier d'exploitation du système d'irrigation pendant la période de sécheresse, qui s'étend sur 16 semaines, allant du 13 mai jusqu'au 1er septembre.

Chaque barre verte représente une semaine de fonctionnement du système d'irrigation.

L'irrigation est programmée de manière hebdomadaire et régulière afin de répondre aux besoins en eau des plantations tout au long de la période de sécheresse.

Cette planification temporelle permet d'automatiser les cycles d'irrigation à l'aide d'électrovannes, en fonction des besoins prédéfinis.

▪ **Automatisation et contrôle :**

Électrovannes : assurent la gestion indépendante de chaque zone d'irrigation.

Programmeur centralisé : permet de définir les horaires, durées et fréquences d'arrosage selon les besoins saisonniers et journaliers.

3 Coûts estimés du projet

Afin de mettre en œuvre ce système intégré de collecte et d'irrigation durable, les coûts suivants ont été estimés :

- Système d'irrigation par aspersion : 1 782 000 DZD
- Système de collecte des eaux pluviales (réservoir, bassin, canalisations) : 20 886 580 DZD
- Coût total du projet : 22 668 580 DZD

Cet investissement contribue significativement à réduire l'usage d'eau potable pour l'arrosage et assure la pérennité de l'espace vert pendant les périodes sèches.

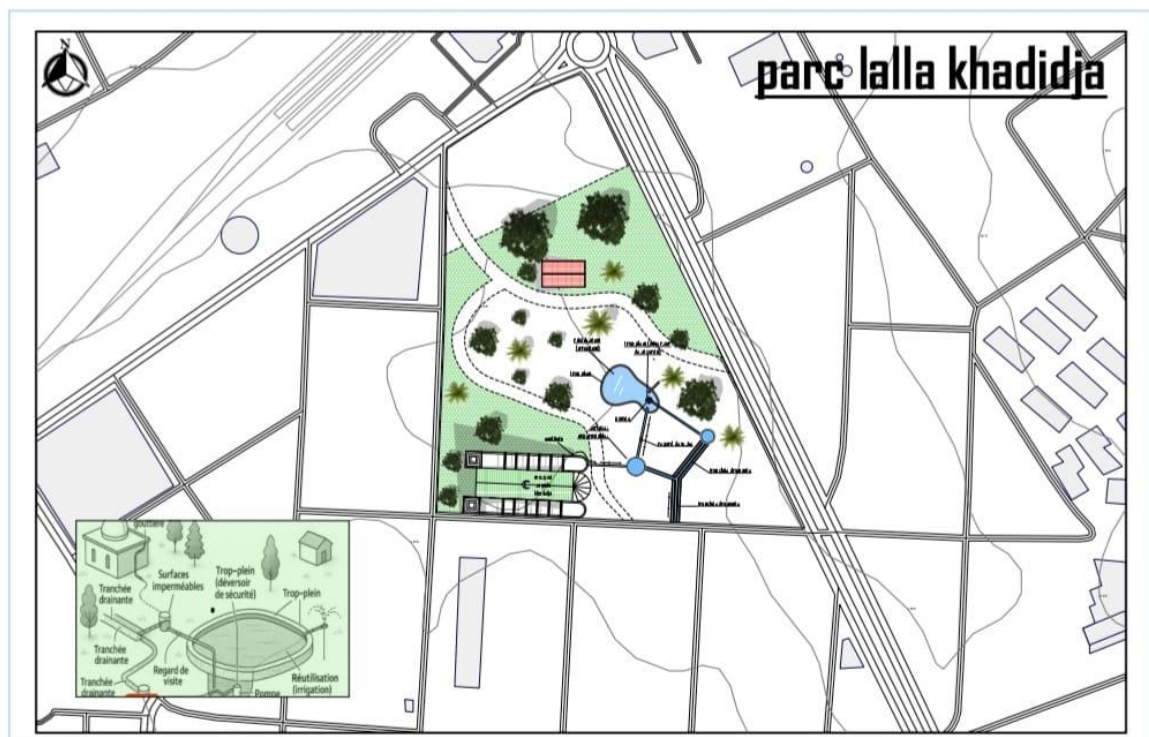


Figure 29 conception d'un système de collecte et de distribution des eaux pluviales pour l'irrigation du parc Lalla Khadidja – commune de Ain Témouchent (DARDOUR, 2025)

CHAPITRE VI : DISCUSSION

Discussion :

Cette étude vise à démontrer l'efficacité technique ainsi que la faisabilité environnementale et économique d'un projet de récupération des eaux pluviales couplé à un système d'irrigation programmé dans un jardin d'une superficie de 1,769 ha. Les résultats obtenus montrent que ce projet peut constituer un modèle concret de gestion durable des ressources hydriques en milieu urbain.

1 Autonomie hydrique : limites de stockage et solutions complémentaires

Bien que le volume annuel potentiel des eaux de pluie récupérables soit estimé à 4774,8 m³, le système repose sur un stockage temporaire composé de :

- Un réservoir souterrain d'une capacité de 1890 m³
- Un bassin ouvert d'une capacité de 400 m³
- Soit une capacité totale de stockage de 2290 m³

Les besoins en eau d'irrigation pendant la période de sécheresse (16 semaines) atteignent 2905,984 m³, ce qui signifie que le stockage disponible ne couvre qu'environ :

$$2290/2905.984=0.79=79\%$$

Il manque donc environ 616 m³ chaque année pour satisfaire entièrement les besoins.

Pour combler ce déficit, il est prévu de recourir à un forage existant dans le jardin, servant de source d'appoint.

Cette solution garantit la continuité de l'irrigation même en période de sécheresse prolongée, tout en réduisant la pression sur le réseau d'eau potable et en respectant les objectifs écologiques du projet.

2 Efficacité du dispositif de stockage

Tableau 17: Résumé des volumes de stockage des eaux pluviales (réservoir et bassin)

Élément	Type	Capacité (m ³)
Réservoir	Souterrain en béton	1890
Bassin	Ouvert pour stockage temporaire	400
Totale	–	2290

Bien que cette capacité soit inférieure aux besoins saisonniers, le système est conçu pour fonctionner en cycle remplissage grâce aux précipitations, réduisant ainsi la nécessité d'un grand volume de stockage permanent.

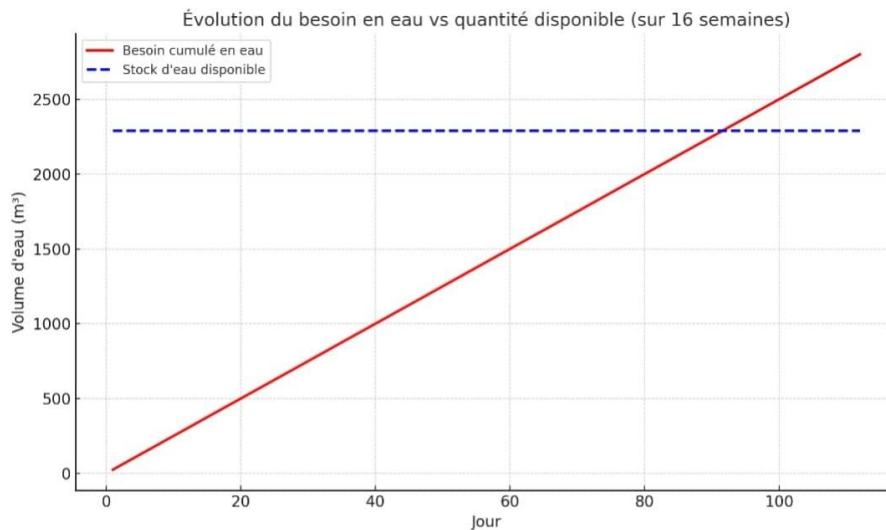


Figure 30 Evolution du besoin en eau vs quantité disponible (sur 16 semaine)

Ce graphique (figure 30) illustre la relation entre les besoins en eau cumulés dans le temps (en rouge) et la capacité de stockage fixe (en bleu pointillé) pendant la période de sécheresse qui s'étend sur 16 semaines (soit 112 jours).

Il montre que le volume de stockage disponible (2290 m³) ne couvre qu'une partie des besoins et qu'il est entièrement consommé avant la fin de la période. Au-delà de ce point, un apport complémentaire – tel qu'un forage – devient nécessaire pour combler le déficit.

3 Répartition d'irrigation selon les zones :

Tableau 18 répartition d'irrigation selon les zones

Zone	Surface (m ³)	Type d'arroseurs	Nombre d'unité	Débit (mm/h)	Volume annuel estimé (m ³)
Gazon	7076	Rotatif	40	13.6	1250
Plantation	5307	Fixe	109	49.9	1655
Total	–	–	–	–	2095.984

❖ L'irrigation est programmée tôt le matin ou en soirée pour limiter l'évaporation.

4 Automatisation et contrôle :

- Des technologies de gestion modernes assurent une distribution efficace de l'eau :
- Électrovannes : permettent un contrôle indépendant par zone.
- Programmeur centralisé : ajuste la durée et la fréquence de l'arrosage en fonction des besoins réels et des conditions climatiques.

Cela permet de réduire les pertes et d'optimiser la consommation en eau.

5 Evaluation économique :

Tableau 19: les couts de système de collecte et d'irrigation

Elément	Cout (DZD)
Système d'irrigation par aspersion	1 782 000
Système de collecte des eaux	20 886 580
Total général	22 668 580

Bien que l'investissement initial soit conséquent, ce projet constitue un investissement durable qui génère des économies d'eau à long terme et une valorisation écologique de l'espace.

CONCLUSION

CONCLUSION :

En conclusion, ce projet a permis de concevoir un système intégré de collecte des eaux pluviales et de distribution automatisée destiné à l'arrosage d'un jardin public d'une superficie de 1,769 hectare. Les résultats obtenus ont montré que la quantité d'eau récupérable à partir des toitures et des surfaces imperméables avoisine 4774,8 m³ par an, alors que la capacité de stockage disponible ne dépasse pas 2290 m³, soit environ 79 % des besoins hydriques pendant la période de sécheresse, estimés à 2905,98 m³ pour une durée de 16 semaines. Pour couvrir le déficit restant, le système repose sur un forage existant, servant de source complémentaire.

Ces données soulignent l'importance environnementale et économique du projet, puisqu'il contribue à la réduction de la pression exercée sur les ressources en eau potable en valorisant une ressource gratuite et souvent négligée : l'eau de pluie. Ce système assure une autonomie hydrique partielle, et s'inscrit dans une logique de gestion durable des ressources naturelles en milieu urbain. Il peut également servir de modèle reproductible pour d'autres projets d'espaces verts (**Romano et al.,2021**)

Sur le plan opérationnel, l'installation de vannes électromagnétiques et d'un programmateur centralisé permet une gestion précise de l'arrosage, en ajustant les horaires et les durées selon les besoins réels. L'arrosage est ainsi planifié tôt le matin ou en soirée pour minimiser les pertes par évaporation. À l'avenir, le système pourrait être optimisé davantage par l'intégration de capteurs intelligents mesurant l'humidité du sol et les conditions climatiques en temps réel, afin de rendre l'irrigation encore plus efficace et réactive (Chawdhury,2022)

Malgré son efficacité, la limite principale du système reste la capacité de stockage actuelle, qui ne permet pas d'atteindre une autosuffisance complète. Il serait pertinent, à l'avenir, d'envisager l'agrandissement de cette capacité par l'ajout de nouveaux réservoirs ou la création de bassins naturels (**INTEWA,2025**). Par ailleurs, ce système pourrait être élargi à d'autres espaces verts, notamment dans des villes confrontées au stress hydrique. Pour renforcer la durabilité environnementale, l'utilisation d'énergies renouvelables, telles que les panneaux solaires, est également recommandée.

Dans ce contexte, le jardin "Lalla Khadidja" à Aïn Témouchent représente un exemple concret de parc urbain nécessitant une gestion rigoureuse de ses ressources hydriques. Ses besoins en eau pendant les périodes de sécheresse atteignent près de 2906 m³ par an, ce qui justifie l'intégration d'un système de collecte et d'irrigation performant. Le dispositif proposé permet de couvrir une grande partie de ces besoins grâce aux eaux pluviales, le complément étant assuré par un forage déjà en place. Ce projet constitue ainsi une solution réaliste, durable et évolutive, susceptible d'être dupliquée à plus grande échelle dans les espaces publics de la région et au-delà.

Perspectives

À l'avenir, le système proposé pourrait être amélioré par l'intégration de capteurs intelligents de l'humidité du sol et des conditions météorologiques en temps réel, afin d'ajuster automatiquement les cycles d'irrigation. L'utilisation de sources d'énergie renouvelable, telles que les panneaux solaires pour alimenter les pompes et les électrovannes, représente également une piste prometteuse pour renforcer l'autonomie et réduire l'empreinte carbone du système.

Par ailleurs, il serait judicieux d'élargir la capacité de stockage en construisant des réservoirs supplémentaires ou en aménageant des bassins naturels, notamment dans les zones non aménagées du jardin. Le modèle développé pourrait être reproduit dans d'autres espaces verts urbains de la wilaya de Aïn Témouchent, contribuant ainsi à une gestion intégrée et durable de l'eau à l'échelle locale.

Une collaboration future avec des universités, des collectivités locales ou des start-ups spécialisées dans l'hydrologie urbaine permettrait d'affiner les techniques de collecte, de modélisation des flux pluviaux et d'automatisation, pour faire de ce projet un véritable démonstrateur régional en matière de résilience hydrique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Agência Nacional de Águas (ANA). (2021). Relatório anual sobre recursos hídricos no Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional. <https://www.ana.gov.br>

ADOPTA. (2021). Guide technique pour la gestion des eaux pluviales à la source. Association pour le Développement des Techniques Alternatives. <https://www.adopta.fr>

Ahiablame, L. M., Engel, B. A., & Chaubey, I. (2012). Effectiveness of low impact development practices: Literature review and suggestions for future research. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(7), 4253–4273.

Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>

Berndtsson, J. C. (2010). Rainwater harvesting for urban water management: A case study in Sweden. *Water Science and Technology*, 62(9), 2035–2041. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.468>

Blecken, G. T., Zinger, Y., Deletic, A., Fletcher, T. D., & Viklander, M. (2009). Influence of intermittent wetting and drying conditions on heavy metal removal by stormwater biofilters. *Water Research*, 43(18), 4590–4598.

Boulard, T. (2015). Techniques d'irrigation goutte à goutte et optimisation de l'eau. Agrosolutions.

Brown, R. R., & Farrelly, M. A. (2009). Delivering sustainable urban water management: A review of the hurdles we face. *Water Science and Technology*, 59(5), 839–846. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.042>

Brown, R. R., & Farrelly, M. A. (2009). Urban water management in cities: Historical, current and future practices. *Water Science and Technology*, 59(5), 835–842. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.039>

Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., ... & Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, 115, 195–209.

Cerema. (2018). Gestion durable des eaux pluviales à la parcelle: Guide technique. Éditions du Cerema.

Chebbo, G., Gromaire, M.-C., & J-C, B. (2001). Caractérisation des polluants des eaux pluviales urbaines. *Revue des Sciences de l'Eau*, 14(4), 393–408.

Chocat, B., Ashley, R., Marsalek, J., Matos, M. R., Rauch, W., & Schilling, W. (2001). Urban drainage redefined: From stormwater removal to integrated management. *Water Science and Technology*, 43(5), 61–68.

Chocat, B., Marsalek, J., Bertrand-Krajewski, J. L., & Rauch, W. (2007). Urban drainage redefined: from stormwater removal to integrated management. *Urban Water Journal*, 4(3), 187–196. <https://doi.org/10.1080/15730620701417544>

Chowdhury, S. (2022). Comparative Analysis and Calibration of Low Cost Resistive and Capacitive Soil Moisture Sensor. arXiv. <https://arxiv.org/abs/xxxx.xxxxx>

CODEVASF. (2019). Projetos de irrigação e desenvolvimento sustentável na Bahia. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba.

Dagenais, D., Lussier, D., & Villeneuve, J. P. (2006). Bioretention basins for stormwater management in urban environments. *Journal of Environmental Engineering*, 132(4), 488–495. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2006\)132:4\(488\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2006)132:4(488))

Deletic, A., & Fletcher, T. D. (2006). Performance of grass filters for treatment of highway runoff. *Journal of Environmental Engineering*, 132(7), 890–896. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2006\)132:7\(890\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2006)132:7(890))

Directive 91/271/CEE du Conseil du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. *Journal officiel des Communautés européennes*, L135, 40-52.

Domènech, L., & Saurí, D. (2011). A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the metropolitan area of Barcelona (Spain): Social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner Production*, 19(6-7), 598–608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.014>

Environmental Protection Agency (EPA). (2003). Managing stormwater: Best management practices (EPA Report No. 1234). <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/stormwater-management-guide.pdf>

Evett, S. R., & Heng, L. K. (2008). Irrigation scheduling using soil moisture data: A review. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(4), 377–384.

Fletcher, T. D., Duncan, H. P., Poelsma, P., & Lloyd, S. (2003). Stormwater flow and quality and the effectiveness of non-proprietary stormwater treatment measures: A review and gap analysis. Institute for Sustainable Water Resources, Monash University and the CRC for Catchment Hydrology, Victoria.

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., & Mikkelsen, P. S. (2013). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>

Foss, M., & Butler, D. (2000). Simulating the performance of rainwater collection and reuse systems using behavioural models. *Building Services Engineering Research and Technology*, 21(2), 99–106.

Gaston, K. J. (2010). Urban ecology and biodiversity: The importance of natural green spaces. *Current Biology*, 20(15), R629–R631. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.06.020>

Ghisi, E. (2006). Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment*, 41(11), 1654–1666. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.06.008>

Global Water Partnership. (2012). *Integrated Urban Water Management: A Practitioner's Guide*. Stockholm: GWP.

Gromaire, M.-C., Chebbo, G., & Merlière, A. (2001). Characterization of urban runoff pollution in Paris. *Water Science and Technology*, 43(5), 107-114.

Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J., & Nielsen, A. H. (2013). *Urban wastewater: Systems and processes*. Wiley.

INTEWA Wiki. (2025). Tank sizes: storage volume rules in rainwater harvesting systems. <https://www.intewa-wiki.com>

IPCC. (2007). *Climate Risk and Sustainable Water Management: Rainwater harvesting for sustainable water resource management under climate change (Chapter 17)*. Cambridge University Press.

Jenkins, M. W., & Sugden, S. (2006). Rethinking sanitation: Lessons and innovation for sustainability and success. World Bank.

Jones, M. P., & Hunt, W. F. (2010). Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(10), 623–629.

Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkler and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold.

Liu, X., Zhao, Z., & Rezaeipanah, A. (2025). Intelligent and automatic irrigation system based on IoT using fuzzy control technology. *Scientific Reports*, 15, 14577. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-98137-2>

Melbourne Water. (2022). Stormwater harvesting and integrated water management in Melbourne. <https://utilitymagazine.com>

Michael, A. M. (2020). *Irrigation: Theory and practice* (3rd ed.). Vikas Publishing House.

Ministère de l'Écologie. (2008). *Les eaux pluviales: définitions, enjeux et gestion*. Direction de l'eau et de la biodiversité.

Mitchell, V. G. (2006). Applying integrated urban water management concepts: A review of Australian experience. *Environmental Management*, 37(5), 589–605.

Mitchell, V. G., et al. (2008). Urban water infrastructure planning: Minimising costs and environmental impacts. *Water Science and Technology*, 58(3), 509–515.

Novotny, V. (2003). *Water quality: Diffuse pollution and watershed management* (2nd ed.). Wiley-Interscience.

PBMP. (2014). *Rotating Nozzles*. California Water Efficiency Partnership. <https://calwep.org>

Plante & Cité. (2022). *Entretien des solutions fondées sur la nature pour la gestion des eaux pluviales*. Rapport technique. <https://www.plante-et-cite.fr>

Rahman, A. (2022). *Smart Rainwater Harvesting System for Sustainable Agricultural Irrigation and Drainage System*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.XXXXXX>

Romano, G., Modica, C., & Singrasa, M. (2021). Water savings and urban storm water management: Evaluation of the potentiality of rainwater harvesting systems from the building to the city scale. *Sustainability*, 13(8), Article 4119. <https://doi.org/10.3390/su13084119>

Sadeghi, S. H. R., & Keshavarzi, A. (2015). Optimization of rainwater harvesting systems for agricultural irrigation using simulation models. *Agricultural Water Management*, 161, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.006>

Shuster, W., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E., & Smith, D. R. (2005). Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal*, 2(4), 263–275. <https://doi.org/10.1080/15730620500386529>

Smith, J. A., & Wang, J. (2014). Performance evaluation of rainwater harvesting systems for urban water sustainability. *Journal of Environmental Management*, 137, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.026>

Stone, M., & Barlow, J. (2010). Urban stormwater management: Best management practices and challenges. *Water Environment Research*, 82(7), 609–615. <https://doi.org/10.2175/106143010X12610249744460>

Waqas, M. S., Cheema, M. J. M., Hussain, S., Khalid, M. U., & Khan, M. S. (2022). Rainwater Harvesting: A Sustainable Water Management Option for Irrigation of Public Parks. *Environmental Sciences Proceedings*, 23(1), 9. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2022023009>

Younis, A. M., & Yasin, H. I. (2025). The effect of sprinkler head rotation speed on irrigation uniformity. *Al-Rafidain Engineering*

Annexe



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب

حاضنة الأعمال عين تموشنت



Fiche technique du projet البطاقة التقنية للمشروع

<ul style="list-style-type: none"> ● در دور بشرى ● مداير نسرين ● بوغالم مصطفىة ● خلفه علي ● هنداوي محفوظ 	<p>الاسم و اللقب</p> <p>Votre prénom et nom</p> <p>Your first and last Name</p>
<p>Rainflow</p>	<p>الاسم التجاري للمشروع</p> <p>Intitulé de votre projet</p> <p>Title of your Project</p>
<p>عين تموشنت</p>	<p>مقر مزاولة النشاط (الولاية- البلدية)</p> <p>Votre ville ou commune d'activité</p> <p>Your city or municipality of activity</p>

طبيعة المشروع Nature de projet

<ul style="list-style-type: none"> الشراكات الرئيسية البلديات والإدارات المحلية. ممولون وداعمون (GIZ)، الاتحاد الأوروبي، وزارة البيئة (...). موردون للمعدات (خزانات، مضخات، صمامات...). مكاتب دراسات وخبراء في الموارد المائية مؤسسات أكاديمية أو مراكز بحث بيئي. 	<ul style="list-style-type: none"> الأنشطة الرئيسية إجراء الدراسات التقنية والهندسولوجية. تصميم النظام (تجميع + ري ذكي). تركيب الخزانات والأنابيب والمضخات. برمجة نظام التحكم الآلي. صيانة دورية ومراقبة الأداء. التوعية ونقل النموذج لبلديات أخرى. 	<ul style="list-style-type: none"> القيمة المقترحة المنتج غير موجود بشكل محلي تقليل استهلاك مياه الشرب في الري. نظام بيئي واقتصادي مستدام. تحكم آلي ذكي في السقي. توفير مالي سنوي معتبر. قابلية التكرار في مواقع متعددة. مساهمة فعلية في التكيف مع التغير المناخي. 	<ul style="list-style-type: none"> علاقات العملاء توعية وتحسيس في البداية. عروض تقنية ودراسات مخصصة. متابعة وصيانة بعد التركيب. دعم فني وتقييم دوري 	<ul style="list-style-type: none"> شرائح العملاء البلديات (المسؤولة عن الحدائق والمساحات الخضراء). المؤسسات العمومية (مدارس، جامعات، مستشفيات...). الجهات المانحة والممولة (GIZ، UE، وزارة البيئة...). جمعيات ومبادرات التتمية المستدامة.
	<ul style="list-style-type: none"> الموارد الرئيسية ✓ موارد بشرية (مهندسون، تقنيون، مبرمجون). معدات وتقنيات (خزانات، مضخات، أنابيب، صمامات...). ميزانية استثمار أولي. نظام برمجة وتحكم آلي. بيانات مناخية وهيدرولوجية. أدوات متابعة وصيانة 		<ul style="list-style-type: none"> قنوات التوزيع ✓ لقاءات مباشرة مع البلديات والمؤسسات. المشاركة في معارض وملتقيات بيئية. محتوى رقمي (موقع، فيديوهات، منشورات). شراكات مع هيئات بيئية لنقل النموذج. 	
<ul style="list-style-type: none"> هيكلية التكاليف تكلفة إنشاء خزان مغلق + حوض مفتوح (~20.9 مليون دج). تكلفة نظام الري (رشاشات، مضخات، صمامات...) (~1.78 مليون دج). تكاليف التركيب، الحفر، الربط، والبرمجة. صيانة وتشغيل دوري (محدود بسبب الأتمتة). تكاليف الدراسات التقنية والهندسولوجية. 	<ul style="list-style-type: none"> المصادر والإيرادات توفير سنوي في فاتورة مياه الري. بيع النموذج والخبرة لبلديات ومؤسسات أخرى. الحصول على دعم وتمويل من برامج بيئية (GIZ، UE...). تنظيم ورشات أو تكوينات مدفوعة في المجال البيئي. 			

❖ المشكلة المراد حلها

المشكلة المراد حلها في هذا المشروع تتعلق بـ:

✓ الاستهلاك المرتفع للمياه الصالحة للشرب في ري الحدائق العامة، في سياق يتسم بندرة الموارد المائية.

📌 تفصيل المشكلة مدعم بالبيانات:

1. الاعتماد على مياه الشرب:

حديقة للا خديجة تعتمد بالكامل على شبكة المياه الصالحة للشرب لريّ النباتات، ما يمثل استهلاكاً غير مستدام في مدينة مثل الجزائر التي تعرف ندرة مائية متزايدة، خاصة في فترات الجفاف.

2. الطلب السنوي على مياه الري:

بلغ إجمالي الحاجة المائية السنوية للري في الحديقة حوالي 2 905.984 م³ موزعة على:

1 450.4 م³ للمساحات المعشوشبة (7076 م²)

1 455.6 م³ للمناطق النباتية الأخرى (5307 م²)

3. فترة الذروة:

الري يتم بشكل يومي خلال فترات الجفاف التي تمتد إلى 16 أسبوعاً في السنة، مما يرفع استهلاك المياه ويزيد من الضغط على الشبكة العامة.

4. تكاليف مرتفعة:

الكلفة التقديرية لاستخدام مياه الشرب للري فقط تقدر بأكثر من 1.5 مليون دينار جزائري سنوياً، مع مخاطر زيادة هذه الكلفة مع ارتفاع أسعار المياه أو فرض رسوم بيئية.

5. فرصة ضائعة:

كمية مياه الأمطار التي يمكن جمعها من أسطح المباني (5399 م²) والمساحات غير النفاذة بالحديقة تمثل ≈ 4774.8 م³ سنوياً (1894.9 م³ من الأسطح + 2879.9 م³ من الحديقة)، وهي تفوق الاحتياج السنوي للري، لكنها تضيع حالياً بسبب غياب البنية التحتية الملائمة.

❖ كيف نساعد الزبون؟ (القيمة المقترحة)

نقترح على الزبون – بلدية الجزائر (قسم المساحات الخضراء) – حلاً عملياً ومبتكراً يساهم في:

1. تقليص استهلاك مياه الشرب:

من خلال استبدال حوالي 2906 م³/سنة من مياه الشرب بمياه أمطار معاد استخدامها، مما يخفض الضغط على الشبكة العمومية.

2. تقليل التكاليف التشغيلية:

تخفيض الفاتورة السنوية للمياه بأكثر من 60%، أي توفير مالي يفوق 1.5 مليون دج/سنة.

3. حل بيئي مبتكر ومتكامل:

الجمع بين بنية تحتية ذكية (خزان 1890 م³ + حوض مفتوح 400 م³ + نظام ري مؤتمت) يعزز من الاستدامة البيئية للحديقة.

4. تحسين جودة المساحات الخضراء:

ضمان ري منتظم وفعال للمزروعات حتى في فترات الجفاف، مما يحافظ على جمالية الحديقة وراحة الزوار.

5. تعزيز صورة البلدية كجهة مسؤولة بيئياً:

المشروع يعطي مثلاً نموذجياً للمدن المستدامة ويدعم مكانة البلدية في خطط التحول البيئي.


6. إمكانية التكرار والتوسيع:

النموذج قابل للتكرار في حدائق أخرى ومواقع بلدية متعددة، ما يجعله استثماراً استراتيجياً طويل الأمد.


❖ هل القيمة المقدّمة كمية أم نوعية

الإجابة: كلاهما. المشروع يُقدّم قيمة كمية واضحة قابلة للقياس، إلى جانب قيمة نوعية ذات أثر بيئي واجتماعي

مهم.

القيم الكمية 

القيمة	المجال
906 2 م ³ /سنة	استبدال مياه الشرب
1.5 مليون دج	التوفير المالي السنوي
149 رشاشاً (40 دوّار + 109 ثابت)	عدد أجهزة الري
16 أسبوعاً/سنة	مدة الري خلال الجفاف
100% من حاجيات الري يمكن تغطيتها بمياه الأمطار	نسبة التغطية الذاتية

القيم النوعية: 

تحسين جمالية الحديقة واستمرارية المساحات الخضراء.

تقليل انبعاثات الكربون المرتبطة بنقل وضخ المياه.

رفع وعي السكان والزوار حول أهمية المياه.

تقديم نموذج قابل للتكرار في مشاريع حضرية أخرى.

دعم السياسات المحلية للتكيف مع التغير المناخي.

❖ القيمة المقترحة:

القيمة التي نقدمها للعميل (البلدية):

نقترح على العميل حلاً بيئياً واقتصادياً متكاملًا يتمثل في نظام ذكي لتجميع مياه الأمطار واستعمالها في الري، مما يوفر له:

1. تخفيض كبير في التكاليف:

تقليص استهلاك مياه الشرب بحوالي 2 906 م³/سنة.
توفير مالي مباشر يقدر بـ 1.5 مليون دج/سنة على الأقل.

2. تحسين فعالية الري واستدامة المساحات الخضراء:

ضمان ريّ منتظم وذكي خلال 16 أسبوعاً من الجفاف بفضل شبكة آلية تعمل بالصمامات الكهربائية ومتحكم مركزي.

3. تقليل الأثر البيئي:

خفض الضغط على الموارد المائية التقليدية.
تقليل انبعاثات الكربون الناتجة عن ضخ ونقل المياه.

4. تعزيز الصورة البيئية للبلدية:

مشروع نموذجي يُظهر التزام البلدية بالتنمية المستدامة.
إمكانية عرضه كمثل في المؤتمرات البيئية والمشاريع المستقبلية.

5. قيمة تعليمية وتحسيسية:

إمكانية تنظيم زيارات مدرسية وجامعية.
تنشيط لافئات توعوية في الحديقة حول الدورة المائية واستعمال مياه الأمطار

❖ ما الذي يجعل هذه القيمة مميزة عن غيرها؟

القيمة التي يقدمها هذا المشروع لا تتمثل فقط في تقليص التكاليف، بل تتميز بعدة عناصر تجعلها فريدة وملائمة للسياق المحلي:

1. مدمجة ومتكاملة:*

المشروع يدمج بين تجميع مياه الأمطار، وتخزينها، وإعادة استعمالها في الري من خلال شبكة ذكية مؤتمتة.
هذا التكامل يجعل الحل أكثر فاعلية مقارنة بحلول جزئية (مثل الخزانات فقط أو الري التقليدي).

2. ذكي وقابل للبرمجة:

استعمال نظام تحكم مركزي (SCADA) مع 49 صماما كهربائياً يسمح بإدارة دقيقة وفعالة للموارد. قابلية التعديل حسب احتياجات النبات والطقس في الزمن الحقيقي.

3. بيئي ومحلي:

يعتمد على مورد محلي مجاني ومتجدد (الأمطار)، ما يجعله أكثر استدامة وأقل اعتماداً على بنى تحتية خارجية أو مصادر مستوردة.

4. قابل للتكرار والتوسيع:

نفس النموذج يمكن تطبيقه في حدائق ومؤسسات أخرى، مع تعديلات بسيطة حسب المساحة. هذا يمنح البلدية حلاً طويلاً الأجل وقابلة للتوسيع.

5. ذو قيمة مضافة غير مادية:

يُعزز الوعي البيئي لدى المواطنين والزوار. يعطي للبلدية صورة جهة مبتكرة ومسؤولة أمام الرأي العام والجهات المانحة.

❖ شرائح العملاء

من هم أهم عملائنا؟

في هذا المشروع، الزبائن أو "العملاء" يمكن تصنيفهم إلى مباشرين وغير مباشرين:

العملاء المباشرين (الأساسيون):

1. بلدية الجزائر - مصلحة المساحات الخضراء:

الجهة المالكة والمستفيدة الرئيسية من النظام. تتحمل تكاليف التركيب والتشغيل وتستفيد من التوفير في الميزانية وتحسين الخدمات البيئية.

العملاء غير المباشرين (المستفيدون الثانويون):

2. زوّار الحديقة وسكان الأحياء المجاورة:

يستفيدون من بيئة طبيعية أكثر جمالاً وراحة.

يشعرون بالثقة في التسيير المحلي المسؤول بيئياً.

3. المدارس والجامعات:

يمكنهم استخدام الحديقة كموقع تعليمي بيئي تطبيقي.
الاستفادة من الورشات التوعوية وزيارات التلاميذ.

4. مصالح بلدية أخرى أو حدائق في مدن جزائرية مختلفة:

يعتبر المشروع نموذجاً قابلاً للتكرار، ما يفتح المجال لتطبيقه في مواقع أخرى.

5. الجهات المانحة والبيئية، وزارة البيئة، مشاريع الاتحاد الأوروبي

الزبون بشكل غير مباشر يمكن أن يكون جهة تمويل أو دعم فني لمشروع بيئي ناجح يمكن قياس نتائجه.

❖ كيف نُحدد حجم السوق؟

لتحديد حجم السوق المستهدف لهذا النوع من الحلول (نظام تجميع مياه الأمطار واستعمالها في الري الحضري)، نعتمد على خطوات وتحليلات كمية ونوعية:

1. تعريف السوق المستهدف:

نستهدف بالدرجة الأولى:

البلديات التي تحتوي على حدائق عمومية أو مساحات خضراء كبيرة.

المؤسسات التعليمية، المستشفيات، والإدارات ذات المساحات المكشوفة.

المدن التي تعاني من ندرة المياه أو فترات جفاف.

2. المعطيات التي نعتمد عليها لتقدير الحجم:

مصدر التقدير	قيمة تقريبية	مؤشر
وزارة الداخلية	50 +بلدية حضرية	عدد البلديات الكبرى في الجزائر
محلية إحصاءات وميدانية	300 +على المستوى الوطني	عدد الحدائق العامة فوق 1 هكتار

بيانات دراسة الحديقة	1500 – 3000 م ³ /سنة/حديقة	معدل استهلاك المياه في الري الحضري
تقدير أولي حسب البنايات والمساحات	المئات في العاصمة وحدها	عدد المؤسسات القابلة للاستفادة من النظام

3. تقدير الحجم الكمي للسوق (في الجزائر فقط): >إذا أخذنا فقط 200 حديقة كبرى:

الطلب السنوي على المياه سيكون $\approx 400,000$ إلى $600,000$ م³/سنة.

إمكانات التجميع من مياه الأمطار تقارب نفس الرقم.

مما يعني سوقاً بقيمة مليارات الدنانير سنوياً عند تعميم الحل.

4. اعتبارات النمو والتوسع:

تغير المناخ وزيادة فترات الجفاف يجعل الحل أكثر طلباً.

دعم السياسات البيئية ومبادرات "المدن الخضراء" يعزز من قابلية التمويل والتكرار.

سهولة توطين التكنولوجيا يسمح بخلق سلسلة قيمة محلية (تكوين، صيانة، معدات...).

❖ كيف نخلق ونعزز العلاقات

1. مرحلة الجذب:

تنظيم حملات توعوية رقمية وميدانية حول أهمية تجميع مياه الأمطار.

عرض المشروع كنموذج ناجح (حديقة للا خديجة) أمام البلديات الأخرى.

المشاركة في أيام دراسية بيئية ومعارض تكنولوجية حضرية.

2. مرحلة البيع:

تقديم دراسة جدوى تقنية-اقتصادية مخصصة لكل موقع.

التفاوض المباشر مع البلديات أو المؤسسات عبر عروض مفصلة.

عرض خدمات تركيب وتشغيل كاملة (حلول "مفتاح في اليد").

3. ✂ مرحلة ما بعد البيع:

توفير خدمة صيانة دورية ومتابعة عن بُعد للنظام.
تقديم تقارير دورية حول الأداء وتوفير المياه.
مواكبة التحديثات واقتراح تحسينات حسب تغير الظروف المناخية.

❖ القنوات:

1. 📞 الاتصال المباشر:

زيارات ميدانية إلى البلديات والمؤسسات المستهدفة.
عروض تقديمية ومقابلات رسمية مع مسؤولي المشاريع.

2. 📄 القنوات الرقمية:

موقع إلكتروني/صفحة ترويجية للمشروع.
محتوى عبر وسائل التواصل الاجتماعي (فيديوهات، إنفوغراف).

3. 🏢 الفعاليات والمؤتمرات:

المشاركة في معارض بيئية، أيام دراسية، وملتقيات حول المياه المستدامة.

4. 🤝 شراكات مع مؤسسات دعم وتمويل GIZ، UE، وزارات:

لفتح قنوات دعم إضافية وتوسيع التأثير.

❖ الشركاء والموردون

🤝 الشركاء الرئيسيون:

البلدية (العميل): توفر الأرض والدعم الإداري.
مؤسسات التمويل البيئي GIZ، UE، وزارة البيئة: تمويل أو دعم تقني.
مكاتب دراسات هندسية: لتصميم وتكييف النظام حسب الموقع.
شركات الري الذكي: لتركيب الشبكات والمعدات الحديثة.

✂ الموردون:

مزودو الخزانات، الأنابيب، المضخات، والصمامات الكهربائية.
شركات مختصة في أنظمة التحكم المركزي والبرمجة.
موردون محليون لمواد البناء والتوصيلات.

❖ الأنشطة الرئيسية:

هي المهام الأساسية التي نقوم بها لضمان نجاح المشروع وتشغيله بفعالية:

1. ✂ الدراسة والتصميم التقني:

تحليل كمية مياه الأمطار الممكن تجميعها.
تصميم الخزانات، القنوات، ونظام الري حسب المساحة والاحتياج.

2. 🌱 تركيب البنية التحتية:

حفر، وضع الخزانات، مدّ الأنابيب، وتركيب الصمامات والمضخات.

3. إعداد نظام التحكم:

برمجة النظام المركزي للتحكم في الري تلقائيًا حسب التوقيت والرطوبة.

4. المتابعة والصيانة:

مراقبة الأداء، تنظيف الخزانات، وصيانة المضخات والصمامات دوريًا.

5. التوعية والترويج:

إعداد تقارير الأثر، نشر النتائج، وتوسيع المشروع إلى مواقع أخرى.

❖ الموارد الرئيسية:

هي العناصر الأساسية التي نحتاجها لتنفيذ المشروع وضمان استمراريته:

1. الموارد البشرية:

مهندسون (هيدروليك، بيئة، زراعة).

تقنيون في التركيب والصيانة.

مبرمجون لإعداد نظام التحكم الآلي.

2. الموارد المادية:

خزانات (مغلقة ومفتوحة).

أنابيب، مضخات، وصمامات كهربائية.

وحدة تحكم مركزي أو SCADA.

3. الموارد المالية:

ميزانية الاستثمار الأولية (التجميع + الري).

تمويلات محتملة من برامج الدعم البيئي أو البلديات.

4. البيانات والدراسات:

معطيات عن التساقطات، التربة، واحتياجات النباتات.

خرائط وتصاميم تقنية.

❖ هيكل التكاليف

يمثل جميع النفقات الأساسية المرتبطة بتصميم، تنفيذ، وتشغيل المشروع.

1. تكاليف البنية التحتية:

بناء وتجهيز خزان مغلق (1890 م³) وحوض مفتوح (400 م³).

قنوات تصريف وتجميع المياه.

التكلفة التقديرية: حوالي 20.9 مليون دج.

2. تكاليف نظام الري:

شراء وتركيب 40 رشاشًا دوارًا و109 رشاشات ثابتة.

أنابيب، مضخات، صمامات كهربائية، وبرمجة مركزية.

التكلفة التقديرية: 1.78 مليون دج.

3. تكاليف التركيب والخدمات:

أشغال الحفر، الربط، التركيب التقني.

أجور الفرق التقنية والمؤطرين.

4. التشغيل والصيانة السنوية:

تنظيف الخزانات، صيانة المضخات، تحديث النظام.
نفقات تشغيلية معتدلة (بفضل الأتمتة وتقليل استهلاك المياه).

ملاحظة:

رغم الكلفة الأولية المرتفعة نسبياً (~22.6 مليون دج)، إلا أن المشروع يحقق توفيراً سنوياً يتجاوز 1.5 مليون دج في المياه، ما يضمن الاسترداد في أقل من 15 سنة، ويستمر في توفير الموارد بعد ذلك.

❖ مصادر الإيرادات

رغم أن المشروع في جوهره بيئي وخدمي موجه للبلديات، إلا أن هناك إمكانيات فعلية لتحقيق مردودية مالية أو توفير اقتصادي، تتمثل في:

1. التوفير المباشر في فاتورة المياه:

بفضل استخدام مياه الأمطار بدل مياه الشرب.

مثال: توفير سنوي يقدر بـ 1.5 مليون دج على الأقل في حديقة واحدة.

2. إمكانية بيع النموذج والخبرة:

تقديم المشروع كخدمة استشارية أو هندسية لبلديات أخرى (دراسات + تركيب + متابعة).

بيع الحل كمشروع "مفتاح في اليد" (clé en main) "

3. تمويلات ومنح بيئية:

دعم مالي من جهات دولية (GIZ)، الاتحاد الأوروبي، برامج المناخ.

مشاريع "التحول البيئي" قد تمّول مشاريع مماثلة في بلديات متعددة.

4. استخدام الحديقة كموقع للتكوين والتوعية:

تنظيم ورشات بيئية مدفوعة أو ممولة.

جذب شركات تربية ومجتمعية.